

# ÉLÉMENTS

DE

# GÉOLOGIE

ET DE

# PALÉONTOLOGIE

PAR

CH. CONTEJEAN

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE POITIERS

AVEC

467 figures intercalées dans le texte

47-277



PARIS

LIBRAIRIE DE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS

49, rue Hautefeuille, près le boulevard Saint-Germain

Londres

Madrid

BAILLIÈRE, TINDALL AND COX

C. BAILLY-BAILLIÈRE

**DON**

1874

Tous droits réservés.

F.L. 98

# PRÉFACE

---

La *géologie* est la science de la terre. Elle recherche le passé, le présent et l'avenir du globe, surtout le passé. Elle a pour objet : 1° d'expliquer l'origine et le mode de formation de notre planète et d'en prévoir autant que possible les destinées ; 2° d'en faire connaître la structure intime. De là, deux branches assez distinctes : la *géogénie* et la *géognosie*. La première est l'histoire physique ; la seconde, l'étude descriptive, et, en quelque sorte, l'anatomie de la terre. Une science auxiliaire, la *paléontologie*, est le guide indispensable du géologue. Elle a pour but l'étude et la détermination des êtres qui se sont succédé depuis les premiers âges du globe jusqu'à nos jours, et dont la plupart n'existent plus qu'à l'état fossile.

Ainsi que toutes les sciences d'observation, la géologie procède rigoureusement du connu à l'inconnu. Mais comme elle est la dernière venue, et qu'à certains égards elle se trouve moins avancée que ses aînées, elle emploie l'analyse de préférence à la synthèse : ce n'est qu'au moment où les conceptions théoriques ont cédé le terrain à l'observation directe et aux études de détail, que la géologie est entrée dans la voie de rapides progrès. Bien à tort on l'accuse de manquer de précision et d'admettre volontiers l'hypothèse. Moins absolue, il est vrai, que la certitude mathématique, la certitude géologique

égale celle des autres sciences physiques : l'état primitif d'incandescence du globe, l'âge relatif de la plupart des couches de son écorce solide et une foule d'autres points sont établis d'une manière aussi rigoureuse que les lois de la pesanteur ou que celles qui régissent les attractions et les répulsions électriques. En géologie, comme partout ailleurs, il y a des faits possibles, des faits probables, des faits certains. La difficulté consiste seulement à ne pas donner les uns pour les autres.

Je dois maintenant appeler l'attention sur les points suivants :

1° Bien loin de professer, quand même, une doctrine sur les questions litigieuses, et tout en usant le plus sobrement possible du « je ne sais pas » recommandé par Arago, je ne crains point, à l'occasion, de montrer l'insuffisance actuelle de la science et d'en indiquer les *desiderata*. Quand il se présente un de ces problèmes, malheureusement encore nombreux, pour la solution desquels on ne possède que des données incomplètes, je me borne à rapporter, avec impartialité, les arguments pour et contre, laissant au lecteur le soin de se former une opinion, s'il y a lieu. Cette réserve me semble naturelle, la science n'ayant rien à gagner à ces solutions prématurées, à ces théories hasardées qui en ont si fréquemment entravé la marche.

2° Je mentionne les doctrines anciennes qui ont fait époque, et je discute avec soin la plupart des théories modernes. N'appartenant à aucune école, n'ayant point de parti pris, j'apporterai, dans leur examen, une indépendance entière, et, j'aime à le croire, une impartialité absolue. Je ferai du moins tous mes efforts pour qu'il en soit ainsi. Et comme je m'adresse aux choses et nullement aux personnes, aucune considération ne m'empêchera de discuter aussi librement et aussi complètement que possible les opinions des auteurs contemporains, quand il sera nécessaire. Le respect, la vénération que nous inspirent les maîtres illustres qui nous ont ouvert la voie, l'estime et la sympathie que nous éprouvons pour nos collègues et nos amis géologues, ne doivent pas nous gêner dans l'appréciation de leurs doctrines : c'est ce que je tiens à dire une fois pour toutes.

3° Je citerai toujours scrupuleusement les auteurs des décou-

vertes originales, mais je n'ai pas jugé utile de mentionner constamment les traités généraux auxquels je me suis borné à emprunter des chiffres ou des faits de détail. Qu'il me suffise de dire que les ouvrages mis à contribution de préférence sont ceux de de Humboldt, de Brongniart, d'Arago, de Delabèche, de D'Archiac, de Bronn, de d'Orbigny, de Pictet, d'Agassiz et de MM. Deshayes, Élie de Beaumont, Lyell, Barrande, Dana, Daubrée, Darwin, Martins, Boccardo, Vézian. Pour ne pas donner à ce volume un développement exagéré, j'ai supprimé les renvois et les notes d'érudition, pensant que d'un livre élémentaire on doit exiger seulement l'exactitude et la fidélité dans les citations.

4° Désirant rendre ces *Éléments* accessibles à toutes les intelligences, j'ai recherché, avant toute chose, la simplicité et la clarté. Autant que possible j'ai évité l'emploi de ces termes techniques d'une utilité contestable, qui surchargent les nomenclatures, assuré que la science ne peut que gagner à être exposée en langage ordinaire et facilement intelligible. Et si quelquefois je me suis départi de la gravité sévère qui convient à toute exposition méthodique, il ne faut pas le trouver étrange de la part d'un professeur habitué à un auditoire sympathique, et qui a fait de ce livre l'écho de ses leçons.

Quelques mots sur le plan adopté.

Les matières ont été distribuées en quatre parties d'inégale longueur, mais de pareille importance au point de vue de la spécialité de leur objet. La première est une description générale de l'univers, où l'on indique les relations de la terre avec les autres astres et la place qu'elle occupe dans le grand Tout ; la deuxième est consacrée à la description physique du globe ; la troisième, à l'étude des phénomènes qui se manifestent actuellement à sa surface ou dans son intérieur, et dont la connaissance est une préparation indispensable à l'étude des phénomènes anciens, auxquels la terre doit son état actuel. Ceux-ci font l'objet d'une quatrième et dernière partie. Cette disposition des matières me paraît la plus naturelle : il faut savoir d'abord ce qu'est notre planète relativement au monde sidéral, puis en opérer une sorte d'inventaire, et ensuite

étudier les phénomènes qui se succèdent à nos yeux, pour essayer de reconstituer l'histoire de son passé. Toute géologie doit commencer par la physique du globe.

Quoique la paléontologie ne soit qu'une science auxiliaire, les familles et les principaux genres fossiles ont été décrits avec tous les détails qu'ils comportent. Mais c'eût été empiéter sur le domaine de la zoologie, que de faire de même à l'égard des types encore vivants ; aussi me suis-je borné à les figurer. Je dois, en effet, supposer le lecteur au courant des notions élémentaires de la zoologie et de la botanique, comme aussi de la chimie, de la physique et des autres sciences accessoires.

De nombreuses tables facilitent les recherches ; de nombreuses figures aident à l'intelligence du texte. Ces dernières ont été gravées par les meilleurs artistes, soit d'après des croquis de l'auteur, soit d'après des photographies, soit enfin d'après les ouvrages les plus accrédités. En un mot, les éditeurs n'ont rien négligé pour rendre ce livre aussi commode à consulter et aussi utile que possible.

Enfin, qu'il me soit permis de le dire en terminant : ceci n'est point uniquement une œuvre de compilation et de recherches ; mon travail renferme, si je ne me fais illusion, beaucoup de détails inédits, d'aperçus nouveaux, d'appréciations originales. Mon ambition serait que le lecteur en demeurât convaincu.

Poitiers, le 20 janvier 1874.

# TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

PRÉFACE..... V

## PREMIÈRE PARTIE

### LE MONDE SIDÉRAL

- Matière, 1. — Espace, 1. — Astres, 2.
- Nébuleuses*, 2. — Mouvements des nébuleuses, 2. — Nébuleuses planétaires ; étoiles nébuleuses ; étoiles, 4. — Nature des nébuleuses, 6.
- Étoiles*, 6. — Grandeur, éclat, dimensions, etc., 6. — Lactées, 7. — Étoiles fixes, 8. — Analyse spectrale des étoiles, 8. — Unité de matière, 8.
- Soleil*, 9. — Aspect de la surface solaire : taches et facules, 9. — Protubérances roses, 11. — Couronne, 12. — Constitution physique du soleil, 12. — Corps simples découverts dans le soleil, 14.
- Planètes*, 14. — Petites planètes, 14. — Astéroïdes, 15. — Grandes planètes, 15.
- Satellites et anneaux*, 15. — Anneaux de Saturne, 15. — Lune, 16. — Aspect de la lune ; montagnes et volcans, 18. — Bandes lumineuses de Tycho ; rainures, etc., 19. — Conditions physiques actuelles, 19.
- Comètes*, 20. — Tête, noyau, chevelure, queue, 21. — Mouvement des comètes, 22. — Dimension des comètes, 23. — Masse et densité, 23. — Dédoublement de la comète de Biéla, 23. — Nature des comètes, 23.
- Météores*, 24. — Étoiles filantes, bolides, etc., 24. — Nature des météores, 25. — Trainées lumineuses, 26. — Hauteur et vitesse, 26. — Météores sporadiques ; météores périodiques, 26. — Les météores exercent-ils une influence sur la température ? 26. — Analyse spectrale des trainées lumineuses, 27. — Bolides et aéroolithes, 27. — Composition minéralogique des aéroolithes, 28. — Hypothèse de M. Neumier, 29.
- Système de l'Univers*, 30. — Théories d'Herschel et de Laplace, 30. — Formation des nébuleuses et des étoiles, 31. — Formation des planètes et des satellites, 31.

## DEUXIÈME PARTIE

## DESCRIPTION PHYSIQUE DU GLOBE

## CHAPITRE PREMIER

## GÉODÉSIE

Définitions, 35.

*Mouvements de la terre*, 37. — Rotation ou mouvement diurne, 37. — Jour sidéral et jour vrai, 37. — Vitesse de la rotation, 38. — La vitesse de la rotation peut-elle varier? 38. — Translation ou révolution ou mouvement annuel, 39. — Année ordinaire; année sidérale, 39. — Vitesse de la translation, 40. — Précession des équinoxes, 40. — Nutation, 41. — Causes de la précession des équinoxes et de la nutation, 41. — Obliquité de l'écliptique, 42.

*Distance au soleil*, 42. — La distance de la terre au soleil peut-elle varier? 42.

*Forme et dimensions de la terre*, 43. — Résultats des mesures de la terre, 44. — Dimensions de la terre, 45. — Aplatissement aux pôles, 45. — Irrégularité de la surface terrestre, 45. — Chiffres adoptés pour représenter les dimensions de la terre, 46. — Le volume de la terre est-il invariable? 46. — Surface et volume de la terre, 47.

*Masse et densité*, 47. — Intensité de la pesanteur; poids de la terre, 48.

## CHAPITRE II

## ATMOSPHÈRE

Atmosphère, 49.

*Composition*, 49. — Azote atmosphérique, 49. — Oxygène, 50. — Acide carbonique, 51. — Vapeur d'eau, 55. — Acide chlorhydrique, acide sulfureux, acide sulfhydrique, hydrogène carboné, oxyde de carbone, hydrogène, 60. — Particules solides en suspension dans l'atmosphère, 60.

*Propriétés physiques*, 62. — Propriétés calorifiques, 62. — Couleur de l'air, 62. — Densité de l'air, 63. — Terminaison de l'atmosphère, 64.

*Hauteur et dimensions*, 65.

*Température*, 66. — Effets de l'altitude, 66. — Effets de la latitude, 68. — Causes d'exception, 69. — Lignes isothermes, lignes isothères, lignes isochimènes, 70. — Équateur thermal; pôles du froid, 72. — Températures extrêmes, 72. — Chaleur moyenne, 73. — Variation horaire de la température, 73. — Variation de la température suivant les saisons, 74. — Marche des saisons; climats divers. 74. — Sources de la chaleur de l'air, 76.

## CHAPITRE III

## MERS

Mers, 77.

*Étendue, volume*, 77. — Étendue actuelle des mers, 77. — Volume des mers, 78.

Le volume des eaux terrestres extérieures diminue, 79. — Niveau des mers, 79.

*Profondeur*, 80.

*Composition des eaux*, 82. — Degré de salure des mers, 83. — Variations temporaires dans la salure des mers, 83. — Troubles en suspension, 84. — Animaux microscopiques et matière organique, 85. — Gaz en dissolution, 85. — La salure de la mer n'a jamais beaucoup varié, 86. — Origine de la salure de la mer, 87. — Lacs salés, 87.

*Couleur et transparence*, 89.

*Température*, 90. — Maximum de densité de l'eau de mer; 90

*Conditions vitales*, 92.

## CHAPITRE IV

## ÉCORCE SOLIDE

Écorce solide, 94.

## § 1. — AU POINT DE VUE DE LA GÉOLOGIE

*Étendue, dimensions, poids et volume*, 98.

*Structure*, 99. — Disposition des couches rocheuses, 99. — Filons éruptifs et enclaves transversaux, 100. — La portion de l'écorce solide formée par le refroidissement consiste en deux parties, 101. — Terrains de sédiment et terrains ignés, 102. — L'écorce solide a gagné en épaisseur de deux manières opposées, 102. — Structure générale de l'écorce du globe, 104.

*Épaisseur*, 104.

*Température*, 106. — Sources de chaleur, 106. — Chaleur solaire, 106. — Effets superficiels de l'insolation, 107. — Surfaces isothermes, 108. — Chaleur centrale, 109. — L'augmentation de la chaleur profonde varie suivant les lieux, 110. — Opinions diverses sur le feu central, 112. — Preuves du feu central et de la fluidité ignée originelle de la terre, 114. — Intensité de la chaleur centrale, 114. — Perte de la chaleur centrale et ses conséquences, 115. — Lenteur du refroidissement de la terre, 116.

## § 2. — AU POINT DE VUE DE LA TOPOGRAPHIE

Terres fermes, 116.

*Forme et étendue des terres fermes*, 116. — Surface des terres fermes, 118.

*Relief des terres fermes*, 118. — Inégalités du sol, 119.

*Plaines et plateaux*, 119.

*Montagnes*, 123. — Forme des montagnes, 124. — Montagnes prismatiques, 124. — Montagnes pyramidales, 126. — Montagnes coniques, 127. — Montagnes en dômes et en ballons, 128. — Montagnes en massifs émoussés, 129. — Montagnes en tables et en plateaux, 130. — Montagnes mixtes, 131. — La forme des montagnes dépend beaucoup de la nature des roches, 131. — Groupement des montagnes, 132. — Chaînes de montagnes, 133. — Orientation des chaînes, 134. — Axes d'une chaîne, 135. — Inclinaison des versants, 135. — Degré de la pente, 136. — Hauteur des montagnes, 137. — Altitude des arêtes, 138. — Longueur et largeur des chaînes, 139. — Surface occupée par quelques chaînes, 139. — Volume des chaînes, 139. — Physionomie des montagnes, 140.

*Vallées*, 142. — Vallées orographiques, 143. — Vallées de ploiement, 143. — Vallées de rupture, 145. — Vallées de déjection, 145. — Vallées d'érosion, 147. — Vallées mixtes, 149.

*Gouffres et cavernes*, 150.

*Dépressions continentales*, 151. — Dépression aralo-caspienne, 151. — Mer Morte, 152. — Sahara, 152.

## CHAPITRE V

## PYROSPHÈRE

Pyrosphère, 153.

## TROISIÈME PARTIE

## PHÉNOMÈNES ACTUELS

## CHAPITRE PREMIER

## PHÉNOMÈNES ATMOSPHÉRIQUES

Phénomènes atmosphériques, 155.

*Mouvements de l'atmosphère*, 155. — Vents, 155. — Vitesse des vents, 156. — Direction des vents, 157. — Caractère propre des vents, 158. — Marées atmosphériques, 159.

*Circulation souterraine de l'atmosphère*, 160.

*Action de l'atmosphère sur les eaux*, 160.

*Transport des poussières*, 161.

*Dunes*, 162. — Distribution des dunes sur le globe, 163. — Dimension des dunes ; leur progression, 163. — Ère des dunes, 164.

*Décomposition des roches*, 165. — Décomposition chimique, 165. — Actions physiques, 166. — Effets généraux de la décomposition des roches, 167.

*Dégradations du sol*, 167. — Corrosion et polissage des roches, 168. — Fendillement et morcellement des roches, 168. — Excavations et cannelures, 170.

— Blocs précipités, 172. — Éboulements, 174.

*Phénomènes électriques*, 175.

*Action générale de l'atmosphère*, 175.

## CHAPITRE II

## PHÉNOMÈNES AQUATIQUES

## § 1. — EAU SOLIDE

*Neige*, 176. — Effet de la neige sur les roches, 177.

*Glacières naturelles*, 178.

*Glaciers*, 178. — Glaciers alpins, 180. — Formation de la glace, 180. — Fusion des glaciers, 181. — Marche des glaciers, 181. — Conditions nécessaires à l'extension des glaciers, 182. — Progression des glaciers, 182. — Causes de la progression des glaciers, 184. — Crevasses, 184. — Bruits des glaciers, 188. — La vie sur les glaciers, 188. — Étendue et volume des glaciers, 189. — Structure d'un glacier, 190. — Moraines ; roches striées, 190. — Moraines latérales ou marginales, 192. — Traces laissées par les glaciers ; roches moutonnées ; blocs erratiques, 194. — Ancienne extension des glaciers, 195. — Anciens glaciers des Vosges, du Jura, des Pyrénées, 195. — Anciens glaciers du Plateau central de la France, 196. — Anciens glaciers en général, 196. — Glaciers des vallées et glaciers des pentes, 197. — Glaciers polaires, 197.

*Glaces polaires*, 198.

*Glaces flottantes*, 199.

*Action générale de l'eau solide*, 200.

## § 2. — EAU LIQUIDE

- Pluie*, 201. — Régime des pluies sur le globe, 202. — Fréquence et abondance des pluies, 203. — Répartition des pluies suivant les saisons, 204. — Abondance des pluies dans le passé et dans l'avenir, 204. — Composition de l'eau de pluie, 205. — L'eau pluviale à la surface du sol, 205. — Actions des eaux pluviales, 205. — Dissolutions, 205. — Corrosions, 206. — Dégénéralisations, 206. — Atterrissements, 206.
- Eaux souterraines et sources*, 206. — Leur origine, 207. — Action du sol, 207. — Roches imperméables, 207. — Roches perméables en petit, 207. — Roches perméables en grand, 208. — Gisement des sources ; leur régime, 209. — Altitude des sources, 210. — Recherche des sources, 210. — Classification des sources, 211. — Sources permanentes, 211. — Sources temporaires, 211. — Sources intermittentes, 211. — Sources jaillissantes et puits artésiens, 211. — Puits absorbants, 213. — Composition des eaux souterraines superficielles, 213. — Qualités des eaux des sources, 214. — Température des sources, 215. — Actions des eaux souterraines superficielles, 215. — Réactions chimiques, 215. — Minéralisation des sources, 215. — Érosions souterraines, 215. — Dissolutions, 215. — Cristallisations, 216. — Incrustations et concrétions, 216. — Formation des roches, 219. — Cimentation des roches meubles, 219. — Dépôts meubles, 220.
- Eaux courantes*, 220. — Fleuves, rivières, bassins, etc., 221. — Surface de quelques bassins hydrographiques, 221. — Longueur des principaux fleuves, 221. — Circonstances influant sur la dimension des cours d'eau, 223. — Profondeur des cours d'eau, 224. — Pente des cours d'eau, 224. — Vitesse des cours d'eau, 225. — Cours des fleuves, 225. — Volume des fleuves, 226. — Régime des fleuves, 227. — Actions des eaux courantes, 228. — Érosions, 228. — Démantèlement des falaises, recul des cataractes, etc., 229. — Chaudières, 230. — Le mouvement de rotation de la terre a-t-il de l'influence sur la direction des cours d'eau? 230. — Ouverture et formation des vallées d'érosion, 232. — Une vallée d'érosion n'est qu'une grande ravine, 233. — Les vallées d'érosion ont été creusées par des eaux courantes, 233. — Ces eaux proviennent de pluies, 235. — Mode d'action des eaux diluviennes, 236. — Preuves du retrait des eaux diluviennes, 236. — Diluvium, 237. — Les pluies diluviennes prouvées par l'ancienne extension des glaciers, 239. — Concordance entre les phénomènes diluviens et les phénomènes glaciaires, 240. — Alluvions, 241. — Formation des galets, des sables et des boues, 241. — Blocs charriés, etc., 242. — Disposition des alluvions, 242. — Ancienne importance des alluvions, 243. — Deltas, 243. — Constitution d'un delta, 245. — Exhaussement des branches des deltas, 246. — Les deltas peuvent servir à estimer la durée géologique, 247. — Estuaires, 247. — Barres, 248. — Action générale des eaux courantes, 248.
- Eaux lacustres*, 249. — Mouvements des eaux lacustres, 249. — Sédimentation lacustre ; terrains lacustres, 250. — Stratification des terrains lacustres, 250. — Sédimentation mécanique et sédimentation chimique, 251. — Ancienne importance de la sédimentation lacustre, 252.
- Eaux marines*, 252. — Vagues, 252. — Action des vagues, 253. — Flots de fond, raz-de-marée, etc., 254. — Vagues de translation, 254. — Effets actuels des raz-de-marée et des vagues de translation, 255. — Leurs effets aux époques antérieures, 255. — Marées, 256. — Variations dans l'amplitude des marées, 256. — Action des marées, 257. — Mascaret, 257. — Courants, 258. — Vitesse des courants, 258. — Volume des eaux du Gulf Stream, 258. — Direction des courants, 258. — Courants divers, 259. — Trajets des courants constants, 260. — Influence et action des courants marins, 261. — Érosion et destruction des rivages, 263. — Résistance des diverses roches à l'action des eaux marines, 264. — Conséquences des érosions marines, 264. — Ablations, 265. — Atterrissements, 266. — Appareil littoral, hauts-fonds, bas-fonds, 267. — Plages et cordons littoraux, lagunes, etc., 167. — Les atterrissements

marins caractérisent l'époque actuelle, 268. — Sédimentation mécanique, 269. — Sédimentation chimique, 269. — Caractères distinctifs des dépôts marins, 270.

### CHAPITRE III.

#### PHÉNOMÈNES TERRESTRES.

##### § 1. — MOUVEMENTS DU SOL.

Mouvements du sol, 271. Causes des mouvements du sol, 272.

*Mouvements orogéniques*, 272.

*Mouvements séculaires*, 273. — Péninsule scandinave et régions voisines, 273. — Grande-Bretagne, 274. — Bretagne, 275. — Localités diverses, 275. — Temple de Sérapis, 275.

*Tremblements de terre*, 277. — Vitesse de la propagation du mouvement, 278. — Surface affectée par les tremblements de terre, 278. — Profondeurs affectées par les tremblements de terre, 279. — Tremblements de terre sous-marins, 279. — Nombre et durée des secousses, 280. — Bruits, 280. — Effets physiques des tremblements de terre, 281. — Effets sur les eaux terrestres, 281. — Effets sur les eaux marines, 282. — Effets sur le sol, 283. — Exemples de modifications permanentes de la surface du sol, 284. — Connexion intime entre les mouvements du sol et les éruptions volcaniques, 285. — Si la nature du terrain exerce de l'influence sur l'intensité des tremblements de terre ? 286. — Effets mécaniques des tremblements de terre, 287. — Effets sur les êtres vivants, 288. — Si les mouvements du sol ont quelque relation avec l'état de l'atmosphère et les saisons ? 289. — Causes des tremblements de terre, 291. — Régions des tremblements de terre, 291.

##### § 2. — PHÉNOMÈNES ÉRUPTIFS.

*Éruptions volcaniques*, 295. — Volcans sans cratère, 295. — Cratères d'explosion, 298. — Cratères de soulèvement, 298. — Volcans à cône et à cratère, 298. — Volcans mixtes, 301. — Marche générale d'une éruption volcanique, 302. — Bruits souterrains et trépidations, 304. — Chaleur dégagée avant l'éruption, 304. — Éruption des gaz et des vapeurs, 304. — Projection des cendres et des scories, 306. — Volume des cendres, 308. — Force de projection des volcans, 309. — Lueurs et flammes, 309. — Arrivée de la lave, 310. — Écoulement de la lave, 312. — Solidification de la lave, 315. — Fumerolles, 316. — Consolidation de la lave, 316. — Aspect des coulées refroidies, 317. — Fin de l'éruption, 317. — Éruption du Tamboro en 1815, 318. — Éruption du Vésuve en 1855, 321. — Activité volcanique, 323. — Déplacements de l'activité volcanique : Vésuve et Champs Phlégréens, 325. — Volcans éteints, 326. — Volcans nouveaux, 326. — Éruptions sous-marines, 327. — Régions volcaniques, 327. — Causes des éruptions volcaniques, 327. — Produits rejetés par les volcans, 332. — Emanations volcaniques, 333. — Tableau des corps simples rejetés par les volcans, 333.

*Solfatares*, 334.

*Emanations gazeuses*, 335.

*Sources bitumineuses*, 335. — Sources de l'Amérique du Nord, 336. — Origine des bitumes, 338.

*Salses*, 339. — Vulcancitos, 339.

*Soffioni*, 340.

*Geysers*, 340. — Théorie des geysers, 342.

*Sources minérales*. 343. — Circulation profonde des eaux souterraines, 343. — Température des sources minérales, 345. — Composition des eaux minérales, 345. — Substances dissoutes, 347. — Volume des sources minérales, 348. — Régime des sources minérales, 349. — Nombre des sources minérales, 349. — Relation entre le terrain et la nature des eaux minérales, 349.

*Phénomènes éruptifs en général*, 350.

## CHAPITRE IV.

## PHÉNOMÈNES ORGANIQUES.

*Vertébrés*, 351.

*Articulés*, 353.

*Mollusques*, 353.

*Crinoïdes*, 354.

*Polypiers*, 354. — Condition d'existence des polypiers, 356. — Accroissement des polypiers, 357. — Récifs, 357. — Récifs côtiers ou frangés, 358. — Récifs-barrières, 358. — Dimension des récifs-barrières, 359. — Récifs annulaires ou atolls, 360. — Origine des atolls, 360. — Régions coralligènes, 363. — Développement des récifs dans le passé et dans l'avenir, 367.

*Microzoaires et microphytes*, 367. — Spongiaires, 368. — Foraminifères et polycéstinés, diatomées, 369. — Terrains édifiés par les microzoaires et microphytes, 370. — Importance des infiniment petits dans le passé, 372.

*Végétaux*, 374. — Décomposition des végétaux, 374. — Combustibles fossiles, 374. — Bois accumulés sur place, 376. — Tourbières et tourbe, 376. — Formation d'une tourbière, 377. — Structure d'une tourbière, 378. — Épaisseur et étendue d'une tourbière, 379. — Tourbières anciennes, 379.

## CHAPITRE V.

## PHÉNOMÈNES COSMIQUES.

Phénomènes cosmiques, 379.

## QUATRIÈME PARTIE

## PHÉNOMÈNES ANCIENS

## CHAPITRE PREMIER

## ROCHES TERRESTRES

Roches, 382.

## § 1. — MINÉRAUX CONSTITUTIFS DES ROCHES.

Quartz, 383. — Feldspaths, 384. — Micas, 385. — Talc, 386. — Chlorite, 386. — Amphibole, 386. — Pyroxènes, 387. — Diallage, 387. — Péridot, 387. — Amphigène, 388. — Zéolithes, 388. — Sel gemme, 388. — Chaux fluatée, 388. — Baryte sulfatée, 388. — Chaux sulfatée, 389. — Chaux carbonatée, 389. — Dolomie, 389. — Argile, 389. — Fer oxydulé, 389. — Fer oligiste, 390. — Fer hydroxydé, 390. — Fer sulfuré, 390. — Fer carbonaté, 390.

## § 2. — ROCHES.

Classification des roches, 391.

1. — *Roches felspathiques.*

Granite, 391. — Syénite, 392. — Protogine, 392. — Gneiss, 392. — Porphyres, 392. — Trachyte, 392. — Phonolite, 393.

2. — *Roches amphiboliques.*

Diorite, 393. — Amphibolite, 393.

3. — *Roches pyroxéniques.*

Dolérite, 393. — Basalte, 393. — Amphigénite, 394. — Lherzolite, 394. — Euphotide, 394.

4. — *Roches magnésiennes.*

Serpentine, 394. — Talcite, 394.

5. — *Roches micacées.*

Minette, 394. — Kersanton, 394. — Micacite, 395.

6. — *Roches quartzenses.*

Quartzite, 395. — Grès, 395. — Sable, 395. — Poudingue, 395. — Brèche, 396. — Jaspe, 396. — Silex, 396.

7. — *Roches argileuses.*

Phyllade, 396. — Argile, 397.

8. — *Roches terreuses et alcalines.*

Calcaires, 397. — Dolomie, 398. — Gypse, 398. — Anhydrite, 398. — Sel gemme, 398.

9. — *Roches métalliques.*

Fer oxydulé, 398. — Fer oligiste, 398. — Fer hydroxydé, 399. — Fer carbonaté, 399.

10. — *Roches combustibles.*

Graphite, 399. — Charbon minéral, 399. — Tourbe, 399. — Bitumes, 399.

## CHAPITRE II.

## TERRAINS PRIMORDIAUX.

Sol primordial, 400. — Théorie de Werner, 400. — Théorie de Cordier, 401. — Discussion des deux théories, 402. — Le sol primitif est formé de roches felspathiques, 405. — Couches profondes, 406.

## CHAPITRE III.

## TERRAINS SÉDIMENTAIRES

Terrains de sédiment, 407

## § 1. — SÉDIMENTATION.

Sédimentation, 408.

*Sédimentation mécanique*, 408. — Aspect et manière d'être des sédiments d'origine mécanique, 409. — Leur gisement dans les bassins, 410.  
*Sédimentation chimique*, 410. — Calcaire, 411. — Dolomie, 415. — Gypse, 415. — Sel gemme, 416. — Argile, 417. — Sable, 419. — Silice, 419. — Fer oligiste, 419. — Fer hydroxydé, 419. — Houille, 419. — Texture des roches de sédimentation chimique, 424.  
*Accidents de la sédimentation*, 425. — Rognons siliceux, 425. — Géodes ou druses, 426. — Cristallisations, 426. — Perforations et tubulures, 427. — Fissures de retrait, 427. — Déchirures, 427. — Stries de froissement, 427. — Stylolites, 428. — Dalles, 428. — Schistosité, 428. — Cailloux impressionnés, 429. — Coloration, 430.

## § 2 — STRATIGRAPHIE.

Stratigraphie et stratification, 430. — Strates considérées isolément, 431. — Épaisseur des strates, 431. — La durée géologique ne peut s'estimer d'après l'épaisseur des strates, 432. — Allures des strates, 433. — Action des ablations et des érosions, 435. — Succession des sédiments dans le sens vertical, 435. — Stratigraphie proprement dite, 436. — Définitions, 437. — Lois stratigraphiques, 439. — Accidents stratigraphiques et formes orographiques qui en dérivent, 439. — Failles, 439.

## § 3. — FOSSILES.

Fossiles, 441.

*Etat des fossiles*, 442. — Fossile complet, 442. — Fossile incomplet, 443. — Moule extérieur, 443. — Empreinte extérieure, 443. — Moule intérieur, 443. — Empreintes et vestiges, 444. — Empreintes physiques, 445.

*Conservation*, 445. — Parties conservées par la fossilisation, 447.

*Substances fossilisantes*, 450.

*Gisement des fossiles dans les roches*, 452. — Causes de la richesse en fossiles, 452. — Exemples de l'influence du milieu, 453. — Faunes coralliennes dans le kimmérien de Montbéliard, 454. — La nature du milieu minéral semble quelquefois étrangère à l'extinction des fossiles, 454. — Distribution des fossiles dans les assises, 455.

*Gisement des fossiles dans les bassins*, 455. — Station des animaux marins, 456. — Aspects ou faciès, 457.

## § 4. — CLASSIFICATION DES TERRAINS DE SÉDIMENT.

Classification des terrains de sédiment, 459. — Espèce fossile, 460. — L'espèce en histoire naturelle, 460. — L'espèce existe-t-elle ? 461. — Dans quelle mesure on peut se servir de la paléontologie, 463. — Ce que l'observation révèle relativement aux causes de l'apparition et de l'extinction des espèces, 464. — Hypothèses relatives à l'origine des espèces, 465. — Précautions à observer dans le choix des fossiles caractéristiques, 468. — Horizons paléontologiques ; horizons géologiques ; centres de dispersion, 469. — Sondages dans les mers profondes, 470. — Comment on doit établir les divisions d'un terrain, 471. — Horizons minéralogiques ou pétrographiques, 472. — Nomenclature géologique, 472. — Valeur des divisions actuelles des terrains sédimentaires, 473. — Tableau de la classification des terrains sédimentaires, 474.

## CHAPITRE IV.

### TERRAINS ÉRUPTIFS.

Terrains éruptifs, 475.

#### § 1. — ROCHES ÉRUPTIVES.

Enclaves transversaux, cônes, coulées, dykes, 475. — Structure des roches éruptives, 476. — Relations des roches éruptives avec les roches encaissantes, 478.

— Stratigraphie des roches éruptives, 479. — Lois stratigraphiques, 479. — Age relatif des roches éruptives, 480. — Roches plutoniques et roches volcaniques, 481. — Origine des roches éruptives, 481. — Origine du granite, 482. — Hypothèse de Werner, 482. — Hypothèse de l'origine métamorphique du granite, 482. — Hypothèse d'Hutton, 483. — Objections, 483. — Hypothèse courante, 484.

### § 2. — FILONS.

Filons, 485. — Age et direction des filons : lois, 486. — Origine des filons, 486. — Minerai, gangue, 487. — Nature minéralogique des filons, 488. — Filons stannifères, 488. — Filons plombifères, 488. — Filons aurifères, 488.

## CHAPITRE V.

### MÉTAMORPHISME.

Métamorphisme, 489. — Métamorphismes divers, 489. — Rapport entre les causes et les résultats, 490. — Effets du métamorphisme, 491. — Schistosité, 491. — Division prismatique, 491. — Division en dalles, 492. — Texture cristalline, 492. — Vitrification, 493. — Compacité, 493. — Carbonisation, 493. — Pénétration d'éléments étrangers, 494. — Formation de cristaux étrangers, 494. — Épigénie, 495. — Pseudomorphisme, 495. — Action particulière des roches éruptives, 495. — Métamorphisme régional, 496. — Schistes cristallins, 496.

## CHAPITRE VI.

### MOUVEMENTS DU SOL.

Mouvements du sol, 497.

#### § 1. — MOUVEMENTS SÉCULAIRES.

Mouvements séculaires, 497.

#### § 2. — MOUVEMENTS OROGÉNIQUES.

Mouvements orogéniques, 498. — Amplitude des mouvements orogéniques, 499. — Leur intensité croissante, 500. — Age relatif des montagnes, 500. — Orientation des montagnes, 501. — Parallélisme des chaînons rapprochés contemporains, 501. — Théories orogéniques, 502. — Théorie de M. Élie de Beaumont, 502. — Réseau pentagonal, 502. — Systèmes orographiques ou systèmes de montagnes, 503. — Directions d'emprunt, directions récurrentes, 504. — Application de la théorie, 504. — Lignes naturelles, 505. — Largeur maximum d'un système orographique, 505. — Nouveaux détails relatifs à l'application de la théorie, 505. — Installation du réseau pentagonal, 507. — Premières objections à la théorie, 507. — Réponse à ces objections, 508. — Nouvelles objections, 508. — Trajet sur le globe du grand cercle dodécaédrique du cap Corrientes et de Singapour, 509. — Trajet du 45° parallèle nord, 511. — Continuation des objections, 512. — La contemporanéité des accidents stratigraphiques d'un système de montagnes est plutôt supposée que démontrée, 512. — Beaucoup d'accidents stratigraphiques s'écartent trop de l'orientation des lignes du réseau pentagonal pour qu'ils en fassent partie, 512. — Exemples de systèmes en dehors du réseau pentagonal, 513. — Beaucoup de systèmes et d'accidents regardés comme contemporains ne sont ni perpendiculaires ni parallèles entre eux, 513. — La théorie est mise complètement en défaut par le système des Pyrénées et par celui du Longmynd, 514. — A quel point laissent à désirer l'établissement et la détermination de plusieurs systèmes, 515. — Bretagne et Vendée, 515. — Vallée du Doubs, 515. — Vallée du Rhône, 516. — Mont Serrat, 516. — Axe volcanique méditerranéen, 517. — Objections portant sur le fond de la théorie, 517. — Ce qu'on doit entendre réellement par système

de montagnes, 520. — Résumé de la discussion, 521. — Age relatif de quelques montagnes de l'Europe, 522.

## CHAPITRE VII.

## ÉPOQUES GÉOLOGIQUES.

Époques géologiques, 524. — La Terre nébuleuse et étoile nébuleuse, 525. — La Terre soleil et planète, 525. — Période cosmique, 526. — Période géologique, 526.

## § 1. — ÉPOQUE AZOÏQUE.

Époque azoïque, 527. — Premiers terrains de sédiment, 527.

## § 2. — ÉPOQUE PALÉOZOÏQUE.

Époque paléozoïque ou de transition, 528.

*Terrain laurentien*, 529. — Age relatif des fossiles, 529.

*Terrain silurien*, 530. — Premiers êtres vivants, 532. — Caractéristiques de la faune silurienne, 532. — Flore silurienne, 533. — Faune silurienne, 533. — Amorphozoaires, 533. — Rayonnés, 533. — Polypiers, 533. — Zoanthaires, 534. — Graptolites, 534. — Échinodermes, 536. — Crinoïdes, 536. — Stellérides, 537. — Échinides, 537. — Mollusques, 539. — Bryozoaires, 539. — Mollusques ordinaires, 539. — Brachiopodes, 539. — Acéphales ou lamelli-branches, 542. — Pleuroconques, 543. — Orthoconques, 543. — Intégropalléales et sinupalléales, 543. — Gastéropodes, hétéropodes et ptéropodes, 544. — Céphalopodes, 546. — Tentaculifères, 547. — Articulés, 550. — Trilobites, 551. — Vertébrés, 551. — Flore silurienne, 551. — Répartition des fossiles siluriens dans le terrain, 552. — Faunes particulières, 552. — Colonies, 553. — Distribution géographique des fossiles siluriens, 554. — Résultats généraux, 554.

*Terrain devonien*, 555. — Faune devonienne, 556. — Polypiers, 556. — Crinoïdes, stellérides, échinides, 556. — Bryozoaires, 557. — Brachiopodes, 557. — Acéphales, 558. — Gastéropodes et ptéropodes, 559. — Nautilides, 559. — Articulés, 560. — Poissons, 561. — Placéoides, 562. — Ganoïdes, 563. — Téléostéens, 564. — Caractéristiques de la faune dévonienne, 566. — Flore dévonienne, 566. — Faune dévonienne en général, 567. — Distribution géographique des fossiles dévoniens, 568.

*Terrain carbonifère*, 568. — Oscillations du sol, 568. — Terrain houiller de l'Europe occidentale, 569. — Faune carbonifère, 570. — Foraminifères, 570. — Polypiers, 570. — Crinoïdes, 571. — Stellérides, échinides, 572. — Bryozoaires, 573. — Brachiopodes, 573. — Acéphales et gastéropodes, 574. — Nautilides, 574. — Articulés, 575. — Poissons, 575. — Reptiles, 576. — Caractéristiques de la faune carbonifère, 576. — Flore carbonifère, 577. — Distribution géographique des fossiles carbonifères, 577. — Faune houillère, 577. — Flore houillère, 579. — Équisétacées, 580. — Fougères, 582. — Lycopodiées, 588. — Calamodendrées, 588. — Sigillariées, 591. — Cycadées, 592. — Cordaites, 592. — Annulariées, 594. — Angiospermes, 595. — Statistique et distribution géographique des plantes houillères, 596. — Climat du globe à l'époque houillère, 597. — Tableau de l'époque houillère, 598.

*Terrain permien*, 598. — Faune permienne, 601. — Flore permienne, 602. — Affinités et importance de la faune permienne, 603. — Distribution géographique des fossiles permien, 603.

## § 3. — ÉPOQUE MÉSOZOÏQUE.

Époque mésozoïque ou secondaire, 604. — Stratigraphie, 604. — Configuration des terres et des mers, 604. — Montagnes soulevées, 605.

*Terrain du trias*, 605. — Minéralogie du trias, 607. — Faune du trias, 607 —

Spongiaires, 607. — Zoophytes, 607. — Bryozoaires, 608. — Brachiopodes, 608. — Acéphales et gastéropodes, 608. — Céphalopodes, 609. — Articulés, 609. — Poissons, 610. — Reptiles et batraciens, 610. — Labyrinthodontes, 610. — Lacertiens, 612. — Empreintes de pas, 613. — Mammifères didelphes ou marsupiaux, 614. — Caractéristiques de la faune du trias, 614. — Flore du trias, 616. — Statistique de la faune, 617. — Distribution géographique des fossiles, 618.

*Terrain jurassique*, 620. — Faune jurassique, 620. — Foraminifères et spongiaires, 620. — Polypiers, 620. — Astérides, 622. — Échinides, 622. — Bryozoaires, 623. — Brachiopodes, 624. — Acéphales et gastéropodes, 625. — Céphalopodes, 627. — Acétabulifères, 630. — Bélemnites, 632. — Articulés, 636. — Vertébrés, 637. — Reptiles, 637. — Enaliosauriens, 637. — Ichthyosaures, 639. — Plésiosaures, 639. — Pterodactyles, 639. — Dinosauriens, 640. — Oiseaux, 641. — Mammifères, 641. — Flore jurassique, 644. — Caractéristiques de la faune jurassique, 645. — Distribution géographique des fossiles, 647.

*Terrain crétacé*, 647. — Faune crétacée, 648. — Foraminifères et spongiaires, 648. — Polypiers et zoophytes, 648. — Bryozoaires, 649. — Brachiopodes, 649. — Acéphales et gastéropodes; rudistes, 650. — Ammonitides, 660. — Acétabulifères, 664. — Articulés, 665. — Vertébrés, 665. — Oiseaux et mammifères, 665. — Caractéristiques de la faune crétacée, 666. — Flore crétacée, 667. — Divisions de la faune crétacée, 668. — Distribution géographique des fossiles; mouvements du sol, etc., 671. — Craie de l'océan Atlantique, 672. — Climat du globe à l'époque crétacée, 673.

#### § 4. — ÉPOQUE NÉOZOÏQUE.

Époque néozoïque, 673.

*Terrain tertiaire*, 674. — Faune tertiaire, 675. — Flore tertiaire, 681. — Divisions de la faune tertiaire, 681. — Ordre de succession des mammifères tertiaires, 683. — Apparition de l'homme, 689. — Tableau de l'époque tertiaire, 690. — Climat de l'Europe à l'époque tertiaire, 691.

*Terrain quaternaire*, 693. — Refroidissement général; ses indices, 694. — Multiplicité des indices glaciaires, 694. — Glaciers; érosions diluviennes, 696. — Brèches osseuses et limon des cavernes, 696. — Dépôts lacustres et marins, etc., 697. — Opinion commune sur la succession des phénomènes quaternaires, 697. — Objections, 698. — Tableau de l'époque quaternaire, 699. — Faune quaternaire, 700. — Mammifères de l'Europe, 700. — L'homme quaternaire, 703. — Subdivisions de l'époque quaternaire, 704. — Animaux de l'Amérique du Nord, 704. — Animaux de l'Amérique méridionale, 705. — Animaux de l'Australie, de la Nouvelle-Zélande et de Madagascar, 707. — Anciens climats du globe, 708. — Marche de la température aux différentes époques géologiques, 708. — Causes du premier refroidissement, 709. — Les phénomènes extraordinaires ne peuvent être invoqués, 709. — Influence de la chaleur centrale, 710. — Hypothèse de M. Blandet, 711. — Facteurs dont il faut tenir compte dans tous les systèmes, 712. — Hypothèse de l'auteur, 712. — Troisième période climatérique: refroidissement régulier, 713. — Quatrième période: oscillations climatériques de l'époque quaternaire, 713. — Hypothèses géologiques, 714. — Causes astronomiques, 715. — Précession des équinoxes et nutation, 715. — Insuffisance apparente des causes astronomiques, 715. — Excentricité de l'ellipse, 716. — Résumé, 717.

*Terrain contemporain*, 718.

# ÉLÉMENTS DE GÉOLOGIE

---

## PREMIÈRE PARTIE

### LE MONDE SIDÉRAL

---

**Matière.** — La *Matière* occupe l'Espace sous deux formes, ou, ce qui revient au même, deux espèces de matière occupent l'espace. L'une est visible ou tangible, mais toujours pesante : c'est la *Matière pondérable*; l'autre échappe à nos sens en raison de son excessive ténuité, mais son existence semble prouvée par les phénomènes de la lumière et de la chaleur : c'est l'*Éther*. Nous n'avons à nous occuper que de la première.

**Espace.** — Tout ce qu'on sait de l'*Espace*, c'est qu'il n'a pas de limites, que dans toutes les parties privées de matière pondérable règne une obscurité profonde, absolue, enfin que la température y est très-basse. Cette dernière ne peut être que difficilement évaluée. On admet toutefois une chaleur maximum qui ne peut s'élever au-dessus des froids les plus rigoureux observés sur la terre. Poisson estimait la température de l'espace à  $-48$  degrés, Fourier à  $-55$ , Arago à  $-57$ , Saigey à  $-60$ , Biot et Gay-Lussac à  $-70$ , John Herschel à  $-75$ , enfin Pouillet à  $-140$ . Le plus grand froid constaté sur le globe est de  $-58$ ; d'où il résulte que la température de l'espace ne dépasse jamais ce chiffre. Est-elle partout la même? Nous l'ignorons. A une distance des corps célestes assez considérable pour

que leurs rayonnements calorifiques deviennent insensibles, il n'y a aucune raison de supposer qu'elle ne soit pas uniforme. Aussi devons-nous tenir pour suspects les théories reposant sur l'hypothèse de l'inégalité de la température de l'espace.

**Astres.** — La matière pondérable forme les *astres* et tout ce qu'ils renferment. On les nomme, suivant leur espèce : *nébuleuses, étoiles* ou *soleils, planètes, anneaux, satellites, comètes, météores*, et leur ensemble constitue le *monde sidéral*.

**NÉBULEUSES.** — Les nébuleuses apparaissent dans le ciel comme des taches vaporeuses et phosphorescentes d'un blanc laiteux et d'une forme généralement irrégulière (fig. 1). Soumises aux plus forts grossissements, elles conservent leur aspect premier et semblent composées d'une matière excessivement subtile et raréfiée; bien différentes des *lactées*, dont l'apparence est la même à l'œil nu, mais qui se résolvent au télescope en une multitude d'étoiles.

**Mouvements des nébuleuses.** — La plupart des nébuleuses semblent animées de mouvements de concentration, de rotation et même de translation, qui se traduisent, soit par des changements de forme, soit par des apparences particulières.

La *translation* dans l'espace se reconnaît à des traînées lumineuses que laissent les nébuleuses derrière elles. Comme exemples, on peut citer la belle nébuleuse des Chiens de chasse (fig. 2) et les deux nébuleuses de la Licorne.

La *rotation* autour d'un axe se constate quelquefois directement, comme dans la nébuleuse du Bouvier; mais, le plus souvent, c'est la forme spirale de l'astre qui permet de la remarquer. La nébuleuse des Chiens de chasse, celle de la Chevelure de Bérénice et celle de la Vierge, par exemple (fig. 3), montrent à leur centre un noyau plus brillant et plus condensé entouré de rayons, ou plutôt d'aigrettes tordues en spirale dans le même sens, le tout ressemblant à l'effet de certaines pièces d'artifice. On voit ainsi que le noyau tourne plus rapidement que la matière environnante; ce qui prouve en même temps une *condensation*, puisque, dans toute masse matérielle en mouvement, la vitesse augmente quand le volume diminue.

La condensation se reconnaît encore à l'existence de noyaux plus ou moins arrondis, d'un grand éclat, où la matière est évidemment plus agglomérée, et qui constituent autant de centres d'attraction. Quelques-uns même paraissent animés d'un mouvement de rotation sur leur axe et sont entourés de petites zones vaporeuses dont la concentration donnera naissance à des satellites, quand le noyau

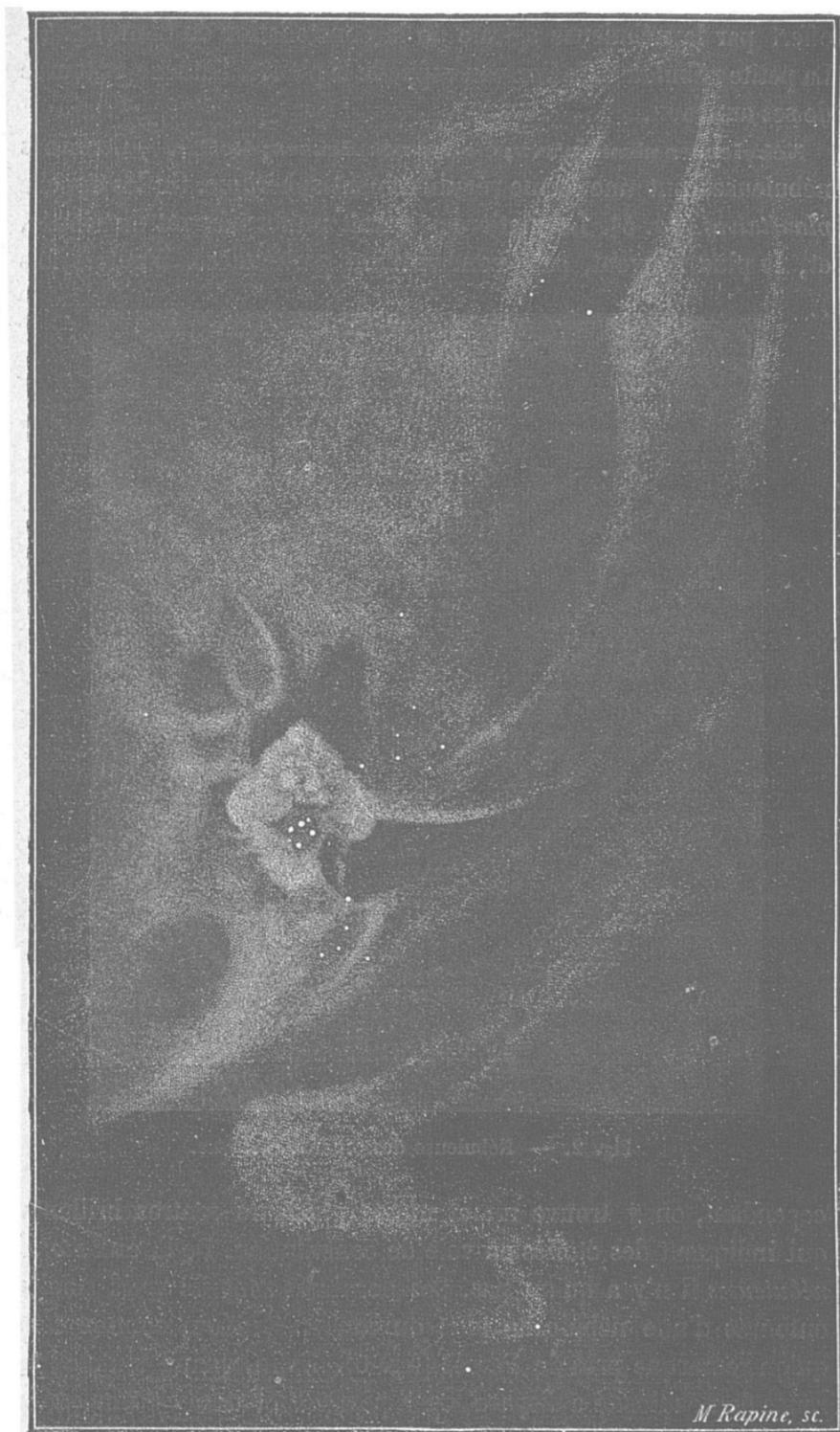


Fig. 1. — Nébuleuse d'Orion.

plus refroidi sera lui-même transformé en planète. Tel est le spectacle offert par la nébuleuse spirale de la constellation du Lion (fig. 4). La petite nébuleuse du Verseau rappelle la planète Saturne entourée de ses anneaux.

**Nébuleuses planétaires; étoiles nébuleuses; étoiles.** — Certaines nébuleuses ont une forme régulièrement sphérique. On les appelle *planétaires* (fig. 5). La matière y paraît uniformément distribuée, et, le plus souvent, sans condensation particulière. D'autres fois

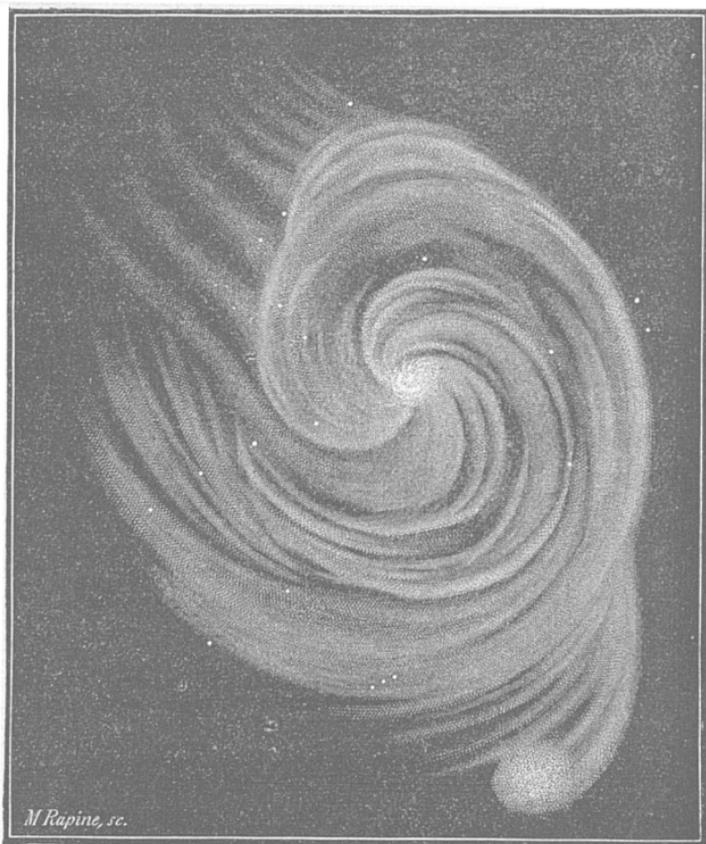


Fig. 2. — Nébuleuse des Chiens de chasse.

cependant, on y trouve un et même plusieurs centres brillants, qui indiquent des étoiles en voie de constitution. De là aux *étoiles nébuleuses* il n'y a qu'un pas. Ces dernières sont de vrais soleils, entourés d'une nébulosité plus ou moins étendue, comme celle qu'on remarque près de Persée (fig. 6). Enfin, quand toute apparence de nébulosité a disparu, ou a peu près, l'astre est une *étoile*. La concentration a donc pour effet de transformer peu à peu les *nébuleuses* en *étoiles*.



Fig. 3. — Nébuleuse spirale de la Vierge.

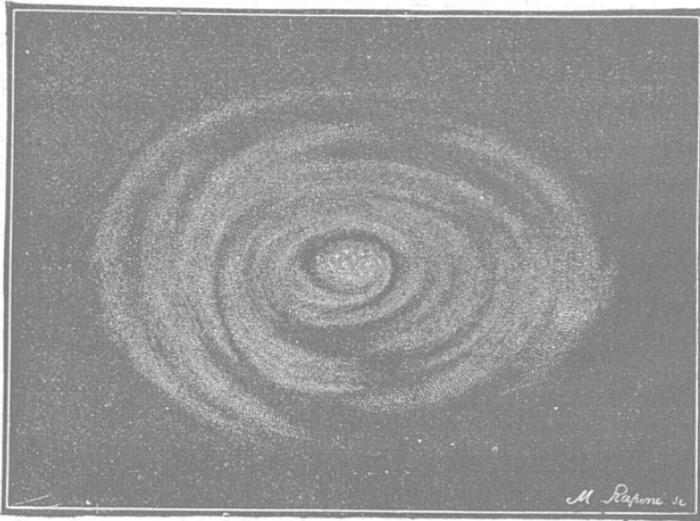


Fig. 4. — Nébuleuse du Lion.

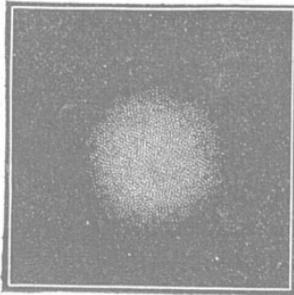


Fig. 5. — Nébuleuse planétaire  
des Poissons.

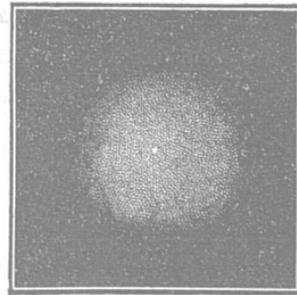


Fig. 6. — Étoile nébuleuse  
de Persée.

**Nature des nébuleuses.** — Quelle est maintenant la nature intime des nébuleuses? Examinées avec le secours des instruments d'optique, elles montrent tous les passages entre un état de raréfaction matérielle extrême et une condensation se rapprochant de celles des étoiles. A cela se serait probablement borné tout notre savoir si l'analyse spectrale de la lumière n'eût prêté son secours aux astronomes et aux physiciens. M. Huggins, qui a observé plus de soixante nébuleuses, a reconnu qu'elles émettent toutes un certain nombre de raies brillantes et qu'elles ont un spectre discontinu, ce qui indique une matière gazeuse lumineuse, et par conséquent fort raréfiée. Plusieurs fournissent en outre un spectre continu si faible qu'on l'aperçoit à peine entre les raies brillantes, ce qui paraît dénoter un commencement de condensation et un passage à l'état liquide ou à l'état solide. L'analyse spectrale confirme donc les découvertes et les hypothèses de l'astronomie sur la nature des nébuleuses. Elle va même plus loin, puisqu'elle nous en laisse entrevoir la composition chimique.

Les nébuleuses étudiées par M. Huggins donnent en effet une des raies de l'azote, et la plupart, une et même deux des raies de l'hydrogène. La grande nébuleuse d'Orion a fourni en outre une des raies du fer. Il est donc infiniment probable que ces corps simples, surtout les deux premiers, constituent, en majeure partie, le plus grand nombre des nébuleuses actuelles, et que la matière est une et partout identique dans le monde sidéral.

**ÉTOILES.** — Les étoiles sont des astres incandescents et lumineux par eux-mêmes, en apparence homogènes et condensés, probablement sphériques et sans doute animés d'un mouvement de rotation sur leur axe comme le soleil, qui est lui-même une étoile. Au point de vue de leur distribution apparente, elles forment des groupes appelés *constellations*, qui divisent la voûte céleste en compartiments irréguliers de la même manière que les états et les contrées se partagent la surface du globe.

**Grandeur, éclat, dimension, etc.** — L'éclat des étoiles, très-variable de l'une à l'autre, mais le plus souvent constant pour chacune, les a fait ranger en 20 catégories de grandeurs auxquelles il n'est pas toujours facile d'assigner des limites précises: De la 1<sup>re</sup> à la 14<sup>e</sup> grandeur on en a enregistré plus de 43 000 000. Les plus brillantes ne sont pas toujours les plus rapprochées, car leur éclat dépend de leur dimension et de l'intensité lumineuse aussi bien que de la proximité. Examinées avec les instruments les plus puissants,

elles apparaissent toutes comme des points brillants sans diamètre appréciable, tant est prodigieux leur éloignement.

On ne sait rien de précis sur la chaleur propre des étoiles, qui doit être considérable, et souvent égale et même supérieure à celle du soleil, lequel n'occupe d'ailleurs qu'un rang assez modeste dans le monde stellaire. Les recherches très-déliées, mais encore incomplètes de M. Huggins, ont permis de constater directement cette chaleur dans Sirius, Pollux, Arcturus et Régulus.

**Lactées.** — J'ai dit que les étoiles ont été réunies en constella-

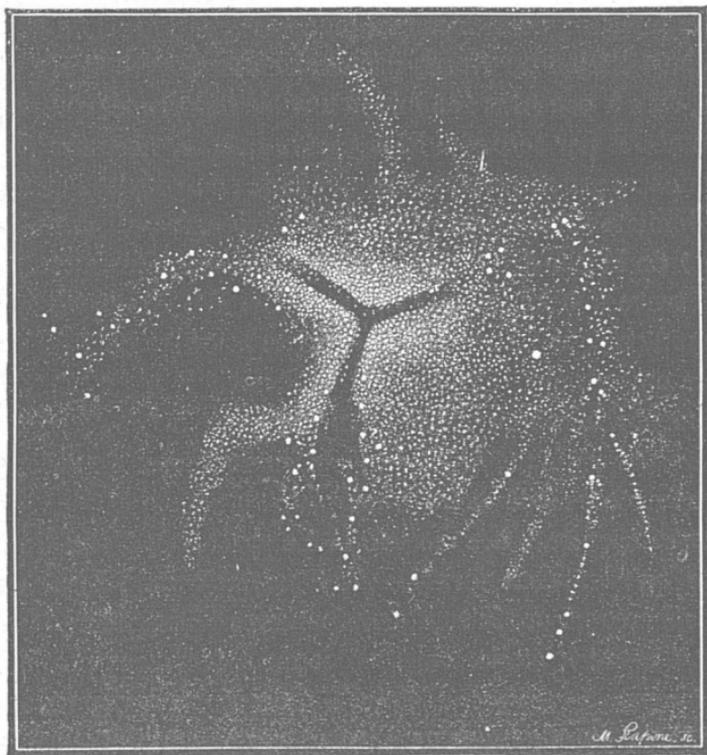


Fig. 7. — Lactée d'Hercule.

tions. Mais ce n'est là qu'un classement artificiel. En réalité, ces astres, qui cependant nous paraissent isolés, forment des agglomérations connues sous le nom de *lactées*. Sans doute aussi beaucoup échappent à tout groupement, et constituent autant de soleil épars dans l'immensité des cieux. Quoi qu'il en soit, les lactées sont des amas d'une quantité prodigieuse d'étoiles que leur éloignement extrême de la terre et leur rapprochement angulaire ne permettent pas de distinguer les unes des autres à l'œil nu et dont l'ensemble brille de l'éclat laiteux des nébuleuses. Beaucoup ont une forme ir-

régulière et bizarre, telles sont les lactées d'Hercule (fig. 7) et du Verseau. Beaucoup aussi sont annulaires, comme la *voie lactée* dont notre soleil occupe à peu près le milieu.

**Étoiles fixes.** — Toutes les étoiles visibles dans le ciel font partie de cette dernière. Très-irrégulièrement disséminées, ces étoiles conservent entre elles la même position et les mêmes distances. Voilà pourquoi on les appelle *étoiles fixes*. Mais leur immobilité n'est qu'apparente. Elle tient uniquement à leur prodigieux éloignement, et à la brièveté du temps pendant lequel on a pu recueillir des observations précises, la voie lactée étant en réalité animée de mouvements intestins aussi bien que les nébuleuses. Ainsi, la 61<sup>e</sup> étoile de la constellation du Cygne parcourt en un jour 619 000 myriamètres, ou a à peu près 160 fois le tour de la terre, ce qui revient à 71 kilomètres par seconde. Plus rapide encore, Arcturus parcourt 85 kilomètres par seconde, tandis que Véga ne se déplace qu'à raison de 7 kilomètres seulement. Notre soleil lui-même est entraîné vers l'étoile  $\lambda$  de la constellation d'Hercule avec une vitesse évaluée par M. O. Struve à 8 kilomètres par seconde. Ces exemples suffiront pour montrer que le mouvement existe là où semblait régner le repos le plus absolu ; que très-probablement il n'y a point d'astre entièrement fixe et immobile ; enfin que notre lactée chemine peut-être vers des régions inconnues, obéissant à des attractions qu'il n'est pas encore facile d'entrevoir.

**Analyse spectrale des étoiles.** — Le spectre de toutes les étoiles indique qu'elles sont formées d'un noyau incandescent entouré d'atmosphères qui produisent des raies noires d'absorption, lesquelles varient d'étoile à étoile. Dans toutes on a découvert plusieurs des corps simples terrestres. L'étoile  $\alpha$  d'Orion renferme du sodium, du calcium, du magnésium, du fer, du bismuth et peut-être du thallium ; on a constaté dans Aldébaran la présence de l'hydrogène, du sodium, du calcium, du magnésium, du fer, de l'antimoine, du tellure, du bismuth et du mercure. Le sodium et le fer sont les éléments les plus répandus dans le monde stellaire, et l'hydrogène, qui existe dans toutes les étoiles blanches, fait souvent défaut dans les étoiles rouges ou orangées. Disons enfin que M. Janssen a reconnu très-nettement, dans l'atmosphère de certaines étoiles rouges ou jaunes, notamment dans le soleil, les raies d'absorption particulières à la vapeur d'eau.

**Unité de matière.** — On voit que les corps célestes jusqu'ici passés en revue ont une constitution matérielle identique. A peine

quelques nébuleuses laissent-elles soupçonner l'existence de substances inconnues sur notre globe. Toutes les probabilités se réunissent donc en faveur de la théorie de l'unité de la matière et de la communauté d'origine de tous les astres, et ce qui va suivre achèvera d'en démontrer la vraisemblance.

**SOLEIL.** — Notre Soleil, ai-je dit, est une étoile située vers le centre de la voie lactée. Il a la forme d'une sphère qui mesure  $1/2$  degré dans tous les sens. Comparées à celles de la Terre, ses dimensions étonnent par leur grandeur. Si, en effet, nous prenons notre globe pour unité, le rayon du soleil est 108 fois plus grand, sa surface 11 800 fois plus étendue, son volume 1 280 000 fois plus considérable. Sa masse est 324 000 fois plus forte que la masse terrestre, mais sa densité ne dépasse pas le quart de celle de notre planète : on l'a estimée à 1,38, et plus récemment à 1,42, en prenant celle de l'eau pour unité.

Le soleil est incliné d'environ 7 degrés sur le plan de l'écliptique ; il tourne sur lui-même d'occident en orient en 25 jours 57 centièmes. Rappelons qu'il est entraîné, ainsi que tout son cortège de planètes, vers l'étoile  $\lambda$  de la constellation d'Hercule, avec une vitesse de 8 kilomètres par seconde. Sa distance moyenne à la terre est de 23 270 rayons terrestres équatoriaux ou de 34 500 000 lieues de 25 au degré, mais l'observation des prochains passages de Vénus fera peut-être modifier quelque peu ces chiffres.

**Aspect de la surface solaire ; taches et facules.** — Examinée avec les meilleurs instruments d'optique, sa surface, aux contours réguliers, paraît homogène, mais toute parsemée de fines granulations qui lui donnent un aspect chagriné. Assez fréquemment elle est marquée de *taches* sombres, dans le voisinage desquelles il semble que la matière lumineuse s'étire en forme de feuilles de saule qu'on dirait s'engouffrer dans les taches. Ces dernières se composent d'un *noyau* sombre entouré d'une *pénombre* moins obscure (fig. 8). Ordinairement irrégulière, leur forme change rapidement. Leurs dimensions dépassent quelquefois beaucoup celles du globe terrestre. Leur durée varie dans des limites assez larges : quelques-unes disparaissent au bout de peu de jours, d'autres persistent plusieurs mois de suite. Elles se montrent sur le bord oriental du soleil, et se rapprochent du centre de l'astre d'un mouvement qui s'accélère bientôt pour se ralentir au moment où la tache va disparaître sur le bord occidental. C'est ce déplacement des taches et le retour de certaines d'entre elles qui a fait découvrir la rotation du Soleil et l'in-

clinaison de son axe sur l'écliptique. Leur véritable nature est encore un problème : ce qu'on peut affirmer, c'est qu'elles consti-

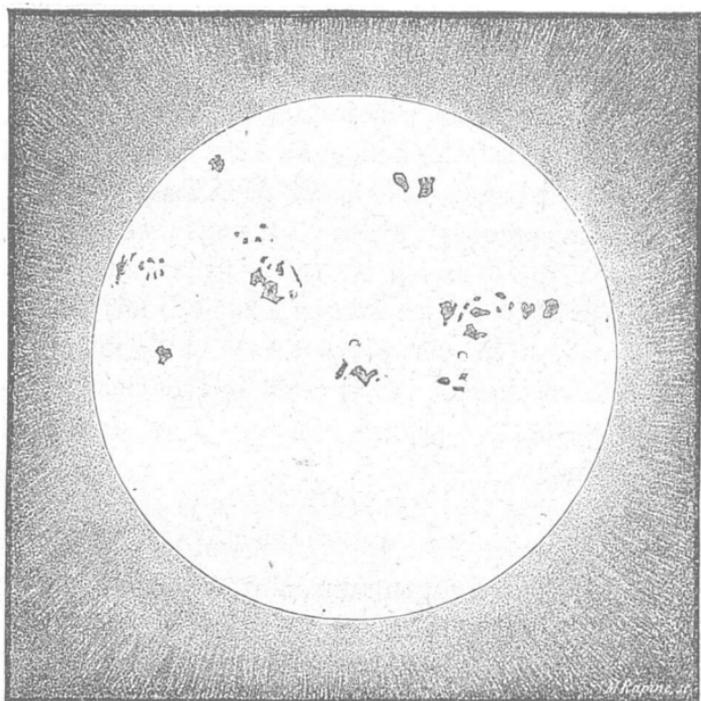


Fig. 8. — Taches du soleil le 2 septembre 1839, d'après Warren de la Rue et A. Guillemin.

tituent des cavités, des effondrements dans la surface apparente du Soleil : telle est du moins l'impression qui résulte de leur examen

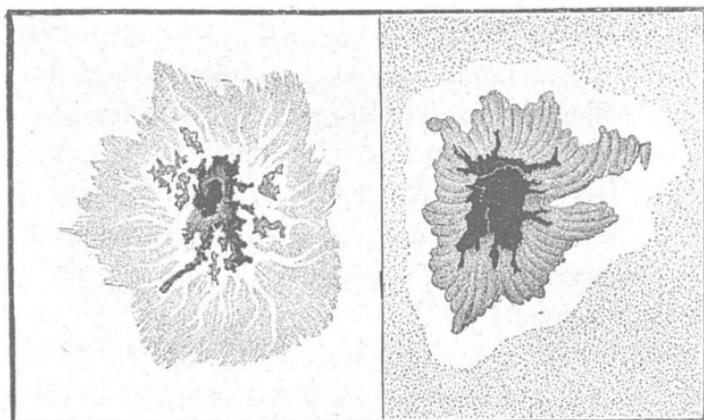


Fig. 9. — Taches et facules.

optique. J'ajouterai qu'une grande tache photographiée par M. Warren de la Rue, sur le bord même du soleil, se montre nettement

échancrée à son milieu. Autour et en arrière des taches, dont elles suivent le mouvement, se remarquent les *facules*, surfaces plus lumineuses que le reste du soleil. A l'examen stéréoscopique, ces facules paraissent des protubérances de l'atmosphère embrasée (fig. 9).

**Protubérances roses.** — Pendant longtemps les astronomes n'ont possédé sur la constitution du soleil d'autres notions que celles

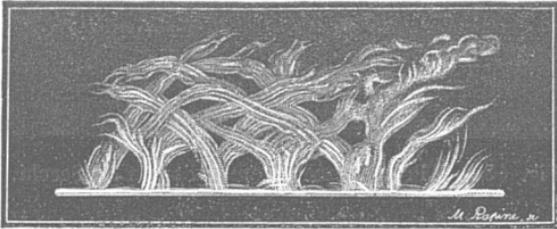


Fig. 10. — Protubérances roses, d'après M. Secchi.

qui viennent d'être sommairement exposées. Cependant, vers la fin du siècle dernier, Stannyan, de Berne, avait remarqué les *protu-*

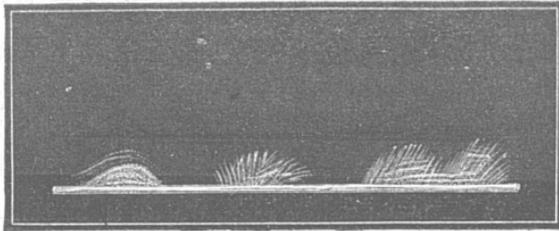


Fig. 11. — Protubérances roses, d'après M. Secchi.

*bérances roses*, mais son observation passa inaperçue, et la surprise fut extrême quand on les revit pendant l'éclipse totale de 1842. L'é-

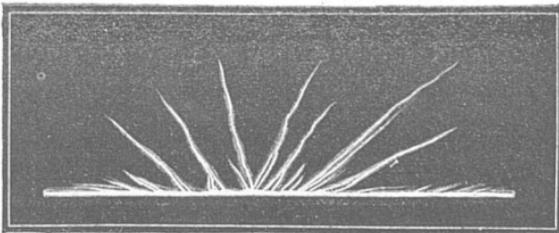


Fig. 12. — Protubérances roses, d'après M. Secchi.

tude des grandes éclipses qui suivirent et les remarquables découvertes de M. Janssen pendant celle du 18 août 1868 en ont fait connaître la véritable nature. Les protubérances (fig. 10 à 15) sont des nuages roses, que la bizarrerie de leur forme a fait comparer à des cornes, à des tours, à des vapeurs amoncelées, et qui s'élèvent quel-

quelques fois de plus d'une seconde et demie angulaire au-dessus de la surface solaire. Elles se déforment, se déplacent et disparaissent avec une rapidité singulière. En quelques minutes, on voit ces masses énormes, dont le volume dépasse plusieurs centaines de fois

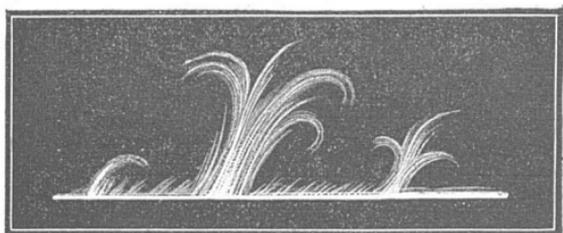


Fig. 13. — Protubérances roses, d'après M. Secchi.

celui de la terre, s'amincir et s'affaïssir, ou bien s'élever et même flotter au-dessus du disque lumineux, pour se dissiper et s'évanouir ensuite. Elles apparaissent dans toutes les régions de la surface

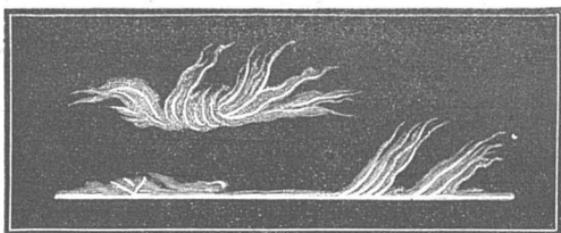


Fig. 14. — Protubérances roses, d'après M. Secchi.

solaire; seulement elles ne se montrent qu'exceptionnellement aux pôles. L'analyse spectrale indique que ces protubérances sont d'immenses nuages [d'hydrogène incandescent, et qu'une mince couche de ce gaz entoure le soleil.

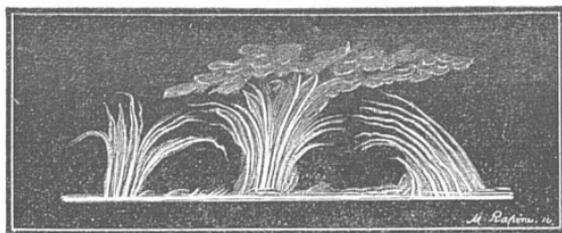


Fig. 15. — Protubérances roses, d'après M. Secchi.

**Couronne.** — Pendant les éclipses totales, on aperçoit encore de grands rayons divergents dont la longueur dépasse quelquefois le diamètre solaire (fig. 16) : c'est la *couronne*.

**Constitution physique du soleil.** — De très-nombreuses théo-

ries ont été imaginées pour expliquer la constitution physique du soleil et l'entretien, sans déperdition appréciable, de l'immense chaleur qu'il renferme, mais, dans ma conviction intime, elles sont toutes prématurées et laissent à désirer sur quelque point, si même elles ne sont pas absolument erronées. On me permettra donc de ne pas m'y arrêter. Voici d'ailleurs ce que nous savons de plus précis.

Le soleil paraît formé d'un immense noyau relativement obscur

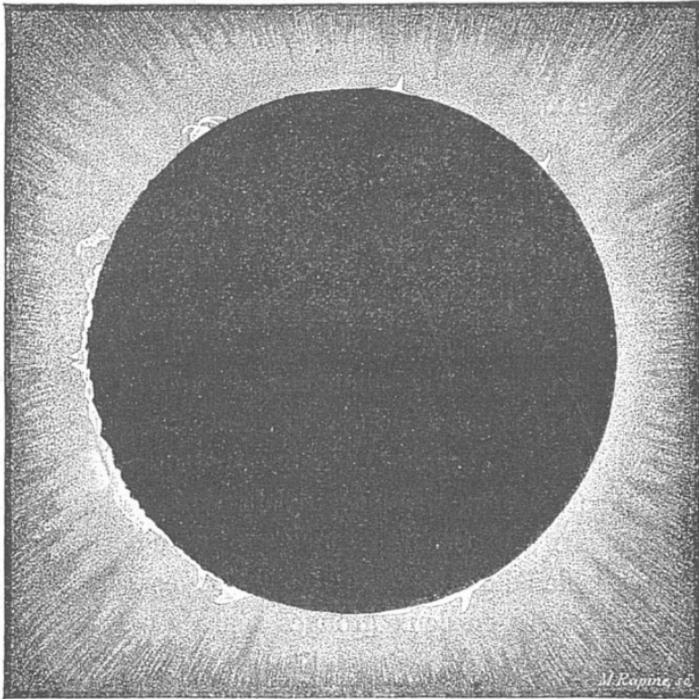


Fig. 16. — Couronne et protubérance roses pendant l'éclipse totale du 18 juillet 1830.

et probablement gazeux, mais très-condensé. Sur ce noyau s'appuie une première atmosphère, siège des facules et des dépressions qui donnent naissance aux taches; elle renferme, à l'état de poussière solide ou liquide, les corps simples découverts dans le soleil. Cette atmosphère, incandescente et lumineuse, a reçu le nom de *photosphère*. Sur la photosphère repose une deuxième atmosphère très-mince, presque entièrement composée d'hydrogène raréfié, mais où M. Lockyer signale en outre le sodium, le baryum et le magnésium. C'est la *chromosphère*, au-dessus de laquelle s'élèvent, comme d'immenses éruptions gazeuses, les *protubérances roses hydrogénées*. Au delà s'étend une troisième atmosphère, la *couronne*,

visible seulement pendant les éclipses totales. M. Janssen a prouvé le premier que la couronne appartient bien au soleil ; il ajoute qu'elle est très-vaste, mais excessivement raréfiée, presque entièrement formée d'hydrogène, et qu'elle s'alimente de la matière de la chromosphère et des protubérances. De son côté, M. Lokyer arrive aux mêmes résultats.

**Corps simples découverts dans le soleil.** — L'analyse spectrale a fait découvrir dans le soleil les seize corps simples dont les noms suivent : hydrogène, sodium, baryum, strontium, calcium, magnésium, aluminium, manganèse, fer, zinc, cadmium, chrome, cobalt, nickel, titane, cuivre. M. Janssen signale en outre de la vapeur d'eau dans l'atmosphère solaire, où M. Secchi croit avoir reconnu des vapeurs analogues aux hydrocarbures.

**PLANÈTES.** — Les *planètes* sont des corps sphériques, solides au moins à l'extérieur, sans chaleur ni lumière propres, qui tournent sur leur axe et décrivent en même temps autour du soleil des ellipses presque circulaires dont cet astre occupe un des foyers. Le mouvement a lieu d'occident en orient. La rotation sur l'axe marque les *jours*, la translation autour du soleil les *années* des planètes. Elles ne reçoivent de lumière et de chaleur que du soleil et des corps célestes les plus rapprochés. Prises ensemble, elles ne font pas la 600<sup>e</sup> partie du volume et la 1000<sup>e</sup> partie de la masse du soleil. La distance à cet astre de la plus éloignée n'est pas la 7500<sup>e</sup> partie de celle de l'étoile la plus voisine. On compte huit *planètes principales* divisées en deux groupes séparés par une région du ciel où circulent une multitude de très-petites planètes ou *astéroïdes*, le tout formant trois catégories ou familles naturelles ayant chacune des caractères communs, ce sont :

**Planètes inférieures.** — 1<sup>o</sup> Les *planètes inférieures* (par rapport à la zone des astéroïdes), ou *petites planètes*, au nombre de 4, savoir, par ordre d'éloignement du soleil : Mercure, Vénus, la Terre et Mars. Très-rapprochées les unes des autres, ainsi que du soleil, ces planètes n'ont que de faibles dimensions, mais possèdent une densité considérable, qui varie de 4,68 à 6,42, celle de l'eau étant prise pour unité. Leur rotation s'opère dans des temps à peu près égaux, compris entre 23 et 25 heures ; elles sont faiblement aplaties aux pôles, manquent de satellites, sauf la Terre, et s'écartent peu de l'écliptique. Toujours très-sensible, leur inclinaison sur le plan de leur orbite devient quelquefois considérable. Les perturbations de Mercure ont fait soupçonner entre cette planète et le soleil

l'existence d'un astre encore inconnu, mais que plusieurs observateurs ont cru apercevoir et qui a été baptisé, par anticipation, du nom de Vulcain.

**Astéroïdes.** — 2° Les *astéroïdes*, qui circulent entre Mars et Jupiter, et dont le nombre est déjà de près de 130 et s'accroît chaque année. Ce sont de très-petites planètes, apparaissant comme des étoiles de la 6<sup>e</sup> à la 14<sup>e</sup> grandeur, et de si minces dimensions que beaucoup ont une surface inférieure à celle d'un département français. Sans doute il y en a que leur petitesse empêche de voir. Leurs orbites, enchevêtrées les unes dans les autres, s'écartent sensiblement du plan de l'écliptique.

**Planètes supérieures.** — 3° Les *planètes supérieures* ou *grandes planètes*, également au nombre de 4, savoir : Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Elles sont fort éloignées les unes des autres ainsi que du soleil; elles ont des dimensions considérables et une densité très-faible, égale, en moyenne, et quelquefois inférieure à celle de l'eau. Leur rotation, deux fois plus rapide que celle des planètes du premier groupe, s'opère en 9 ou 10 heures, leur aplatissement est plus grand; elles possèdent de nombreux satellites et s'écartent peu de l'écliptique. On sait encore que Jupiter est à peine incliné sur le plan de son orbite.

**SATELLITES ET ANNEAUX.** — Les *satellites* sont des astres solides, sphériques, sans chaleur ni lumière propres, qui circulent autour d'une planète à laquelle ils présentent toujours la même face, et qu'ils accompagnent dans sa translation autour du soleil. Par conséquent, la durée de rotation des satellites sur leur axe correspond exactement avec celle de leur révolution autour de la planète dont ils dépendent. Sauf les satellites d'Uranus, qui offrent une exception remarquable, tous se meuvent en sens direct, c'est-à-dire d'occident en orient et dans un plan qui diffère peu de celui de l'orbite de leur planète. Au contraire, la marche des satellites d'Uranus est rétrograde; ils circulent d'orient en occident et dans un plan presque perpendiculaire à celui de l'orbite de la planète, ce qui n'est pas un petit embarras pour les auteurs de théories cosmogoniques.

On connaît aujourd'hui 22 satellites, ainsi répartis : 1 dépendant de la Terre, 4 dépendant de Jupiter, 8 de Saturne, 8 d'Uranus, 1 et peut-être 2 de Neptune. Sauf la Lune, tous ces astres sont fort petits relativement à la planète qu'ils escortent.

**Anneaux de Saturne.** — Il n'y a d'*anneaux* qu'autour de Sa-

turne (fig. 17). Ce sont de larges bandes circulaires qui entourent la planète comme des anneaux continus et la suivent, d'un mouvement un peu plus lent, dans sa rotation sur elle-même. On doit, par conséquent, les regarder comme des satellites d'une forme par-

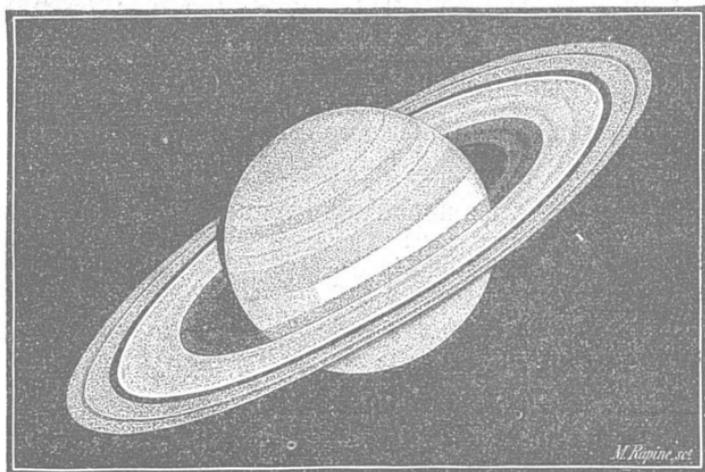


Fig. 17. — Anneaux de Saturne.

ticulière et inusitée. Ils sont fort aplatis par rapport à leur largeur. Les observations spectroscopiques indiquent autour d'eux une atmosphère plus raréfiée que celle de la planète. M. Hirn a émis récemment l'opinion qu'ils étaient formés de particules solides incohérentes.

**Lune.** — La *Lune* est le satellite de la Terre et, par conséquent, le plus voisin de tous les astres. Incessamment étudiée par les astronomes elle a livré beaucoup de ses secrets, et l'on peut affirmer que sa face visible est beaucoup mieux connue que l'intérieur de nos continents. Les nombreuses données que nous possédons sur sa constitution physique intéressant le géologue au plus haut point, leur exposition sommaire ne sera pas ici déplacée.

La lune est un globe probablement sphérique, quoique certains auteurs donnent à sa face invisible une forme ovoïde et allongée pour expliquer l'identité de la durée de la rotation et de la révolution de cet astre. Son rayon égale les  $\frac{3}{11}$ , sa surface le  $14^e$ , son volume le  $49^e$ , sa masse le  $88^e$ , sa densité les  $\frac{5}{9}$ , du rayon, de la surface, du volume, de la masse et de la densité terrestres. Si l'on prend l'eau pour unité, la densité de la lune est représentée par le nombre 3. L'intensité de la pesanteur, à sa surface, est de 0,15. Sa distance moyenne à la terre équivaut à 60 rayons terrestres, c'est-à-dire environ le quart de la distance de la terre au soleil, ou un

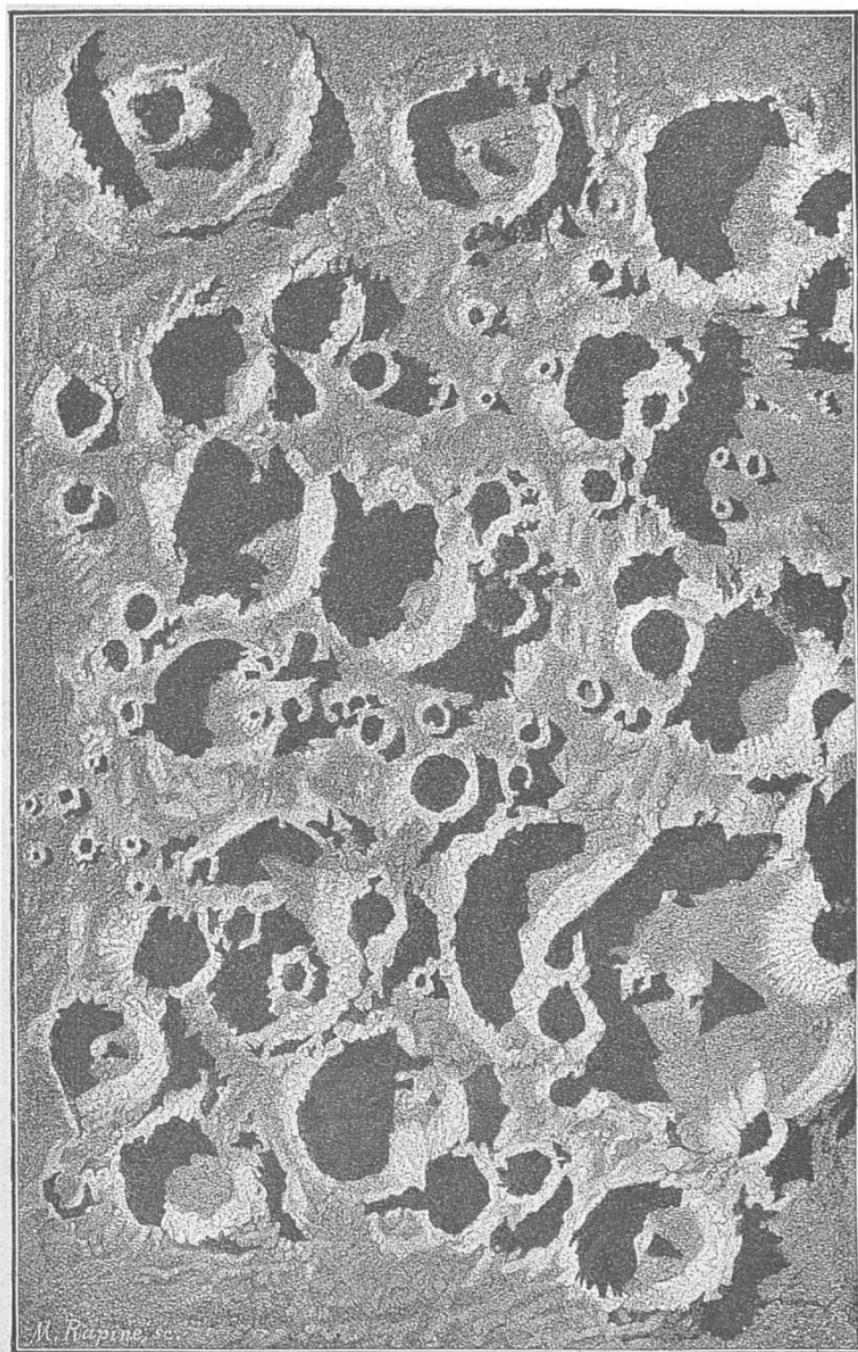


Fig. 18. — Montagnes lunaires, d'après Nasmyth.

peu plus de la moitié du rayon solaire, ou enfin 95 640 lieues. La lune décrit une orbite légèrement elliptique dont la terre occupe un des foyers, et dont le plan coupe, sous un angle de  $5^{\circ} 8' 48''$  celui de l'écliptique, qui forme, avec l'équateur lunaire, un angle de  $1^{\circ} 28' 45''$ . Il en résulte une sorte de balancement appelé *libration en latitude*, dont l'étendue équivaut au  $9^{\circ}$  du rayon et qui laisse apercevoir alternativement, par delà les pôles lunaires, une partie de la surface habituellement cachée à nos regards. La rotation de la lune sur son axe et sa révolution autour de la terre s'accomplissent en 29 jours, 53 centièmes, ou, autrement, en une *lunaison*. La combinaison de ce mouvement avec celui de la terre détermine un autre balancement apparent nommé *libration en longitude*, qui rend visible à l'ouest et à l'est du globe lunaire une portion de la surface ordinairement dissimulée dont l'étendue équivaut au  $7^{\circ}$  du rayon.

**Aspect de la lune; montagnes et volcans.** — A l'œil nu, la lune paraît couverte de taches sombres, aux contours irréguliers et mal définis, séparées par des espaces lumineux d'un blanc pur. Ces taches, improprement appelées mers, représentent des régions aplanies, et les points lumineux, des montagnes. Celles-ci deviennent visibles avec les lunettes les plus ordinaires. Toute la lune en est semée. A part quelques petites chaînes, comme les Apennins lunaires, qui viennent rompre la monotonie de l'ensemble, toutes ces montagnes forment des cônes volcaniques isolés à cratères circulaires. On en a compté plus de 50 000 sur la portion visible de notre satellite. Les cavités des cratères descendent quelquefois au-dessous du niveau de la surface lunaire : on y remarque des échanerures, des pitons, des cônes intérieurs, en un mot, ils ressemblent tellement aux volcans terrestres, que la similitude serait complète si les dimensions des montagnes de la lune ne l'emportaient pas de beaucoup sur celles des montagnes de notre planète (fig. 18). Le cratère de Tycho a 80 kilomètres de diamètre, celui de Copernic 88, celui de Ptolémée 180 : tandis que le cirque du Cantal n'atteint que quelques lieues de diamètre, et que le cratère du volcan de Kilauea, dans les îles Sandwich, le plus vaste du globe, ne mesure pas 4 kilomètres. L'élévation des monts lunaires est également remarquable. Tycho atteint 6151 mètres, Newton 7264 mètres, et Deccfel, le plus considérable de tous, 7603 mètres. Ces dimensions restent au-dessous de celles des principales montagnes de la terre, dont la plus élevée, le mont Everest, dans l'Himalaya, atteint

8840 mètres; mais ce dernier chiffre ne représente que la 740<sup>e</sup> partie du rayon terrestre, tandis que la hauteur du mont Doerfel correspond à la 227<sup>e</sup> partie du rayon lunaire.

**Bandes lumineuses de Tycho; rainures, etc.** — La surface de la lune offre d'autres particularités dont plusieurs n'ont pas encore reçu d'explication satisfaisante. De ce nombre sont les bandes lumineuses qui rayonnent à de grandes distances autour du cratère de Tycho, et qu'on ne peut rapporter à rien de ce qui existe sur la terre. Comme elles brillent d'une lumière aussi vive que les bords du cratère, on a dit, mais sans preuves, qu'elles sont formées par des coulées de laves ou par des traînées de blocs erratiques. Nasmyth, qui les attribue à des fissures disposées en étoile, paraît se rapprocher davantage de la vérité. Plusieurs observateurs, notamment John Herschel, ont cru apercevoir çà et là les lignes de stratification des coulées volcaniques, ou peut-être de terrains de sédiment. Dans une région voisine du centre de la lune, un astronome allemand a pensé avoir découvert d'immenses remparts rectilignes et des fortifications élevés par les sélénites. Est-il besoin de dire que cette opinion n'a point prévalu, et qu'on cherche encore l'explication des singulières apparences qui ont pu abuser à ce point un savant estimable? Signalons enfin les *rainures*, fentes étroites et généralement rectilignes qui se montrent dans certaines régions. Elles paraissent blanches pendant la pleine lune et noires pendant les phases. Schröter, qui les découvrit en 1788, n'en vit d'abord que deux, mais aujourd'hui on en connaît plus de quatre cents, grâce aux travaux de M. Jules Schmidt, qui en a découvert à lui seul près de trois cents. Leur longueur varie de 16 à 200 kilomètres, et leur largeur, assez ordinairement constante, ne dépasse pas 1600 mètres. Elles s'atténuent et se terminent en pointe à leurs extrémités. Leur profondeur est inconnue, et sans doute considérable. Le plus souvent isolées, rarement entrecroisées, les rainures forment quelquefois des groupes dans lesquels elles affectent des directions parallèles. Elles traversent plusieurs cratères, ce qui prouve que ceux-ci existaient auparavant. L'opinion la plus accréditée est celle qui attribue les rainures aux effets du refroidissement lunaire, et porte à les considérer comme des fentes provenant du retrait des couches superficielles. Elle a pour elle toutes les analogies, et certaines expériences de M. Poulet Scrope tendent à la confirmer.

**Conditions physiques actuelles.** — La lune est privée d'atmosphère, et, par conséquent, de mers et de cours d'eau. Les astronomes

étaient depuis longtemps d'accord sur ce point, quand l'analyse spectrale est venue leur donner raison une fois de plus. D'abord controversée, puis mise hors de doute par les expériences de Melloni, en 1846, la chaleur réfléchiée de notre satellite a été mesurée récemment par M. Marié-Davy, qui l'estime à 12 millièmes de degré, pendant la pleine lune. Ce physicien a reconnu qu'elle varie avec les phases et qu'elle diminue par l'interposition des nuages; il est même arrivé à faire la part de la chaleur lumineuse réfléchiée et de la chaleur émise après absorption. De son côté, M. J. B. Baillaud évalue la chaleur lunaire à celle qui rayonnerait d'une surface noire de pareille étendue, portée à 100 degrés et placée à une distance de 35 mètres. Quoi qu'il en soit de tous ces résultats, un fait demeure certain, savoir que la lune nous envoie une lumière accompagnée d'une faible chaleur.

De tout ce qui précède on doit conclure que la surface de notre satellite a été bouleversée par d'innombrables éruptions volcaniques, auxquelles a succédé le calme le plus profond. Il faut, en effet, reléguer au nombre des fables les anciennes mentions d'embrasements de volcans lunaires; et les récents changements de forme du cratère de Linné ne paraissent pas mieux justifiés. Cependant l'extrême ressemblance, je devrais dire l'identité qui existe entre les montagnes lunaires et les montagnes terrestres de même ordre, démontre une communauté d'origine. D'énormes masses de gaz et de vapeur d'eau ont fait irruption autrefois à la surface de notre satellite et se sont élancées par torrents dans son atmosphère, en projetant les scories dont l'entassement a peu à peu élevé les cratères. La lune a donc possédé une atmosphère et peut-être des mers. Que sont-elles devenues? C'est ce que nous essayerons de deviner plus tard.

**COMÈTES.** — Les *Comètes* ont toujours eu le privilège d'exciter chez les hommes les sentiments les plus divers. C'est une comète qui annonce la mort de César. Une autre comète préside à la défaite d'Attila dans les plaines de Châlons, à la conquête de l'Angleterre par les Normands, aux destinées de Charles-Quint. Pour être impartial, je dois ajouter que la comète de 1811 (fig. 49) fut d'un heureux augure, et que la non moins remarquable comète de 1858 n'a rien présagé du tout. Si, à des époques d'ignorance, il n'est sorte de malélices qu'on n'ait redouté de la part des astres, dans des temps bien rapprochés de nous ils ont été l'objet de craintes et de spéculations d'un autre genre. C'est par le choc d'une comète que Buffon

faisait sortir la terre de la masse embrasée du soleil; c'est la rencontre de comètes, au dire de certains auteurs, qui a produit les déplacements de l'axe terrestre nécessaires à leurs théories. Mais la science moderne a fait justice de toutes les exagérations. Les savants ne tremblent plus en songeant aux conséquences d'une rencontre et n'édifient plus de systèmes sur des bases aussi peu solides : on sait aujourd'hui que les comètes sont les plus inoffensifs des astres.

**Tête, noyau, chevelure, queue.** — Une comète complète consiste en une *tête* formée par un *noyau* brillant entouré d'une nébulosité connue sous le nom de *chevelure*, qui se prolonge en une *queue* dirigée en sens opposé au soleil. La tête est ordinairement arrondie

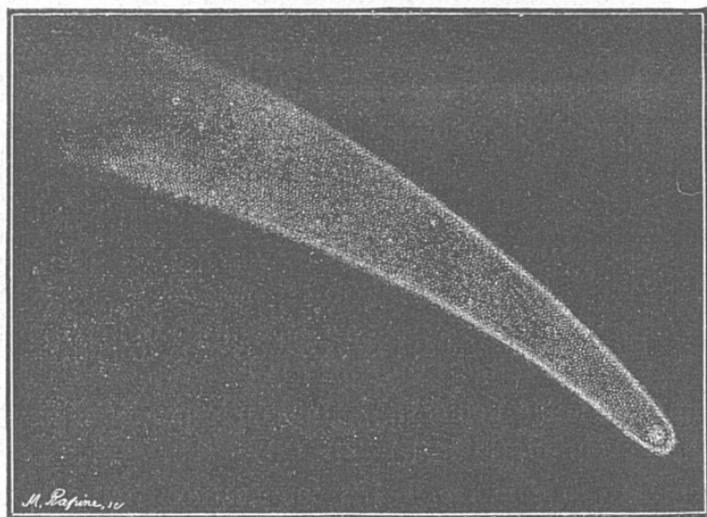


Fig. 19. — Grande comète de 1811.

ainsi que le noyau, et la queue s'infléchit plus ou moins vers la région de l'espace que vient d'abandonner la comète. (Fig. 19.) Quelquefois on observe des queues latérales et même des queues dirigées du côté du soleil; mais ces sortes d'appendices, toujours exceptionnels, n'ont jamais qu'une importance secondaire. Tel est l'aspect sous lequel se présentent le plus souvent les comètes au périhélie; cependant leur forme, toujours inconstante, varie à chaque point de leur trajet. Quand un de ces astres commence à devenir visible ou qu'il va cesser de l'être, il se montre comme une nébulosité arrondie dont le centre laisse ordinairement apercevoir un noyau plus condensé. Au fur et à mesure que la comète s'approche du soleil, son aspect se modifie, la chevelure et le noyau deviennent

plus distincts, et la queue ne tarde pas à se développer. En quelques jours elle atteint souvent des dimensions prodigieuses, et s'allonge dans le ciel de 100 degrés et plus. On remarque en même temps des modifications incessantes dans la forme, le développement et les apparences de la chevelure et du noyau. Puis, la comète se dirige en sens inverse, la queue diminue rapidement, l'astre se trouve à peu près ramené à son aspect premier, et n'apparaît plus

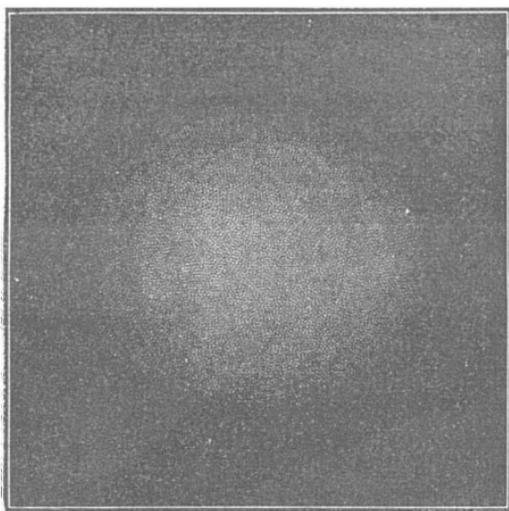


Fig. 20. — Comète de Donati, le 6 décembre 1858.

que comme une faible nébulosité qui ne tarde pas à s'effacer dans un éloignement infini. (Fig. 20.)

**Mouvement des comètes.** — Les comètes décrivent autour du soleil des ellipses fort allongées ou des paraboles dont cet astre occupe le foyer. Dans le premier cas, elles reviennent à des intervalles assez réguliers, et l'on peut en annoncer la réapparition ; dans le second cas, elles s'éloignent sans retour. Il y a donc des *comètes périodiques* et des *comètes sporadiques*. Parfois, leur course se trouve modifiée par l'attraction des planètes ou des satellites, et transformée d'elliptique en parabolique ; aussi, dans leurs pronostics, les calculateurs prudents réservent-ils une part assez large à l'imprévu. Tantôt les comètes cheminent de l'ouest à l'est, auquel cas leur mouvement est direct ; tantôt elles se meuvent de l'est à l'ouest, et alors leur mouvement est indirect. Elles coupent d'ailleurs sous toutes les inclinaisons le plan de l'écliptique. Toujours considérable relativement à celle des planètes, la rapidité de leur mouvement devient quelquefois prodigieuse, et l'on a vu des comètes énormes

apparaître et s'évanouir en peu de jours. Au plus restent-elles visibles quelques mois.

**Dimensions des comètes.** — Les dimensions de ces astres varient beaucoup. Le noyau de la comète de 1798 avait 44 kilomètres de diamètre, celui de la comète de 1805, 48 kilomètres; dans la grande comète de 1811, il était de 684 kilomètres, et dans la troisième comète de 1845, il atteignit 12 800 kilomètres. La chevelure mesurait 12 800 kilomètres dans la cinquième comète de 1847; 424 000 dans la comète d'Encke; 4 800 000 kilomètres dans la grande comète de 1811, ce qui équivaut à quatre fois la distance de la terre à la lune. Mais ces dimensions n'approchent pas de celles que peuvent acquérir les queues, dont plusieurs embrassent dans le ciel des arcs de 30, de 60 et même de 100 degrés, comme il a été dit.

**Masse et densité des comètes.** — Et cependant la masse et la densité des comètes sont extrêmement faibles, eu égard à leur prodigieuse grandeur, d'où l'on peut induire que la matière s'y trouve à un état de dilution vraiment extraordinaire. Les plus petites étoiles se voient très-bien, non-seulement au travers des queues et des chevelures, mais le plus souvent au travers des noyaux. Or, il est avéré qu'un brouillard de quelques centaines de mètres de profondeur efface les étoiles, tandis qu'une épaisseur de 10 000 à 15 000 lieues de matière cométaire en diminue à peine l'éclat. Aussi la raréfaction de la matière cométaire dépasse-t-elle tout ce qu'on peut imaginer. M. Faye a estimé la densité des noyaux à neuf fois celle du vide de la machine pneumatique, et la densité des queues à moins d'un billionième de cette quantité; il pense que la masse de la comète de Donati est une fraction presque imperceptible de celle de la terre.

**Dédoublément de la comète de Biéla, etc.** — La matière des comètes paraît se trouver à un état particulier qui la fait, en quelque sorte, échapper aux lois de la pesanteur. C'est ainsi qu'en 1845, la comète de Biéla se dédoubla, sous les yeux des astronomes et à leur grande stupéfaction, en deux masses distinctes ayant chacune une petite queue. (Fig. 24.) Un autre de ces astres, qui reparaît tous les trois ans, la comète d'Encke, s'affaiblit par une perte continuelle de matière, et se dissipe peu à peu dans les espaces célestes.

**Nature des comètes.** — Qu'est-ce qu'une comète? La réponse à cette question n'est pas facile. Selon toute probabilité, on doit regarder les comètes comme des nébuleuses ou des fragments de

nébuleuses animés d'un mouvement rapide et obéissant à l'attraction du soleil. L'analyse spectrale montre que les noyaux sont formés de vapeurs raréfiées lumineuses par elles-mêmes, et les queues, de particules liquides ou solides qui nous renvoient seulement la lumière du soleil. La première comète de 1864, étudiée par Donati, produisit, au spectroscopie, trois bandes colorées qu'on ne put rapporter à aucun élément terrestre. Plus heureux, M. Huggins a découvert la vapeur du carbone dans la comète de Winecke, et tout récemment dans celle d'Encke. A ces faits peu nombreux se borne notre savoir relativement à la nature de ces astres mystérieux, dont l'étude réserve sans doute encore bien des surprises aux astronomes

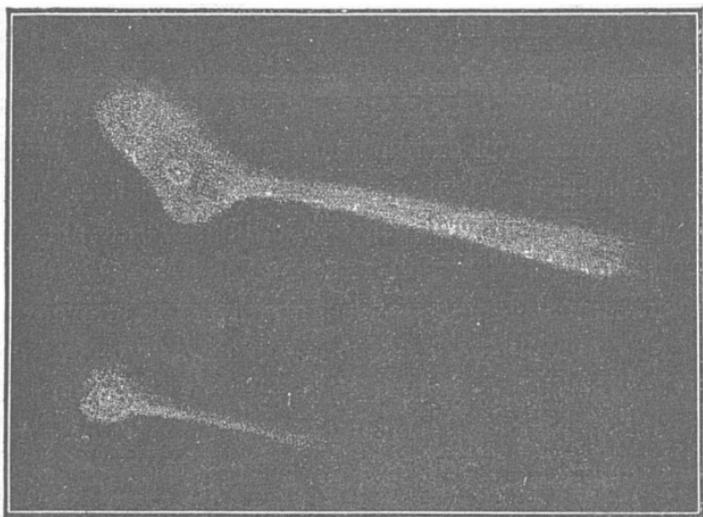


Fig. 21. — Comète de Biéla, le 19 février 1846.

et aux physiciens. Je m'abstiendrai donc de reproduire les hypothèses récemment émises au sujet de leur constitution intime et de leurs changements de forme, assuré que le géologue n'en pourrait tirer aucun profit.

**MÉTÉORES.** — **Étoiles filantes, bolides, etc.** — Par une belle nuit étoilée, il n'est pas rare d'apercevoir des lignes de feu qui sillonnent rapidement la voûte céleste et s'effacent aussitôt. Ce sont les *étoiles filantes*. Les unes échappent presque à la vue par la faiblesse de leur lumière et la brièveté de leur trajet, d'autres jettent le plus vif éclat et ne s'éteignent qu'après avoir parcouru des espaces considérables. Plusieurs laissent derrière elles une traînée qui persiste quelques minutes. Elles paraissent alors formées d'un noyau incandescent qui se meut avec rapidité en abandonnant une sorte de

poussière lumineuse le long de son trajet. Quelquefois ce noyau lance de côté et d'autre des étincelles ou des fragments embrasés, plus rarement il éclate en morceaux avec détonation. Les étoiles filantes prennent le nom de *bolides* quand elles atteignent certaines dimensions, et surtout quand on en voit le noyau se briser et projeter des fragments. Ceux-ci tombent quelquefois sur la terre : ce sont les *aérolithes* ou pierres tombées du ciel. Telle est la nomenclature la plus généralement adoptée ; mais elle laisse à désirer, puisqu'elle distingue, sous deux noms différents, des choses absolument identiques. Dans le sens qui vient d'être indiqué, les étoiles filantes et les bolides ne sont, en effet, que la manifestation d'un seul et même phénomène, dont l'intensité varie suivant la distance à laquelle on l'observe et suivant la dimension et la nature des corps matériels qui lui donnent naissance. Quand ces derniers sont solides, il faut leur réserver le nom de bolides. Les aérolithes en sont les morceaux. Les traînées lumineuses résultant de leur combustion ou de leur incandescence doivent garder le nom d'étoiles filantes. On confond d'ailleurs sous la dénomination de *météores* les sillons de feu et les corps matériels qui les produisent, mais, pour nous, ces derniers seuls sont les météores. Les aérolithes s'appellent encore *météorites*.

**Nature des météores.** — Après bien des tâtonnements et des controverses, on s'accorde maintenant à reconnaître que les météores sont des corps matériels qui circulent en grand nombre dans l'espace, et qui ne deviennent visibles que lorsqu'ils traversent notre atmosphère. Telle est, en effet, l'exiguïté de leurs dimensions, qu'ils ne peuvent nous renvoyer la lumière du soleil d'une manière appréciable ; mais dès qu'ils sont entrés dans l'atmosphère terrestre, ils deviennent incandescents, et, par suite, visibles. Leur incandescence provient de la compression violente et instantanée des couches d'air en avant du météore, et de l'énorme chaleur qui en résulte. Le plus souvent, les météores parcourent notre atmosphère dans une direction oblique par rapport au plan de l'horizon, s'allumant à leur entrée, s'éteignant à leur sortie, et continuant leur trajet dans les espaces célestes, à moins qu'une combustion complète ou une explosion ne les anéantisse ou ne les éparpille en fragments. La vitesse avec laquelle ces derniers tombent sur la terre n'a aucun rapport avec la rapidité prodigieuse du bolide dont ils proviennent, et ne peut se comparer qu'à celle des corps abandonnés au seul effet de la pesanteur.

**Trainées lumineuses.** — Les trainées lumineuses, ai-je dit, varient beaucoup d'intensité et de longueur. Il y en a de si faibles qu'on ne les voit qu'au télescope ; d'autres éblouissent les regards et jettent un éclat qui efface celui de la pleine lune. Elles persistent quelquefois pendant plus d'une heure. Leur direction est habituellement rectiligne. Généralement blanches, elles peuvent offrir d'autres colorations, notamment le jaune et le rouge. Elles ont, le plus souvent, l'éclat des étoiles de la quatrième à la deuxième grandeur ; les étoiles filantes de première grandeur ne se montrent pas fréquemment, celles qui effacent Jupiter ou Vénus sont considérées comme exceptionnelles. Difficilement appréciables, en raison du peu de durée de l'apparition et de la rapidité du mouvement, le diamètre apparent des plus gros météores a été comparé à celui d'une orange, quelquefois à celui de la lune ; mais ce sont là des faits exceptionnels, et souvent l'imagination des observateurs a la plus large part dans leur appréciation.

**Hauteur et vitesse.** — La hauteur moyenne, dans l'atmosphère, des étoiles filantes et, en général, des trainées lumineuses, paraît être de 100 à 450 kilomètres à l'entrée et de 70 à 80 kilomètres à la sortie. Les gros bolides semblent beaucoup plus élevés. La vitesse moyenne varie de 50 à 60 kilomètres par seconde ; en tout cas elle dépasse celle de la terre, qui est de 30 kilomètres par seconde dans son mouvement de translation autour du soleil.

**Météores sporadiques ; météores périodiques.** — En étudiant avec soin les allures des étoiles filantes, on a reconnu que les unes se montrent isolément, à tous les instants et en quelque sorte au hasard : ce sont les étoiles *sporadiques*, et que les autres apparaissent en grand nombre à des époques déterminées : ce sont les étoiles *périodiques*. Ces dernières abondent surtout du 9 au 11 août et du 12 au 14 novembre, et donnent lieu quelquefois à de véritables pluies d'étoiles filantes offrant un spectacle d'une incomparable magnificence. Telle est la célèbre averse de 1799 observée à Cumana par de Humboldt et Bonpland. On en signale quelquefois en dehors de ces dates, témoin l'averse du 27 novembre 1872. A quelques exceptions près, les phénomènes du mois d'août se reproduisent chaque année de la même manière ; au contraire la pluie de novembre ne revient qu'après une période de 33 ans.

**Les météores exercent-ils une influence sur la température ?** — On a fait jouer aux essaims des étoiles filantes de novembre et de mai un rôle important dans les variations de température qui se pro-

duisent plus ou moins régulièrement à des époques déterminées. C'est ainsi qu'on a attribué aux météores de novembre les refroidissements du mois du mai, si funestes à l'agriculture, qui sont censés arriver du 11 au 13. On leur impute également l'élévation de température de novembre connue sous le nom d'été de la Saint-Martin. Dans le premier cas, ces corps se trouvent entre le soleil et la terre ; dans le second, ils occupent une position diamétralement opposée. Mais je crois avoir prouvé, dans un autre travail, que ces hypothèses reposent sur des illusions. Il faudrait, en effet, que la matière des essaims fût à la fois perméable à la lumière et imperméable à la chaleur, car on n'observe aucune diminution de la lumière solaire à l'époque des interpositions. Mais nous ne connaissons aucune substance qui jouisse de ces propriétés extraordinaires, et il n'est pas facile d'aller constater s'il en existe dans les espaces célestes. D'une autre part, rien de plus inexact que l'assertion de la périodicité des froids du mois de mai, qui se produisent à toutes les dates, quand ils arrivent, et ne se distinguent en rien, à mon avis, des autres abaissements de température de l'année. Du moment où le refroidissement n'a pas lieu à jour fixe, on ne peut, évidemment, l'attribuer à l'essaim de novembre, dont le retour est si régulier. Une seule exception viendrait, d'ailleurs, renverser tout le système ; or, il n'est rien de plus ordinaire qu'une température chaude, et même élevée dans les journées des 11, 12 et 13 mai. Il faudrait alors que les essaims ne fussent pas à leur poste ou qu'ils s'acquittassent mal de leurs fonctions. Cessons d'imputer aux météores de novembre des méfaits dont ils sont fort innocents.

**Analyse spectrale des traînées lumineuses.** — Les traînées lumineuses qui ont pu être étudiées au spectroscope ont fourni des images très-faibles et presque décolorées, indiquant une poussière solide ou liquide d'une extrême ténuité. Dans quelques-unes on a reconnu l'existence du sodium. Il est donc probable que les substances auxquelles elles doivent leur origine sont, pour la plupart, diffuses, incohérentes et comparables à la matière des comètes et des nébuleuses. C'est ce qui peut justifier, jusqu'à un certain point, les assertions de M. Schiaparelli relativement à l'alimentation des pluies d'étoiles filantes par les comètes.

**Bolides et aérolithes.** — Quant aux météores solides ou *bolides*, ils nous envoient de temps en temps des échantillons de leur propre substance sous la forme d'aérolithes, et viennent, en quelque manière, s'offrir aux manipulations de nos labo-

ratoires. Disons d'abord que leur chute est toujours annoncée par une traînée lumineuse, et par une forte détonation ou une série de détonations. Mais si les chutes de pierres ont lieu presque constamment dans les mêmes conditions, elles diffèrent beaucoup entre elles par le nombre, le volume et la nature des fragments projetés. On a observé, en effet, tous les cas intermédiaires entre la chute d'une masse isolée et une véritable pluie de pierres ; il y a des aérolithes du volume d'un grain de poussière et d'autres qui mesurent plus d'un mètre dans toutes les dimensions ; les unes sont du fer natif presque pur, d'autres consistent en masses pierreuses, d'autres en poussières.

**Composition minéralogique des aérolithes.** — Jusqu'à présent on a trouvé 22 corps simples dans les aérolithes, savoir : le chlore, l'oxygène, le soufre, l'arsenic, l'azote, le phosphore, le carbone, le silicium, le potassium, le sodium, le calcium, le magnésium, l'aluminium, le manganèse, le fer, le nickel, le cobalt, le chrome, l'étain, le titane, le cuivre et l'hydrogène. Aucun n'est étranger à notre planète. Les espèces minérales les plus fréquentes dans les météorites sont : le fer natif allié au nickel dans des proportions variables, le phosphore de fer et de nickel, la pyrite ordinaire et la pyrite magnétique, le fer magnétique, le chromate et le phosphate de fer, l'apatite, le péridot, l'enstatite, le pyroxène augite, l'amphibole hornblende, le labrador, l'anorthite, des silicates d'alumine et de fer. M. Meunier indique en outre l'eau et le sel ammoniac. Toutes font partie des roches terrestres ; mais elles se trouvent associées, dans les météorites, de manière à constituer des roches particulières qui ont rarement leurs analogues sur le globe. M. Daubrée fait observer que l'orthose, le mica, la tourmaline et les autres silicates qui composent les roches granitiques de la couche extérieure de notre planète, manquent dans les aérolithes, et que le quartz, le fer magnétique et le fer phosphaté y sont rares et exceptionnels. Tous les minéraux oxydés au maximum y font également défaut ; au contraire les silicates basiques tels que le péridot, l'enstatite, le pyroxène, s'y rencontrent toujours, associés à des espèces peu ou point oxydées, comme le fer natif et le nickel, les sulfures et les phosphures. Des considérations qui précèdent et de ses expériences personnelles, M. Daubrée conclut que les aérolithes ou plutôt les bolides dont elles proviennent ont été formés par voie ignée dans un milieu pauvre en oxygène ; qu'elles diffèrent essentiellement des roches superficielles du globe, dont les éléments

sont, au contraire, saturés d'oxygène, mais qu'elles ressemblent aux roches profondes, où abondent le pyroxène et le péridot.

**Hypothèse de M. Meunier.** — M. Meunier va plus loin dans la voie des conjectures. Reconnaisant qu'il y a, dans les météorites, des roches éruptives, des roches volcaniques analogues aux ponces et aux scories, des roches stratiformes, des roches métamorphiques et même de véritables brèches et des roches de filons ; ayant en outre constaté, à la suite de nombreuses expériences, que beaucoup de ces roches peuvent se transformer en autres roches météoriques connues, par un véritable métamorphisme artificiel, ce géologue suppose que les bolides ont tous une commune origine et ne sont que les débris d'un ancien satellite de la terre. L'astre hypothétique, sans doute de très-petit volume, a été de bonne heure refroidi et consolidé jusqu'à son centre. Les fissures de retrait analogues aux rainures de la lune l'ont peu à peu divisé en morceaux, qui ont fini par se dissocier et par circuler dans l'espace indépendamment les uns des autres. Ces morceaux, qui parfois tombent sur la terre, ne sont autre chose que les aérolithes. Dans l'astre problématique en question, les matériaux se trouvaient disposés par ordre rigoureux de densité, les couches extérieures étant uniquement de nature pierreuse, et les métaux, fer et nickel, apparaissant d'abord en veines et en grenailles pour ne plus former qu'une masse compacte dans le centre du satellite. Nous ne pouvons nous refuser à reconnaître que beaucoup de faits militent en faveur de cette théorie, à l'appui de laquelle on peut encore invoquer l'existence bien constatée de carbures d'hydrogène dans certaines météorites. S'il était jamais démontré que les planètes astéroïdes ne sont que les débris d'un grand corps céleste, l'hypothèse de M. Meunier acquerrait un très-grand degré de probabilité. Il y a néanmoins des objections à lui adresser. Si l'on peut admettre, à la rigueur, qu'une sphère dont le centre est de fer métallique fondu, ou plutôt d'or et de métaux lourds, se fendille par le retrait au point de se trouver à la fin divisée en morceaux, on ne comprend pas bien que ces fragments, disposés autour du centre suivant l'ordre de leur densité, et maintenus par la pesanteur, de la même manière que les matériaux d'une construction cyclopéenne, aient pu se déplacer, et finalement s'éloigner les uns des autres, contrairement aux lois de l'attraction, puis graviter isolément, chacun pour son propre compte. L'intervention de quelque chose par un astre étranger semble de rigueur, et cette nouvelle hypothèse nous

répugne infiniment. Il est donc assez difficile de se prononcer actuellement sur la théorie séduisante dont nous venons de donner un aperçu sommaire.

**SYSTÈME DE L'UNIVERS.** — Essayons maintenant de résumer les notions qui précèdent, d'en tirer des conclusions relatives à l'origine des corps célestes et de reconstituer, autant que possible, l'histoire du passé.

Dans un espace immense et sans bornes se meuvent des astres innombrables où la matière existe à tous les états. Ce sont d'abord les nébuleuses, dont un grand nombre, en voie de condensation, nous font en quelque sorte assister à leur transformation en étoiles. Agglomérées en quantités prodigieuses et mêlées aux nébuleuses pour former des lactées situées à des distances énormes les unes des autres, les étoiles entraînent sans doute à leur suite tout un cortège de planètes et de satellites ; car on ne saurait admettre qu'une des plus ordinaires, le soleil, se trouvât exclusivement privilégiée sous ce rapport. Dans tous les systèmes solaires circulent des milliers de comètes, les unes demeurant éternellement attachées au même système, les autres passant à des étoiles et peut-être à des lactées voisines. Des milliards de bolides et de météores, animés de vitesses considérables, errent au milieu des soleils et des planètes, tantôt isolés et sporadiques, tantôt agglomérés en véritables essaims, dont la marche paraît soumise à des lois régulières. Telle est l'idée générale que nous pouvons nous former de l'univers, tel est, en peu de mots, le bilan des espaces célestes. On voit que le mouvement, je n'ose dire la vie, anime ces régions qu'on a l'habitude d'appeler les déserts de l'Espace, et que, si nous voulons considérer les choses en grand, la matière y est abondamment répandue.

**Théories de Herschel et de Laplace.** — Les hypothèses imaginées depuis l'antiquité la plus reculée pour expliquer le système de l'univers sont extrêmement nombreuses, mais ne supportent pas l'examen. Il est donc fort inutile de nous y arrêter. Les deux théories vraiment rationnelles sont celles d'Herschel et de Laplace. Elles cadrent avec les faits, s'accordent avec les découvertes récentes et reçoivent chaque jour de l'analyse spectrale une confirmation presque équivalente à la certitude. La première est relative à la nature des nébuleuses, la seconde explique la formation des soleils, des planètes et des satellites. Les vues qui restent à exposer ne sont autre chose que la combinaison, ou plutôt la juxtaposition de ces théories, auxquelles ont été rattachés les faits et les découvertes

que leurs auteurs n'ont pu connaître. Je les résumerai comme il suit.

**Formation des nébuleuses et des étoiles.** — A l'origine des choses, ou, plus exactement, à une époque infiniment éloignée, la matière pondérable se trouvait à peu près uniformément répandue dans l'espace. Mais elle ne l'était pas si également qu'il n'existât çà et là des points de plus grande condensation. Sous l'influence de la seule force de l'attraction, ces points devinrent autant de centres de mouvement qui groupèrent autour d'eux la matière ambiante. Il en résulta des déchirements, des morcellements de cette matière, laquelle, à un moment donné, se trouva partagée en lambeaux isolés et indépendants, séparés par ces immenses espaces vides désignés par les astronomes sous le nom de sacs à charbon. Ces lambeaux sont les nébuleuses. Ainsi disposée, la matière subit de nouvelles condensations autour de noyaux qui devinrent peu à peu des étoiles nébuleuses, puis des étoiles ou soleils animés d'un mouvement de rotation autour de leur axe, et bientôt environnés de planètes et de satellites. Obéissant à des attractions dont les causes sont encore inconnues, ces étoiles, ainsi que les nébuleuses retardataires, se groupèrent peu à peu en lactées, dont les mouvements intestins indiquent des changements de forme continuels.

**Formation des planètes et des satellites.** — Voici comment Laplace explique la formation des planètes et des satellites. On sait qu'une masse fluide tournant autour d'un axe prend la forme d'une sphère qui s'aplatit d'autant plus aux pôles que la rotation est plus rapide. Animée d'une vitesse suffisante, cette sphère, que nous supposerons représenter le soleil d'autrefois, se transforme peu à peu en un disque aplati. Il arrive un moment où les zones périphériques ne sont plus retenues par une attraction capable de contre-balancer la force centrifuge; alors elles abandonnent la masse centrale et constituent un anneau indépendant qui conserve son mouvement originel de rotation. Mais la masse fluide centrale, obéissant aux lois de l'attraction, se condense de plus en plus, et son volume diminue progressivement. La rapidité de la rotation se trouve augmentée en proportion, et bientôt un second anneau se sépare, puis un troisième; et le phénomène se renouvelle toutes les fois que les conditions qui ont présidé à la naissance du premier anneau viennent à se reproduire. Mais pour peu qu'un anneau ne soit pas complètement homogène, la force de l'attraction tend à le rompre, et à en agglomérer les diverses parties en une masse sphérique animée

d'un mouvement de rotation sur son axe, et d'un mouvement de translation ou de révolution autour de la masse matérielle dont il provient. Telle est l'origine des planètes. Ces masses secondaires sphériques substituées aux anneaux, ces planètes naissantes en un mot, obéissent aux mêmes lois que la masse principale dont elles dérivent. Le mouvement de rotation qu'elles ont conservé s'accélère en raison des progrès de leur condensation, et il peut arriver un moment où elles abandonnent à leur tour des anneaux semblables à celui dont elles tirent leur origine : ces anneaux de second ordre se condensent eux-mêmes en masses sphériques qui sont des satellites.

Ces hypothèses nous font en quelque sorte assister à la naissance des mondes. Le soleil et les étoiles ont d'abord été des nébuleuses ou des parties de nébuleuses. Autour de chacun de ces astres, l'accélération du mouvement de rotation a projeté, à diverses reprises, des anneaux qui se sont transformés en autant de planètes, dont la vitesse de translation actuelle indique, à peu de chose près, celle qui animait la nébuleuse au moment où elles se constituèrent. Plusieurs de ces planètes, encore fluides et embrasées, ont émis à leur tour des anneaux secondaires qui ont produit des satellites. Et, comme pour faire évanouir les derniers doutes, un de ces anneaux subsiste dans notre système : j'ai nommé celui de Saturne.

L'étude du ciel confirme en tout point cette brillante conception. On y remarque, nous l'avons vu, des nébuleuses à tous les états de condensation. Quelques-unes trahissent un mouvement de translation. Les nébuleuses spirales nous font, en quelque sorte, toucher des yeux la rotation, la condensation des noyaux et l'accélération de la vitesse ; plusieurs sont en voie de fractionnement et nous montrent des anneaux en formation ou même des masses planétaires presque séparées, et environnées de bandes concentriques qui deviendront des satellites. C'est la nature prise sur le fait, et nous livrant le secret de ses procédés de fabrication.

Les résultats de l'observation et du calcul se trouvent d'ailleurs confirmés par l'expérience. M. Plateau nous a enseigné à construire des mondes dans notre cabinet. Voici comment. On mélange de l'eau et de l'alcool de manière à composer un liquide de même densité qu'une huile quelconque dont on se servira. On introduit ensuite, avec précaution, une certaine quantité de cette huile dans le milieu du liquide alcoolique. Évidemment elle est soustraite à l'action de la pesanteur. Aussi demeure-t-elle en équilibre sans monter

ni descendre, à la place même où elle a été déposée ; elle prend d'elle-même la forme d'une sphère. On traverse ensuite cette sphère par une tige métallique à laquelle un mécanisme particulier communique un mouvement de rotation de plus en plus rapide. Aussitôt la sphère huileuse se déprime à ses pôles, s'enfle à son centre et s'étale peu à peu en un large disque. Bientôt elle abandonne à sa périphérie un anneau, puis un second, puis un troisième, si l'on augmente progressivement la vitesse. La plupart de ces anneaux se condensent en petites sphères animées d'un mouvement de rotation sur elles-mêmes et de translation autour de la masse qui leur a donné naissance. Ce que nous effectuons en petit dans nos laboratoires est réalisé en grand dans la nature, à cette différence près que la force motrice vient de la matière elle-même et résulte de la condensation.

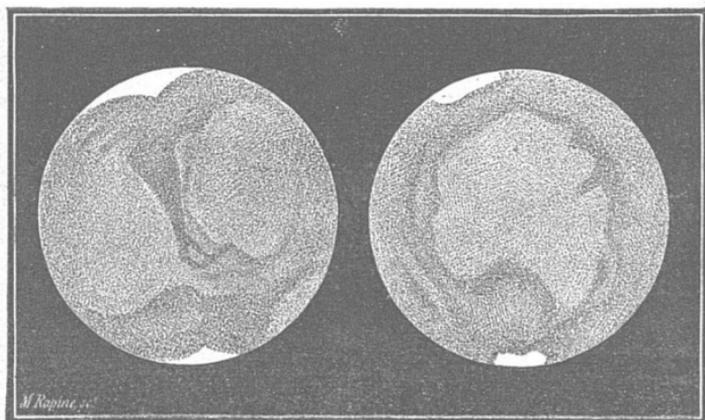


Fig. 22. — Vue de Mars ; d'après M. Warren de la Rue et A. Guillemin.

Si l'hypothèse d'Herschel et de Laplace est vraie, la matière doit être la même, non-seulement dans le système solaire, mais encore dans tout l'espace. Or, l'analyse spectrale de la lumière de tous les astres et l'analyse chimique et même minéralogique des aérolithes nous montrent qu'il en est ainsi.

Si les planètes et les satellites ont une commune origine, ces astres doivent offrir entre eux de grandes ressemblances. Or, l'étude astronomique des plus rapprochés nous apprend qu'ils se trouvent dans les mêmes conditions physiques. Mercure et Vénus ont des montagnes élevées ; Mars possède des continents et des mers, et pendant les hivers, chacun de ses pôles est envahi par les neiges (fig. 22). Les volcans de la lune sont identiques avec ceux de la terre,

et tout ce que nous apercevons à la surface de notre satellite ressemble plus ou moins à ce qui existe chez nous. Enfin, sauf une exception unique, les mouvements de tous ces astres sont pareils.

Il est donc infiniment probable que la matière est une et identique avec elle-même dans l'Univers, et que tous les corps célestes ont une origine commune; il est encore plus vraisemblable que les astres composant le système solaire, notamment le soleil, les planètes et les satellites, ont fait partie, à l'origine, d'une même agglomération de matière incandescente dont le soleil est le dernier reste, et que tous se sont peu à peu constitués comme il a été dit.

---

## DEUXIÈME PARTIE

### DESCRIPTION PHYSIQUE DU GLOBE

---

**La terre est formée de quatre parties concentriques.** — La *Terre* est un globe sphérique formé de quatre parties concentriques qui se succèdent dans l'ordre suivant, de l'extérieur à l'intérieur : 1° *atmosphère*, 2° *mers*, 3° *écorce solide*, 4° *pyrosphère*. Elles seront décrites en autant de chapitres distincts. Mais leur étude doit être précédée de notions géodésiques. Ces dernières feront l'objet d'un chapitre particulier.

---

### CHAPITRE PREMIER

#### GÉODÉSIE

**Définitions.** — Il n'est pas inutile de rappeler, au début, quelques définitions élémentaires.

L'*axe* terrestre est la ligne imaginaire autour de laquelle la terre tourne sur elle-même; ses deux extrémités s'appellent *pôles*. On dit *pôle nord*, ou *boréal*, ou *septentrional*, ou *arctique*, pour désigner celui qui regarde la région du ciel occupée par la constellation de la petite Ourse, et *pôle sud*, ou *austral*, ou *méridional*, ou *antarctique*, pour désigner le pôle contraire.

L'*équateur* est un grand cercle dont tous les points se trouvent à égale distance des deux pôles; on l'appelle encore *ligne équinoxiale* et même simplement *ligne*. Son plan divise la terre en deux moitiés égales ou *hémisphères*, dont l'un est l'hémisphère boréal, et l'autre l'hémisphère austral. Tous les petits cercles qu'on peut tracer paral-

lèlement à l'équateur se nomment *parallèles* ; parmi eux il faut distinguer les *tropiques* et les *cercles polaires*, actuellement situés, les premiers à  $23^{\circ} 27' 28''$  de l'équateur, et les seconds, à la même distance des pôles. Les tropiques marquent les points extrêmes où le soleil paraît vertical quand il s'écarte le plus de l'équateur ; celui de l'hémisphère nord s'appelle *tropique du Cancer*, et celui de l'hémisphère sud, *tropique du Capricorne*. Les cercles polaires indiquent les points où commencent les jours et les nuits de vingt-quatre heures ; celui de l'hémisphère nord s'appelle *cercle polaire arctique*, et celui de l'hémisphère sud, *cercle polaire antarctique*. La partie de la surface terrestre comprise entre les deux tropiques et traversée par l'équateur à son milieu prend le nom de *zone torride* ; entre les tropiques et les cercles polaires s'étendent la *zone tempérée septentrionale* et la *zone tempérée méridionale* ; enfin, les calottes circonscrites par les cercles polaires, et dont le centre est occupé par le pôle, se nomment *zone glaciale arctique* et *zone glaciale antarctique*. La *latitude* d'un lieu est l'éloignement de ce lieu à l'équateur mesuré en degrés du cercle. On dit

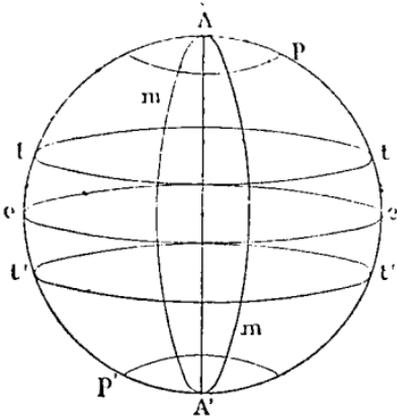


Fig. 23. — Cercles de la sphère terrestre (\*).

On dit *latitude septentrionale*, *latitude méridionale*, suivant que le lieu considéré occupe l'un ou l'autre hémisphère. Les *hautes latitudes* sont les plus voisines des pôles, et les *basses latitudes* les plus rapprochées de l'équateur.

Les *méridiens* sont des demi-grands cercles qui aboutissent aux pôles. On les trace sur le globe à des distances égales, mais en prenant pour point de départ un *premier méridien*, qui passe par une

localité choisie à volonté, et à partir duquel on les numérote, à droite et à gauche, en degrés du cercle. Le plan prolongé d'un méridien quelconque divise le globe en deux moitiés égales ou hémisphères dont l'un, situé du côté du soleil levant, est appelé *oriental*, et dont l'autre, situé du côté du soleil couchant, est appelé *occidental*. La *longitude* d'un lieu est la distance, estimée en degrés du cercle,

(\*) A A' axe ; A pôle arctique ; A' pôle antarctique ; e équateur ; t t' tropiques ; P P' cercles polaires ; m méridien.

de ce lieu à un premier méridien. On la dit *orientale* ou *occidentale*, suivant que le lieu considéré se trouve à l'est ou à l'ouest par rapport à ce méridien (fig. 23).

**MOUVEMENTS DE LA TERRE.** — Comme toutes les planètes, la terre est animée d'un mouvement de *rotation* sur son axe et d'un mouvement de *translation* ou de *révolution* autour du soleil. Ces mouvements s'opèrent dans le sens direct, c'est-à-dire d'occident en orient. Elle accomplit en outre deux mouvements coniques sur son axe, dont l'un amène la *précession des équinoxes*, et dont l'autre a reçu le nom de *nutation*.

**Rotation ou mouvement diurne.** — La *rotation* de la terre sur son axe s'opère en un *jour* : c'est le *mouvement diurne*. Pendant que ce mouvement s'effectue, chaque point de la surface terrestre, ou, ce qui revient au même, chaque méridien passe devant toutes les parties de la sphère céleste au centre de laquelle notre globe paraît situé. Mais les apparences sont les mêmes que si la terre restait immobile, et que l'ensemble des étoiles, ou, en d'autres termes, la sphère céleste, tournât autour de la Terre en sens contraire, c'est-à-dire d'orient en occident. Ce mouvement apparent des étoiles a lieu autour d'un axe imaginaire qui n'est que la prolongation de celui de la terre et qu'on appelle *axe du monde*. On voit, par conséquent, les étoiles passer successivement au méridien du lieu d'observation, mais, en réalité, c'est ce méridien que la rotation terrestre déplace incessamment en sens opposé et qui passe devant les étoiles. Les résultats étant les mêmes dans l'une et l'autre hypothèse, on dit souvent : le mouvement du ciel et des étoiles, quand on devrait dire : le mouvement de rotation du globe. Ces explications étaient nécessaires pour faire comprendre plus aisément ce qui va suivre.

**Jour sidéral et jour vrai.** — On distingue le *jour sidéral* du *jour solaire* ou *vrai*. Le premier est le temps qui s'écoule entre deux passages successifs d'une même étoile dans le plan du méridien. De toutes les mesures de la durée, c'est la plus précise qu'on puisse établir. Néanmoins, rigoureusement parlant, elle ne correspond pas exactement à une rotation de la terre, malgré la distance presque infinie des étoiles, puisque, dans l'intervalle de deux révolutions sur son axe, la terre a été déplacée par son mouvement de translation autour du soleil. Mais l'erreur est si faible qu'on ne peut la constater, et qu'en réalité on doit la considérer comme nulle. Le *jour solaire* ou *vrai* est le temps qui s'écoule entre deux coïncidences successives d'un même méridien avec le centre du soleil. Il est plus long que

le jour sidéral, parce que le mouvement de translation autour du soleil entraîne la Terre du côté de l'orient de façon que, chaque jour, elle dépasse un peu le point où elle se trouvait la veille, et que des différences angulaires impossibles, à constater quand elles aboutissent à une étoile, deviennent très-sensibles quand elles se rapportent à un astre aussi rapproché que le soleil. Il s'écoule donc un temps appréciable, qui allonge le jour solaire d'autant, entre le moment où la terre a achevé son mouvement de rotation sur elle-même et celui où le méridien considéré coïncide avec le centre du soleil. Cet excès du jour solaire sur le jour sidéral est de quatre minutes environ. Le jour solaire varie en raison de la rapidité de la translation de la terre autour du soleil, laquelle n'est pas constante, ainsi qu'on le verra bientôt. Cela conduit à distinguer le *temps vrai*, marqué par la position de la terre relativement au soleil, du *temps moyen* donné par une horloge bien réglée.

**Vitesse de la rotation.** — La terre tourne sur son axe en un jour sidéral ou en 23 heures 56 minutes, temps moyen. Variable suivant la latitude, la vitesse de ce mouvement à la surface terrestre est nulle aux pôles et augmente à mesure qu'on se rapproche de l'équateur, où elle atteint son maximum. A Saint-Pétersbourg, sous le 60° parallèle, un point de la surface du globe parcourt environ 14 kilomètres par seconde ; à Paris il en parcourt plus de 18, et sous l'équateur sa vitesse s'élève à 28. On sait que Léon Foucault est parvenu à rendre en quelque sorte visible la rotation de la terre, au moyen d'un pendule très-long oscillant dans un plan vertical, et dont l'extrémité inférieure trace sur le sol des lignes qui accusent le mouvement de notre planète par leur déplacement progressif. Malgré les imperfections inévitables de l'expérience, les choses se passent à peu près comme si la terre tournait librement sous un pendule indépendant par son point de suspension. Il est manifeste que plus on se rapproche des pôles, plus les résultats deviennent nets et concluants.

**La vitesse de la rotation peut-elle varier ?** — Absolument constante depuis les temps historiques les plus reculés, la vitesse de la rotation a dû s'accélérer dans les premiers âges du globe en raison de la condensation et du retrait de la masse terrestre ; elle augmentera certainement encore si, comme tout l'indique, le retrait doit continuer. Cependant M. Mayer, puis Delaunay attribuent en partie l'accélération du mouvement séculaire de la lune à un ralentissement proportionnel dans la vitesse de rotation de notre globe, ralen-

tissement qu'ils imputent à la résistance opposée par les marées au mouvement de la terre. Je dois me borner à mentionner cette opinion, me reconnaissant incompetent pour la juger, et restant dans un doute salutaire tant qu'elle ne sera pas à l'abri de toute critique. Je ferai pourtant remarquer que si les mers disparaissent à la longue en s'infiltrant dans les roches solides, comme il est fort probable, au fur et à mesure que celles-ci gagneront en épaisseur par suite de la déperdition de la chaleur centrale, la cause du ralentissement signalée par Delaunay ne sera que temporaire, en supposant qu'elle existe.

**Translation ou révolution ou mouvement annuel.** — En même temps qu'elle tourne sur elle-même, la terre opère en une *année* une *révolution* complète autour du soleil. Ce mouvement a reçu le nom de *translation*. On l'appelle encore *mouvement annuel*. La courbe que décrit la terre en accomplissant ainsi une révolution est l'*orbite* terrestre, et le plan dans lequel elle est située a reçu le nom d'*écliptique*. L'orbite terrestre a la forme d'une ellipse presque circulaire de 38 000 000 de lieues de rayon et de 239 000 000 de lieues de circonférence, dont le soleil occupe un des foyers. En la parcourant, notre planète se rapproche et s'éloigne alternativement du soleil. Le lieu de plus grande proximité s'appelle *périhélie*, et le lieu de plus grand éloignement *aphélie*. L'équateur terrestre est incliné de  $23^{\circ} 27' 28''$  sur le plan de l'écliptique ; ce qui revient à dire que l'axe terrestre forme un angle de  $67^{\circ} 73' 72''$  avec le même plan. Dans toutes les positions occupées par le globe pendant son trajet, cet axe est parallèle avec lui-même, sauf les déviations imperceptibles d'une année à l'autre, produites par la précession des équinoxes par la nutation et par l'obliquité de l'écliptique. Rien ne prouve que cette inclinaison ait jamais été différente ni qu'elle doive varier dans l'avenir ; rien n'indique non plus que l'axe ait occupé ou puisse occuper une autre position dans le globe. Ces points sont fort importants à réserver, parce qu'on a édifié une foule de systèmes sur les hypothèses contraires. Cependant, comme l'inclinaison de l'axe sur le plan de l'écliptique détermine à la fois la différence des saisons et l'inégalité des jours et des nuits, et que ces inégalités ne peuvent varier sensiblement, on doit tenir pour suspectes les théories géologiques établies sur les assertions opposées.

**Année ordinaire; année sidérale.** — La translation de la terre autour du soleil s'opère, avons-nous dit, en une année; mais ici encore, il y a plusieurs sortes d'années à distinguer. Le plan de

l'équateur terrestre coupe celui de l'écliptique suivant un diamètre qui se déplace tous les ans de 62" du côté de l'occident, en vertu d'un mouvement conique de la terre sur son axe qui sera bientôt expliqué. Ce diamètre mobile a reçu le nom de *ligne des équinoxes*, parce que le globe en occupe une des extrémités à l'époque des équinoxes. On appelle *année tropique* ou *année ordinaire* le temps qui s'écoule entre deux retours consécutifs de la terre à la même extrémité de la ligne des équinoxes. Exprimée en jours solaires moyens, elle est de 365 jours, 5 heures, 48 minutes, 51 secondes. On appelle *année sidérale* le temps que met la terre à revenir vis-à-vis d'une même étoile. Plus longue que l'année tropique de 20' 18" 77, elle se compose, par conséquent, de 365 jours, 6 heures, 9 minutes, 37 secondes en temps moyen. La terre, en effet, trace son ellipse complète dans une année sidérale, tandis que, dans une année tropique, la ligne des équinoxes, qui vient à la rencontre du globe, diminue le trajet d'une certaine quantité, de sorte que l'ellipse entière n'est point parcourue.

**Vitesse de la translation.** — La vitesse moyenne de la translation est de 30 400 mètres ou 7 lieues 6 dixièmes par seconde ; elle dépasse 76 fois celle d'un boulet de canon de 24 estimée à raison de 400 mètres par seconde à la sortie de la pièce. Elle augmente au périhélie et diminue à l'aphélie, ce qui contribue à l'inégalité des jours solaires et des saisons.

**Précession des équinoxes.** — J'ai dit que la ligne des équinoxes change incessamment de place. Elle décrit, dans le plan de l'écliptique, un mouvement de rotation ayant le Soleil pour centre, et s'avance chaque année de 62" du côté de l'occident à la rencontre de la Terre, opérant une révolution complète en 21 000 ans. Il en résulte que chaque année les équinoxes se trouvent en avance. C'est ce qu'on appelle la *précession des équinoxes*. La cause en est dans un mouvement conique de la terre sur son axe, qui s'opère d'orient en occident en 21 000 ans environ, autour d'une perpendiculaire à l'écliptique. Ce mouvement a pour effet de changer la position de l'axe relativement aux étoiles, de sorte que le pôle boréal du monde passera par les constellations de Céphée, du Cygne, d'Hercule, du Dragon, décrivant dans le ciel un cercle d'à peu près 47 degrés de diamètre. Certaines étoiles de ces constellations usurperont successivement la place et le nom de l'étoile polaire actuelle. Mais la précession des équinoxes ne modifie pas sensiblement l'inclinaison de l'axe sur l'écliptique, et, par conséquent, ne peut altérer la tempé-

rature ordinaire des saisons, dont elle change seulement à la longue les dates et la durée. Après une révolution complète de la ligne des équinoxes, les choses recommencent et se succèdent dans le même ordre. Le mouvement de la précession s'accomplirait d'ailleurs en 25 868 ans, s'il n'était accéléré par sa combinaison avec un autre mouvement, connu sous le nom de *révolution des apsides*, qui a pour effet de déplacer le grand astre de l'ellipse terrestre et d'en changer la direction. Considérée isolément, la précession des équinoxes ne peut avoir l'influence qu'on lui a attribuée sur les anciens climats du globe; mais il n'en est pas de même de sa combinaison avec d'autres phénomènes astronomiques dont il sera question plus loin.

**Nutation.** — Parmi les autres causes dont l'influence empêche l'axe terrestre de rester constamment parallèle avec lui-même, la principale dont nous ayons à nous occuper est la *nutation*. On appelle ainsi un mouvement conique de la Terre sur son axe, qui s'opère non plus autour d'une perpendiculaire au plan de l'écliptique, mais autour de la ligne inclinée de  $23^{\circ} 27' 28''$ , sur ce plan qui circonscrit le cône tracé par l'axe dans le mouvement de la précession des équinoxes. C'est donc un mouvement conique ajouté à un mouvement conique; de sorte que la base du cône décrit par l'axe terrestre dans la précession n'est pas une simple courbe, mais une courbe formée par une ligne repliée sur elle-même en une série de boucles, ou en d'autres termes, une épicycloïde. Le mouvement de la nutation a lieu dans le même sens que celui de la précession, c'est-à-dire de l'est à l'ouest; il s'opère en 18 ans  $4/2$ . La base du cône a la forme d'une ellipse dont le grand axe est de  $19'',3$  et le petit de  $14'',4$ . On voit que la nutation n'a qu'une amplitude extrêmement faible. Comme son mouvement se combine avec celui de la précession des équinoxes, l'influence qu'elle peut exercer sur les saisons ne doit pas en être distinguée, du moins aux yeux du géologue. Aussi, à ma connaissance, n'a-t-on fait intervenir la nutation dans aucune théorie géogénique.

**Causes de la précession des équinoxes et de la nutation.** — Découverte par Hipparque, la précession des équinoxes a été attribuée par Newton à sa véritable cause, savoir l'attraction solaire sur la partie renflée de la région équatoriale du globe. La terre, en effet, n'est pas une sphère parfaite, et le diamètre équatorial l'emporte sur le diamètre polaire. On peut donc la considérer comme une sphère renforcée d'un ménisque équatorial. Si ce ménisque n'existait pas, le mouvement conique de l'axe terrestre n'aurait pas lieu. D'Além-

bert a donné la démonstration mathématique de cette proposition, simplement établie par Newton; Laplace a complété la théorie, et les astronomes contemporains ont déterminé la proportion dans laquelle les autres planètes contribuent au phénomène. Disons encore que c'est à Bradley que revient l'honneur de la découverte de la nutation, et que d'Alembert en a trouvé la cause dans l'attraction spéciale de la lune sur le ménisque terrestre.

**Obliquité de l'écliptique.** — Les astronomes signalent d'autres mouvements qui n'ont plus la même importance, mais dont il faut tenir compte. Le plan de l'orbite de toutes les planètes éprouve des déplacements et des oscillations périodiques par suite de perturbations provenant des astres voisins. D'après Laplace, l'*obliquité de l'écliptique*, ou en d'autres termes, l'inclinaison de l'axe terrestre sur le plan de l'écliptique peut varier, au maximum, de 3 à 4 degrés.

**DISTANCE AU SOLEIL.** — D'après Ptolémée, Tycho-Brahé, Copernic, la distance de la terre au soleil équivalait à 1 200 rayons terrestres. Képler la portait à 3 500 rayons terrestres. En 1716, Halley admettait 16 500 rayons; un peu plus tard, Richer indiquait 21 742 rayons, Cassini 21 048 et Maraldi 20 626. Lacaille concluait en 1751 de ses observations de la planète Mars, au cap de Bonne-Espérance, à 20 123 rayons, quantité qu'il réduisit à 19 871 rayons après le passage de Vénus de la même année. En 1764 eut lieu un nouveau passage de Vénus sur le disque du soleil; il fut observé au Cap, en Laponie et à Tobolsk. Un autre passage, arrivé en 1769, fut étudié en Californie, à la baie d'Hudson, à Wardhus, dans la Laponie russe, en Sibérie, à Madras et à Tahiti. La discussion de ces deux passages donna 23 984 rayons terrestres. On admet aujourd'hui 23 270 rayons équatoriaux, ou en nombres ronds 34 500 000 lieues de 25 au degré ou 37 000 000 de lieues métriques, ou 15 300 000 myriamètres pour la distance moyenne de la terre au soleil. Ces chiffres seront probablement modifiés quelque peu à la suite des prochains passages de Vénus en 1874 et en 1882. Il s'agit ici de distance moyenne, puisque l'éloignement de la terre au soleil varie sur tous les points de l'orbite. Si l'on représente par l'unité la distance moyenne, celle du périhélie serait actuellement égale à 0,9832 et celle de l'aphélie à 1,0168; ou ce qui revient au même, la distance du périhélie étant représentée par 100, celle de l'aphélie le serait par 113.

**La distance de la terre au soleil peut-elle varier?** — La distance de la terre au soleil a-t-elle varié et doit-elle varier? Oui, mais dans des limites encore mal connues. La courbe que décrit

annuellement la planète autour du soleil s'allonge et se raccourcit périodiquement d'une quantité qui n'a pas été rigoureusement déterminée. C'est ce qu'on appelle *excentricité de l'ellipse*. Elle a pour effet de déplacer les foyers, ou, ce qui est la même chose, le soleil, le long du grand axe. Quoique son influence sur les climats terrestres ne puisse guère se remarquer dans un espace de temps limité, elle paraît avoir été fort grande autrefois, à certains moments. Je me réserve d'ailleurs de traiter cette importante question dans une autre partie de cet ouvrage.

**FORME ET DIMENSIONS DE LA TERRE.** — La terre est une sphère enflée à son équateur et aplatie à ses pôles. Sa surface présente en outre de vastes ondulations qui en rendent le niveau inégal, de sorte qu'abstraction faite de l'aplatissement polaire, il y a très-peu de rayons terrestres dont la longueur soit exactement la même. C'est ce qui résulte de très-nombreuses mesures prises sur tous les points du globe, et dont il est bon de donner un aperçu.

On peut constater l'aplatissement du globe et les inégalités de sa surface par des procédés assez variés, dont les plus usités sont la mesure des arcs terrestres et l'observation du pendule. La première est la plus employée, car elle a en outre l'avantage de donner les dimensions exactes de la planète. Chacun sait que le cercle se divise en 360 parties égales ou degrés. Ces degrés marquent l'amplitude de 360 angles au centre, qui partagent le cercle en autant de secteurs et la circonférence en autant d'arcs égaux. Mais il est évident que si le cercle n'a pas une régularité parfaite et que la circonférence en soit plus ou moins ondulée, les arcs d'un degré angulaire mesurés sur cette circonférence n'auront pas tous la même longueur. Si donc la terre a la forme d'une sphère parfaite, tous les arcs d'un degré des grands cercles, mesurés à sa surface, sont égaux, quelle que soit la direction de ceux-ci et l'emplacement des degrés mesurés, et, s'ils ne le sont pas, on doit conclure à des inégalités et à des dépressions. Quant au pendule, ses oscillations, qui dépendent de la pesanteur, deviennent plus nombreuses, dans un temps donné, pour une même longueur de suspension, si la pesanteur augmente, et se ralentissent si elle diminue. Or, la principale cause de la variation de la pesanteur à la surface du globe, c'est la distance au centre de la terre. Dans une dépression, le pendule, étant plus rapproché du centre, oscille plus vite ; sur une élévation, il bat plus lentement. Disons toutefois qu'en ce qui concerne les mesures géodésiques, le pendule n'offre pas toutes les garanties

désirables, car la densité des roches sous-jacentes et la proximité des montagnes peut en influencer la marche. Quoi qu'il en soit, voici les principaux résultats obtenus par l'un et l'autre procédés.

**Résultats des mesures de la terre.** — En 1669, Picard mesura l'arc du méridien de Paris à Amiens, et trouva pour la longueur du degré 57 060 toises. Cette mesure fut prolongée jusqu'à Dunkerque, d'une part, et jusqu'à Collioure, d'autre part, par Dominique Cassini et Lahire, de 1683 à 1718, et vérifiée de Dunkerque à Perpignan par François Cassini et Lacaille en 1739. De 1792 à la fin du siècle, elle fut prolongée jusqu'à Barcelone par Méchain, tandis que Delambre en opérait une nouvelle révision sur le territoire français. En 1803, Méchain retourna en Espagne où il mourut; ses opérations furent reprises par Biot et Arago, de 1806 à 1808. Ils prolongèrent l'arc français, désormais célèbre, jusqu'à l'île de Formentera, l'une des Baléares. D'un autre côté, cet arc avait été étendu jusqu'à Greenwich, par Roy, de 1784 à 1788, et relié à l'arc anglais. L'ensemble de ces opérations donna 57 027 toises pour la longueur moyenne de l'arc d'un degré en France.

Les mesures prises en Laponie en 1736 par la commission de l'Académie des sciences, composée de Camus, Clairaut, Lemonnier, Maupertuis et Outhier, assistés de l'astronome suédois Celsius, donnent 57 419 toises pour un arc d'un degré.

Les mesures prises au Pérou, de 1735 à 1745, par une autre commission de l'Académie des sciences, composée de Bouguer, Godin et La Condamine, assistés par les géomètres espagnols Don George Juan et Antoine Ulloa, donnent 56 737 toises.

En 1752, Lacaille obtient, au Cap de Bonne-Espérance, 57 037 toises.

En 1768, Mason et Dixon trouvent aux Etats-Unis, sur la limite de la Pensylvanie et du Maryland, 56 888 toises.

L'arc anglais, mesuré de 1800 à 1802, par Mudge, depuis l'île de Wight à Clifton, dans le Yorkshire, donne 57 066 toises.

En 1802 et 1803, les relevés de Lambton au Bengale fournissent 56 762 toises. Une autre mesure commencée par Lambton et achevée en 1825 par Everest, donne 56 773 toises. C'est une des plus grandes qu'on ait entreprises.

L'arc mesuré en Piémont, de 1821 à 1823, par Carlini et Plana, entre Andrate et Mondovi, donne 57 687 toises.

Les opérations dirigées par Gauss dans le Hanovre, de 1824 à 1824, donnent 57 127 toises.

Celles qui furent exécutées, de 1821 à 1831, par W. Struve et Wrangel, dans les provinces russes de la Baltique, donnent 57 436 toises.

**Dimensions de la terre.** — Toutes ces mesures ont été prises dans le sens des méridiens. Quelques-unes, et surtout les plus anciennes, laissent à désirer ; plusieurs ont été corrigées. Toutes vérifications faites, on a déduit de leur ensemble que la valeur d'un arc moyen d'un degré du méridien est de 57 000 toises ou 25 lieues anciennes de France, de 2280 toises ; que le quart du méridien est de 5 134 180 toises avec une erreur possible de 256 toises en plus ou en moins ; que la circonférence terrestre est de 20 520 000 toises ou 9000 lieues de 25 au degré, le diamètre moyen, de 2864 lieues et le rayon de 1 432 lieues. Ces résultats ne seront sans doute pas modifiés d'une manière sensible par les opérations plus récentes.

**Aplatissement de la terre aux pôles.** — J'ai donné un grand nombre de mesures d'ares méridiens, afin de bien montrer que la longueur du degré augmente quand on se rapproche des pôles et qu'elle diminue quand on chemine vers l'équateur. On en conclut à un aplatissement de la terre aux pôles et à un renflement à l'équateur. La valeur de l'aplatissement, ou, en d'autres termes, la différence entre le rayon polaire et le rayon équatorial, était estimée à  $\frac{1}{578}$  par Huygens et à  $\frac{1}{229}$  ou  $\frac{1}{230}$  par Newton, qui supposait la planète homogène. La commission des mesures pour l'établissement du mètre avait admis  $\frac{1}{334}$ . La méthode du pendule donna  $\frac{1}{304}$  à Biot. De son côté, Laplace, en se fondant sur l'action de la lune, arrivait à la fraction  $\frac{1}{304,5}$ , qu'il remplaça plus tard par  $\frac{1}{299,1}$ . La commission anglaise de 1822 avait trouvé  $\frac{1}{288,7}$ , et, après corrections,  $\frac{1}{290}$ . Struve avait obtenu  $\frac{1}{294,31}$ , et, tout récemment, M. Yvon Villarceau a donné  $\frac{1}{285,8}$ . Le dépôt de la guerre a adopté  $\frac{1}{308,65}$  ; on admet actuellement le chiffre de Bessel  $\frac{1}{299,15}$ , ou, en nombres ronds,  $\frac{1}{300}$ . L'aplatissement est donc de 31 318<sup>m</sup>,2, ou environ 5 lieues ; il n'équivaut pas au triple de la hauteur de la plus grande montagne du globe. Sur une sphère de 6 décimètres de diamètre, il serait représenté par 1 millimètre, et sur un globe de 1000 mètres de diamètre équatorial, l'axe polaire aurait 998<sup>m</sup>,33. Cet aplatissement est une des preuves invoquées, à juste titre, en faveur de l'hypothèse de l'incandescence originelle de la planète.

**Irrégularité de la surface terrestre.** — Les mesures des arcs ont conduit à un autre résultat également important. L'aplatissement des pôles admis, si la terre était un solide de révolution ré-

gulaire, tous les degrés des méridiens auraient la même longueur à pareille latitude. Or il n'en est rien. On doit en conclure que la surface terrestre est irrégulière et ondulée. Mais alors les arcs des degrés des parallèles ont aussi une longueur différente et les parallèles ne sont pas des cercles parfaits. L'expérience a donné raison à cette manière de voir. Divers parallèles ont été mesurés, notamment celui du 45° degré de latitude nord, de Bordeaux à Fiume, en Istrie, et l'on a trouvé pour le degré des valeurs comprises entre un minimum de 77 800 mètres et un maximum de 78 067 mètres. Il est donc parfaitement démontré que la surface terrestre est irrégulière et ondulée, et qu'à une même latitude les rayons sont inégaux.

**Chiffres adoptés pour représenter les dimensions de la terre.** — Le tableau suivant résume les données numériques les plus importantes actuellement adoptées, relatives à la forme et aux dimensions de notre globe.

Rayon équatorial.....	6 377 398 m.
Rayon polaire.....	6 356 080
Différence (aplatissement).....	21 318
Quart de l'équateur.....	10 017 594
Quart du méridien.....	10 000 856
Degré à l'équateur.....	111 307
Degré du parallèle à 45° de lat. N.	78 838
Degré moyen du méridien.....	111 121
Minute.....	18 52
Seconde.....	31

**Le volume de la Terre est-il invariable?** — Les dimensions, et, partant, le volume de la terre ont-ils varié et doivent-ils varier? A l'époque où la planète était incandescente, elle occupait évidemment plus d'espace, puisque aucune parcelle de sa substance ne peut se perdre et que, sauf les acquisitions insignifiantes provenant de la chute des aérolithes, la quantité de matière qui la compose a toujours été la même. La continuation de son refroidissement aura certainement pour effet de la contracter peu ou beaucoup, et, par conséquent, d'en diminuer encore le volume.

A notre époque même, la surface terrestre éprouve des mouvements séculaires d'oscillation qui en élèvent et en dépriment lentement certaines parties, ainsi qu'on le verra dans la suite de cet ouvrage. Elle se modifie donc incessamment, d'où il résulte que les mesures géodésiques n'ont qu'une exactitude et une signification temporaires. C'est bien inutilement, à mon sens, que d'illustres

académies ont cherché à établir des systèmes de mesures invariables et définitives d'après les dimensions de la terre. Malgré tous les perfectionnements à prévoir dans les instruments et les procédés géodésiques, on luttera toujours contre l'impossibilité matérielle d'arriver à la rigueur mathématique absolue ; et ensuite, supposé cette rigueur obtenue, les mêmes mesures devront être renouvelées à divers intervalles, puisque la portion de la surface terrestre où elles ont été prises peut éprouver des modifications. Au point de vue de la vérité absolue, la conception du système métrique est une chimère, malgré son admirable simplicité ; car, outre l'impossibilité d'obtenir la longueur exacte du quart du méridien, cette longueur varie d'un méridien à l'autre, et, pour calculer une moyenne, il faudrait mesurer des centaines et des milliers de ces cercles. Ce travail herculéen accompli, rien ne garantirait que tout ne fût à recommencer quelques siècles plus tard, par suite des oscillations et du retrait de la surface terrestre. On sait déjà que le mètre légal est trop court, parce que la commission désignée pour l'établir avait admis  $1/334$  pour la valeur de l'aplatissement polaire, et 5 130 740 toises pour la longueur du quart du méridien, ce qui donne 0 t., 5130740 pour la longueur du mètre. Mais, pour la pratique et l'application usuelle, la différence entre le mètre légal et le mètre réel est insignifiante, puisqu'elle ne dépasse pas une fraction de millimètre. L'Académie des sciences de Paris a donc été bien inspirée en refusant de s'associer à une proposition de rectification du mètre, dont l'effet principal aurait été de jeter la défiance sur un système de mesures excellent en lui-même, de troubler toutes les habitudes et de forcer à oublier une foule de données numériques pour en apprendre d'autres, calculées sur de nouveaux frais et tout aussi suspectes. La commission internationale du mètre, qui vient de se réunir à Paris, a eu de même une heureuse pensée en adoptant, pour étalon, le mètre français conservé aux archives.

**Surface et volume de la Terre.** — La *surface* de la terre est de 51 005 millions d'hectares ou 510 050 000 kilomètres carrés, ou encore 510 050 billions de mètres carrés : son *volume*, de 4 082 841 millions de kilomètres cubes.

**MASSE ET DENSITÉ.** — La *masse* de la terre est 354 936 fois plus petite que celle du Soleil. Les tentatives qu'on a faites pour calculer la *densité* de notre planète ont abouti à des résultats extrêmement contradictoires suivant les temps et les procédés. Ce qui augmente l'embarras, c'est que les chiffres déduits des effets de l'attraction et

de la pesanteur sont extrêmement élevés relativement à ceux auxquels on arrive en prenant directement le poids spécifique des roches terrestres. On est donc conduit à admettre que la densité du centre l'emporte de beaucoup sur celle des couches superficielles; mais de quelle quantité et suivant quelles lois? C'est ce qu'on ne saura peut-être jamais. En tout état de choses, il est bon de connaître les principaux résultats obtenus jusqu'à ce jour. Dans l'énumération qui va suivre, la densité de l'eau est prise pour unité.

Avec le fil à plomb, Hutton et Plafayr obtiennent, en Écosse, pour densité maximum 4,867, pour densité minimum 4,559 et pour densité moyenne 4,713.

En représentant par 3 la densité des couches superficielles de la terre, et en supposant une augmentation régulière et progressive vers le centre, Laplace estime la densité centrale à 10,047 et la densité moyenne à 4,7647.

En adoptant la même hypothèse et en admettant que la densité extérieure est de 1,83, Plana indique 16,27 pour la densité du centre de la Terre.

Les expériences faites au mont Cenis par Carlini au moyen du pendule donnent, après les corrections de Giulio, 4,950.

Cavendish et Baily, au moyen de la balance à torsion, trouvent 5,148.

En 1838, de Reich obtient 5,440 par la balance à torsion, chiffre qu'il remplace en 1850 par 5,577; en employant le même procédé, Baily arrive, de son côté, à 5,660.

Par la méthode du pendule, M. Airy obtient, en 1854, pour densité moyenne, 6,566; il indique 6,565 pour la localité de Harton, située à 54° 48' de latitude nord, et 6,489 pour l'équateur. Les chiffres sont donnés après avoir été rectifiés par M. Stocke.

Enfin les expériences très-récentes de MM. A. Cornu et J. Baille (1873) donnent 5,56.

On adopte aujourd'hui, en nombre rond, 5,50 pour représenter la densité moyenne de la Terre, mais ce n'est là qu'une approximation peut-être grossière. La densité paraît d'ailleurs varier suivant les lieux, car notre globe n'est point homogène. Elle a certainement été moindre pendant les diverses phases de l'incandescence, elle s'augmentera par les effets de la condensation de la planète.

**Intensité de la pesanteur; poids de la terre.** — À Paris, l'intensité de la pesanteur est telle, qu'un corps abandonné à cette seule action parcourt 4<sup>m</sup>,9 pendant la première seconde de sa chute. On

a vu que sur le soleil, cette intensité est 27 fois et demie plus grande. Le *poids* de la terre, obtenu en multipliant le volume par la densité, s'élève à 5 944 347 quintillions de kilogrammes. Évidemment tous ces chiffres ne représentent que des approximations, mais ils sont comparables entre eux, ayant été calculés d'après les mêmes données.

## CHAPITRE II

### ATMOSPHÈRE

**Atmosphère.** — On appelle *atmosphère* la couche gazeuse qui enveloppe la terre de toutes parts. C'est la plus extérieure des quatre parties concentriques dont est formé notre globe. Nous l'étudierons au point de vue de sa *composition*, de ses *propriétés physiques*, de son *étendue* et de sa *température*.

**COMPOSITION.** — L'atmosphère n'est autre chose que l'*air* que nous respirons. Elle est formée d'oxygène et d'azote simplement mélangés et non à l'état de combinaison chimique. Elle renferme, en outre, constamment, un peu d'acide carbonique et de la vapeur d'eau en quantité variable ; il s'y dégage, dans certaines circonstances, de l'acide carbonique, de l'acide chlorhydrique, de l'acide sulfureux, de l'acide sulhydrique, de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène carboné et de l'hydrogène pur ; il s'y forme parfois des quantités minimales d'azotate d'ammoniaque, enfin elle contient en suspension de la poussière et des corpuscules organiques assez divers, autrefois désignés sous le nom de miasmes.

Sa composition en volumes est de 79,10 d'azote et 20,90 d'oxygène, ou  $\frac{4}{5}$  du premier gaz et  $\frac{1}{5}$  du second ; en poids elle est de 77 d'azote et 33 d'oxygène, ou, en nombres ronds,  $\frac{3}{4}$  d'azote et  $\frac{1}{4}$  d'oxygène. La proportion d'acide carbonique oscille entre  $\frac{4}{100}$  et  $\frac{6}{100}$  dix-millièmes ; celle de la vapeur d'eau varie dans des limites fort étendues. Cette composition reste constante dans tous les lieux, à toutes les altitudes, dans toutes les circonstances ; à peine a-t-on pu constater une diminution presque imperceptible d'oxygène à la surface des mers de grande étendue, diminution expliquée par la plus grande solubilité de ce gaz.

**Azote atmosphérique.** — L'*azote* est un corps inerte entrant

difficilement dans les combinaisons, et dont la quantité ne semble pas avoir jamais varié d'une manière sensible. Il ne fait partie d'aucune roche terrestre; on ne le connaît que dans l'atmosphère, dans les tissus organiques et les produits qui en dérivent, enfin dans les nitrures. Mais ces dernières, y compris les mines d'azotate de soude de l'Amérique méridionale, n'ont qu'une faible importance et ne retiennent qu'une quantité d'azote insignifiante, en comparaison de celle que renferme l'atmosphère. Les volcans rejettent de l'azote, qui se mêle à l'air sans en altérer la composition, tant la quantité en est minime; encore cet azote provient-il peut-être indirectement de l'atmosphère. On peut conclure de ce qui précède que, de tous les gaz constitutifs de l'air, c'est l'azote qui demeure le plus constant. Cependant sa quantité paraît plutôt appelé à diminuer qu'à augmenter, parce qu'une fois combiné, surtout à l'état de sel ammoniacal, il reconquiert difficilement sa liberté. Puisque l'azote ne fait partie d'aucune roche terrestre, que la vie organique n'a pas toujours existé sur le globe et que les nitrures naturelles ont une origine assez récente, on doit admettre que tout l'azote, sauf peut-être celui des volcans, se trouvait autrefois à l'état gazeux dans l'atmosphère.

**Oxygène atmosphérique.** — Au contraire, l'*oxygène* est un corps éminemment avide de combinaisons. Dans l'origine des choses, il constituait, sans aucun doute, une très-grande partie de la nébuleuse terrestre, puisque, de tous les éléments de roches, c'est le plus répandu. Dès que les combinaisons chimiques devinrent possibles, des quantités prodigieuses d'oxygène s'unirent aux matières minérales pour former les couches superficielles du globe, qui sont oxydées au maximum, et des volumes immenses de ce gaz furent également absorbés par l'hydrogène pour donner naissance à l'eau des océans. L'atmosphère ne contient donc plus qu'un faible résidu de la masse primitive.

Relativement aux prodigieuses absorptions d'oxygène qui eurent lieu dans les premiers âges de notre planète, on peut considérer le résidu actuel comme à peu près constant, malgré de légères fluctuations. La couche extérieure du globe s'oppose, en effet, à la pénétration de ce gaz dans les profondeurs, où il serait promptement fixé par de nouvelles combinaisons, et les alliances qu'il peut contracter à la surface terrestre, ou, en d'autres termes, les oxydations, n'ont qu'une valeur insignifiante. D'un autre côté, les absorptions beaucoup plus importantes provenant de la respiration des animaux

et des combustions sont, en grande partie, contre-balancées par la respiration chlorophyllienne des plantes. On a, en effet, calculé qu'il faudrait 10 000 ans pour que la respiration des animaux diminuât d'une manière appréciable la quantité d'oxygène de l'air, en supposant les plantes anéanties : qu'en un siècle la perte ne serait que de 15 à 16.134 000, et que tout l'oxygène n'aurait disparu de l'atmosphère qu'au bout de 800 000 ans. Je n'ai pas besoin de faire remarquer que ces chiffres, ainsi que tous ceux qu'on produit dans des statistiques analogues, n'ont rien d'absolu, et qu'ils varient parfois du tout au tout suivant le point de vue auquel on s'est placé en les calculant. Aussi ne puis-je les donner que comme de simples renseignements de curiosité.

J'ai dit qu'après les absorptions énormes des premiers temps, la proportion d'oxygène contenue dans l'air demeure stationnaire, mais avec fluctuations. Dès que les végétaux eurent paru sur le globe, de grandes quantités de ce gaz provenant de la décomposition de l'acide carbonique de l'air furent rejetées par les plantes dans l'atmosphère, qui, sans doute, s'enrichit momentanément en oxygène, surtout à l'époque de l'anthracite et de la houille. Mais ces actions se ralentirent au fur et à mesure que les dépôts de combustibles devinrent plus circonscrits. Si l'équilibre actuel doit être rompu, ce sera en sens inverse, parce que, longtemps encore, on ne pourra empêcher les déboisements, et que d'énormes quantités d'oxygène sont absorbées par la respiration des animaux et par les combustions industrielles, qui jouent un rôle de plus en plus important. Si rien ne vient modifier la marche actuelle des choses, on prévoit une époque assez rapprochée où le charbon emmagasiné pendant des milliers de siècles dans les entrailles de la terre aura été rejeté dans l'air ambiant à l'état d'acide carbonique par les combustions, qui appauvriront l'atmosphère d'une quantité correspondante d'oxygène. Mais il est difficile d'aller plus loin dans le champ des conjectures ; car on peut supposer, sinon espérer, qu'éclairé par la science et mieux avisé sur ses intérêts, l'homme arrêtera l'insensée dévastation du globe à laquelle il se livre avec tant d'entrain.

**Acide carbonique atmosphérique.** — Actuellement la proportion en volume de l'acide carbonique de l'atmosphère est de 4 à 6 dix-millièmes, chiffre bien faible, qui représente néanmoins une quantité de carbone estimée à 695 298 682 billions de tonnes. Cette quantité n'est que les  $\frac{1}{1000}$  de tout le carbone terrestre, dont

la plus grande partie se trouve fixée dans les roches calcaires. M. Bischof estime, en effet, que si l'acide carbonique renfermé dans ces roches devenait libre, il occuperait un espace 36 fois plus grand que l'atmosphère entière. Les eaux en contiennent quelque peu en dissolution, et l'empruntent presque toujours à l'air; enfin l'intérieur du globe paraît en recéler des masses considérables, qui sont rejetées par les volcans, les sources thermales et les mofettes. Tels sont les gisements actuels de l'acide carbonique.

Il n'est pas aisé de se faire une idée exacte de la quantité de ce gaz existant sur la terre, ni des fluctuations qu'a pu subir la portion renfermée dans l'atmosphère, car, je ne saurais assez le répéter, dans de semblables statistiques les chiffres n'offrent rien d'absolu, ni même de bien précis. En ce qui concerne l'atmosphère, on doit mettre hors de cause l'acide carbonique des calcaires, ceux-ci ayant très-probablement existé toujours à l'état de carbonates. La chaux et la magnésie des calcaires viennent, en effet, de l'intérieur du globe. Ce qui le prouve, c'est que ces roches reposent presque toujours sur un fond de bassin composé d'argiles, de grès et de roches cristallines qui ne contiennent pas de carbonate de chaux, et qui, par conséquent, n'auraient pu fournir cette substance. D'un autre côté, si la chaux avait existé à l'état caustique dans le sein des mers où se sont déposés les calcaires de sédiment, la vie aurait été anéantie et les calcaires ne contiendraient point les innombrables fossiles qui semblent parfois les constituer entièrement. Malgré l'obscurité qui environne encore l'origine de ces roches, il est donc à peu près hors de doute que l'union de l'acide carbonique à la chaux, à la magnésie, à l'oxyde de fer et à d'autres bases, a eu lieu vers l'époque du refroidissement et de la consolidation de la planète, et que depuis, ce gaz n'a jamais été soustrait à l'atmosphère par les roches en quantité notable.

Ces derniers mots renferment une restriction qu'il est bon d'indiquer. D'après Ebelmen, la décomposition d'un mètre cube de feldspath absorbe 98 mètres cubes d'acide carbonique, qui transforme en carbonates les silicates alcalins. En admettant que ce gaz entre pour 4 dix-millièmes dans l'atmosphère, le mètre cube de feldspath fixe, en se décomposant, l'acide carbonique de 245 000 mètres cubes d'air. Mais la désagrégation des roches feldspathiques est fort lente; leur épais détritit superficiel l'arrête à une certaine profondeur, le feldspath y est presque toujours associé à d'autres minéraux et beaucoup de ces roches résistent énergiquement à

toute influence extérieure. Il en résulte, d'une part, que les calcaires de cette provenance n'ont qu'une importance fort minime, et, d'autre part, que l'action des roches feldspathiques sur l'atmosphère ne peut devenir sensible qu'après un nombre de siècles presque infini.

Je ne parlerai que pour mémoire de l'acide carbonique en dissolution dans les eaux. Depuis longtemps toutes celles du globe en sont saturées, mais la petite quantité ainsi soustraite à la circulation atmosphérique demeure constante et peut être négligée. Il est donc vraisemblable que la teneur de l'air en acide carbonique n'a jamais pu être que faiblement modifiée par toutes les causes que nous venons d'examiner.

Celles qui restent à passer en revue agissent, au contraire, avec une grande énergie. Je veux parler de la respiration des végétaux, qui enlève l'acide carbonique de l'air; de la respiration des animaux, de la combustion et des émanations volcaniques, qui en restituent, au contraire, des volumes considérables.

Les plantes fixent dans leur intérieur beaucoup de carbone : témoin le gland devenu chêne. Tout ce carbone ou presque tout ce carbone provient de l'atmosphère; il est soutiré par les parties vertes des plantes, qui décomposent l'acide carbonique, sous l'influence de la lumière, et rejettent l'oxygène. Cette action, longtemps prolongée, aurait pour résultat d'enlever tout l'acide carbonique de l'air, si elle n'était contre-balancée par d'autres phénomènes agissant en sens inverse. Cependant la quantité de carbone ainsi retirée de la circulation extérieure est fort considérable. Le carbone de toutes les plantes vivantes n'augmenterait, il est vrai, que de fort peu celui de l'atmosphère, d'après M. Bischoff; mais les terrains de sédiment renferment d'épaisses couches d'anthracite, de houille et de lignites provenant de l'ancienne végétation du globe, qui contiennent ensemble, d'après M. Rogers, six fois plus de carbone que l'atmosphère entière. De son côté, M. Bischoff évalue le carbone du seul bassin houiller de Saarbrück à la 41<sup>e</sup> partie de celui de l'air. Aussi, malgré quelques divergences, les géologues admettent-ils généralement qu'avant l'époque houillère l'atmosphère renfermait de 5 à 6 centièmes d'acide carbonique, quantité énorme eu égard à la proportion actuelle. Quelques-uns vont même jusqu'à 8 centièmes. Cette soustraction de carbone paraît avoir eu lieu surtout pendant la formation de la houille et de l'anthracite; elle s'est ensuite ralentie, mais sans s'interrompre, jusqu'au moment de l'ap-

parition de l'homme, qui semble destiné à opérer un changement en sens opposé. Il n'est cependant pas juste d'imaginer que tout le carbone des combustibles fossiles ait été exclusivement tiré de l'ancien fond de l'atmosphère. Très-vraisemblablement les émanations qui accompagnent les phénomènes éruptifs ont aussi fourni leur contingent. Mais, selon toute probabilité, ce contingent est assez borné, l'aspect et la structure des roches éruptives anciennes indiquant qu'elles ont apparu dans d'autres conditions que les laves actuelles, et sans grands dégagements de gaz ni de vapeurs. Quoi qu'il en soit, on ne peut mettre en doute l'appauvrissement de l'atmosphère en acide carbonique par le fait de la végétation.

Au nombre des causes tendant à rétablir l'équilibre et à restituer à l'air son carbone, j'ai cité la combustion du charbon pour les besoins de l'industrie. Afin de donner une idée de son importance, je produirai quelques chiffres qui sont plutôt au-dessous qu'au-dessus de la réalité. En 1862, l'Angleterre seule a consommé 86 millions de tonnes de houille, et en 1864, 92 millions. D'après M. William Armstrong, l'augmentation annuelle moyenne est de 2 millions  $\frac{3}{4}$  de tonnes, d'où il conclut que dans un peu plus de deux siècles toutes les houillères de l'Angleterre seront épuisées. De son côté, M. Pélégot porte à 134 millions de tonnes la production annuelle de la houille sur tout le globe, et à 304 milliards de mètres cubes la quantité d'acide carbonique versé dans l'air par sa combustion. On peut contester les chiffres, mais sans échapper à leurs conséquences. Dans un avenir prochain, dans quelques siècles au plus, toutes les mines seront épuisées. Où trouver alors le combustible pour satisfaire aux besoins de l'industrie sans cesse plus impérieux? Cette question, qui n'alarme que médiocrement les générations actuelles, inquiétera celles de l'avenir. Sans doute l'atmosphère est une mine de charbon, mais comment l'en extraire? Le seul moyen actuellement connu, l'intervention des végétaux forestiers, ne pourra suffire : il ne faudrait que peu d'années pour épuiser toutes les réserves du globe, après quoi le mal serait encore plus irrémédiable. Espérons que, dans l'intervalle, le génie de l'homme inventera le moyen d'utiliser directement la force motrice que le soleil nous transmet avec tant de profusion.

Les fermentations, la calcination de la chaux, la respiration animale, prendront sans doute de l'importance; au contraire, l'activité des émanations souterraines paraît se ralentir. Cependant toutes ces actions réunies sont peu de chose relativement à la combustion du

charbon. C'est l'homme qui est appelé à jouer désormais le premier rôle. Mais il n'est pas à prévoir qu'il sache ni qu'il puisse restreindre ses besoins, et le moment arrivera sans doute où le charbon des mines et des forêts sera rendu en totalité à l'atmosphère. Est-ce à dire qu'elle reviendra à son ancienne composition ? Je ne le pense pas. Des couches épaisses de combustibles gisent à des profondeurs inaccessibles, et il en existe sans doute aussi sous les océans. Les charbons exploitables ne représentent donc qu'une fraction du combustible fossile, de sorte qu'une proportion notable de carbone a été soustrait sans retour à l'atmosphère. On peut néanmoins affirmer qu'elle s'enrichira en acide carbonique, et s'appauvrira proportionnellement en oxygène, mais on n'indiquera jamais dans quelles limites. Il est, en effet, plus aisé de concevoir que de déterminer la part qui reviendra, dans tous ces changements, à l'action de l'homme, et dès qu'il s'agit d'intervention humaine, on doit compter avec l'imprévu.

**Vapeur d'eau atmosphérique.** — De toutes les substances qui se trouvent en dissolution dans l'air, la *vapeur d'eau* est celle dont les proportions varient le plus. C'est elle qui donne à l'atmosphère son humidité, mais cette humidité n'est point en rapport avec la quantité absolue de vapeur aqueuse. Elle augmente à mesure que l'air approche de son point de saturation, et comme il dissout beaucoup plus de vapeur à chaud qu'à froid, il est souvent plus humide, à une basse température, avec peu de vapeur, qu'à une température élevée quand il en renferme beaucoup plus. Le degré de sécheresse ou d'humidité de l'air n'a donc rien d'absolu, et dépend des moindres variations de la chaleur. En aucune circonstance et dans aucun lieu l'atmosphère n'est complètement dépouillée de vapeur aqueuse. A toutes les températures elle en renferme, en moyenne la moitié, au minimum le quart de la quantité nécessaire à sa saturation, et cette quantité varie des 0,0033 aux 0,0166 du poids de l'air, suivant les circonstances. Dans la zone torride, le mètre cube d'air en renferme de 20 à 25 grammes ; en France, à la latitude du 45° degré, il n'en renferme plus que 10 à 12 grammes ; au sommet des montagnes, la proportion est 10 à 12 fois moindre qu'à la surface des plaines. On sait d'ailleurs que la vapeur d'eau n'a que le tiers du poids de l'air et que son abondance est ordinairement annoncée par un abaissement du baromètre.

Les variations de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère dépendent surtout de la température. Tout ce qui peut

élever cette dernière augmente la capacité dissolvante de l'air, tout ce qui l'abaisse produit un effet contraire. Ainsi, l'air est plus humide, et, en tout cas, plus chargé de vapeur dans les pays chauds que dans les pays froids, aux basses latitudes qu'aux latitudes élevées, ce qui ne veut pas dire pourtant que les pluies y soient plus fréquentes. Il dissout plus de vapeur d'eau aux heures chaudes qu'aux heures froides de la journée et de la nuit, et souvent cette vapeur, condensée par la fraîcheur du matin, se résout en nuages et en brouillards ou se précipite à l'état de bruine, de pluie, de neige ou de gelée blanche. Il y a plus de vapeur aqueuse dans l'air en été qu'en hiver, quoique l'humidité soit ordinairement plus grande dans cette dernière saison. Cependant, par les froids rigoureux, la sécheresse peut devenir extrême. Dans l'intérieur de la Russie, quand le thermomètre tombe au-dessous de  $-35^{\circ}$ , j'ai remarqué que le moindre frottement sur une étoffe de laine est accompagné de la lueur et du ptillement d'étincelles électriques ; le peigne en dégage des cheveux avec crépitations bien sensibles ; la peau des mains et des lèvres se gerce et se fendille, le toucher des étoffes de soie devient scabreux et désagréable, et l'on ressent une irritation nerveuse et un malaise extrêmes. Ces phénomènes s'observent aussi bien dans les appartements clos et chauffés, où se dégage la vapeur des aliments et de la respiration. On les constate également sur les montagnes élevées, où ils sont, en grande partie, occasionnés par la raréfaction de l'air : assez habituellement le voyageur revient d'une ascension dans les Alpes, et même dans les Pyrénées, avec la peau du visage et des lèvres crevassée. Les effets contraires se remarquent surtout dans les régions équatoriales, où l'humidité est extrême. Dans les basses latitudes, une zone épaisse de nuages entoure le globe comme d'une ceinture, qui se déplace de quelques degrés en suivant le soleil dans ses pérégrinations au nord et au sud de la Ligne, et déverse quotidiennement sur la terre des torrents de pluie. La chaleur devient humide et étouffante. La transpiration insensible s'opère difficilement dans un milieu presque saturé de vapeur ; d'où résulte, pour les Européens, une transpiration continuelle fort incommode, qui redouble au moindre travail. Le fer et les métaux polis se ternissent et se couvrent de rouille. Les provisions sont envahies par la moisissure, et le soleil des tropiques demeure impuissant à dessécher la récolte du botaniste, qui doit avoir recours au feu, et qui ne parvient qu'avec peine à préserver son butin de l'humidité et des insectes.

Après la température, ce sont les vents et les courants marins qui exercent la plus grande influence sur l'état hygrométrique de l'air. En général, les îles et les rivages sont plus humides que l'intérieur des continents. Les vents de mer entraînent plus de vapeur d'eau que les vents de terre, en sorte que la sécheresse ou l'humidité d'un climat dépend beaucoup de la direction des vents dominants. Ceux qui soufflent de l'ouest règnent surtout dans la zone tempérée septentrionale. Ils sont fort humides quand ils arrivent sur les rivages occidentaux des deux continents, après avoir traversé l'océan Atlantique et le grand Océan, et fort secs quand ils parviennent à l'extrémité orientale des mêmes continents, sur lesquels ils ont abandonné leur humidité. Il en résulte que le climat de la Norvège, du Danemark, de la Hollande, des îles Britanniques, de la Bretagne, de la Galice et du Portugal, ainsi que celui de la Californie et des États de l'Union américaine limitrophes du Pacifique est très-humide, tandis que la Chine, la Mandchourie, les États américains de l'est, ont un climat fort sec. Il pleut en Provence par le vent du sud-est, qui a traversé la Méditerranée, et ce même vent produit la sécheresse à Toulouse et dans le bassin de la Garonne, parce qu'il s'est dépouillé de son humidité chemin faisant. Quelquefois la direction des courants marins vient ajouter à l'action des vents. C'est ainsi que le Gulf-Stream amène du golfe du Mexique dans les mers du nord-ouest de l'Europe une eau relativement chaude, dont l'évaporation, un peu plus active que celle des mers à pareille latitude, contribue à entretenir dans ces parages des brumes qui en adoucissent le climat, au point que l'hiver des Féroë est moins rigoureux que celui de Madrid.

Toutes ces questions intéressent le géologue autant que le physicien. Si, en effet, la vapeur aqueuse de l'atmosphère engendre les brouillards, les nuages, la pluie, la neige, la grêle, le givre, la rosée, si elle s'interpose comme un écran entre la terre et les espaces célestes pour ralentir la déperdition de la chaleur solaire, c'est elle qui alimente indirectement les glaciers et les eaux courantes. Il n'est donc pas hors de propos de chercher à déterminer, autant que possible, les fluctuations de la quantité de vapeur aqueuse atmosphérique aux époques géologiques antérieures.

Quand le globe brûlait encore, toute l'eau des mers faisait partie de l'atmosphère, alors infiniment plus épaisse et plus étendue que de nos jours. La pression de cette atmosphère étant certainement plus grande que celle de l'atmosphère actuelle, l'eau put se précé-

piter à l'état liquide avant que la température de la croûte rocheuse superficielle fût descendue à 100 degrés, et d'énormes masses de vapeur disparurent à jamais de l'enveloppe gazeuse périphérique. La continuation du refroidissement eut pour résultat de condenser à l'état liquide de nouvelles quantités de vapeur aqueuse, de sorte que l'atmosphère primitive se dessécha rapidement ; puis commença un nouvel état de choses, qu'on pourrait appeler stationnaire relativement à celui des premiers âges. Cependant l'atmosphère était encore infiniment plus humide que de nos jours, parce que, sur tout le globe, régnait un climat au moins tropical. On a, en effet, des preuves certaines que des animaux et des végétaux analogues à ceux des contrées équatoriales vivaient à des latitudes polaires, au Spitzberg et au Groenland, par exemple. On sait aussi que la température du nord de l'Europe et de l'Amérique se maintint au même degré élevé jusqu'au moment où se formait la craie. A l'époque plus récente de l'apparition des mammifères, les environs de Paris nourrissaient une végétation presque tropicale où abondaient les palmiers. Un peu plus tard, la flore du midi de la France ressemblait à celle de la Floride et du Japon ; plus tard encore, le climat se refroidit quelque peu jusqu'aux temps actuels, où il paraît momentanément stationnaire. En étudiant la structure des roches de sédiment, plusieurs géologues ont même essayé d'indiquer les époques d'humidité et de sécheresse relatives à des périodes géologiques antérieures. Quoi qu'il en soit de leurs tentatives, il demeure bien établi qu'après le refroidissement de la couche superficielle du globe, la teneur de l'atmosphère en vapeur aqueuse fut pendant longtemps supérieure à celle de l'air de nos régions tropicales, et qu'à part une exception dont il me reste à parler, elle diminue en raison de l'abaissement progressif de la température.

Cette exception est relative à l'époque des grandes inondations et des glaciers, autrement appelée époque quaternaire. Elle précède immédiatement les temps actuels. Elle est caractérisée par une énorme abondance de pluies et par un développement excessif des glaciers. C'est alors que furent creusées les vallées d'érosion et que les terres fermes prirent leur dernier relief. On a voulu faire coïncider l'extension des glaciers avec un refroidissement extraordinaire de l'Europe centrale, qui aurait eu le climat de la Norvège ou de la Russie. Telle est même encore l'opinion la plus généralement répandue parmi les géologues, qui ne prennent pas assez garde à la simultanéité des phénomènes diluviens et des phénomènes gla-

cières. Je pense au contraire, avec Lecoq, que l'abondance et la continuité des pluies diluviennes, parfaitement démontrées par les effets qu'elles ont produits, suffisent pour expliquer l'extension des glaciers. S'il y a eu refroidissement, ce que je ne prétends pas nier, l'abaissement de la température est la conséquence autant que la cause de cette extension. Quoi qu'il en soit, les phénomènes diluviens coïncident avec une époque d'humidité extrême à laquelle a succédé l'état actuel. La proportion de la vapeur aqueuse atmosphérique dépassait-elle alors celle des époques de chaleur précédentes? C'est ce qu'il est bien difficile de dire. Il ne faut pas nous dissimuler d'ailleurs que ces époques si rapprochées de nous sont les plus obscures de toutes celles de la géologie.

En résumé, on peut admettre quatre et même cinq périodes relativement à la teneur de l'air en vapeur aqueuse depuis l'origine du globe. Dans la première, la terre était incandescente et l'eau des océans faisait partie de l'atmosphère. Dans la seconde, qui s'étend depuis l'établissement des mers permanentes jusqu'à l'époque tertiaire, une chaleur intense et générale maintient dans l'air une proportion de vapeur au moins égale, sinon supérieure à celle des régions tropicales. Pendant l'époque tertiaire, un refroidissement régulier dessèche l'atmosphère. Dans la quatrième époque, caractérisée par des pluies d'une abondance et d'une continuité extraordinaires, des déluges d'eau se précipitent sur les terres fermes, retournant incessamment à l'atmosphère pour être de nouveau déversés. A cet état de choses succède la période dans laquelle nous vivons. Quand et comment celle-ci finira-t-elle? C'est ce que nous examinerons dans une autre partie de ce livre. Tout ce qu'on peut dire, c'est qu'à notre époque, comme dans les temps à venir, la proportion de vapeur aqueuse atmosphérique se trouvera toujours sous la dépendance de la température et des circonstances dont il a été question précédemment.

Il est donc peu intéressant de rechercher l'origine de la vapeur d'eau atmosphérique. Bien différente des gaz ordinaires, elle ne constitue point un fond permanent qui a pu s'enrichir ou s'appauvrir depuis les premiers âges du globe. La vapeur aqueuse d'hier n'est pas celle d'aujourd'hui ni de demain. A chaque instant elle retourne à l'état liquide pour se volatiliser de nouveau. Elle a donc son origine de chaque instant dans l'eau liquide. L'évaporation des mers, des lacs, des fleuves et du sol humide, la respiration des animaux et des plantes, les éruptions volcaniques, les sources

thermales et les geysers dégagent d'énormes quantités de vapeur d'eau, qui se transforme en liquide dès qu'elle tend à dépasser la proportion nécessaire à la saturation de l'air. C'est donc un va-et-vient perpétuel qui durera tant que les mers subsisteront à la surface du globe.

**Acide chlorhydrique, acide sulfureux, acide sulfhydrique, hydrogène carboné, oxyde de carbone, hydrogène.** — L'atmosphère renferme encore ou peut renfermer çà et là et dans des circonstances déterminées des traces d'*acide chlorhydrique*, d'*acide sulfureux*, d'*acide sulfhydrique*, d'*hydrogène protocarboné*, d'*oxyde de carbone* et d'*hydrogène*, qui se dégagent, soit des éruptions volcaniques et des fumarolles, soit des sources minérales, soit des putréfactions et des combustions. Mais ce sont là des accidents locaux qui n'altèrent en rien la composition normale de l'air. Les gaz acides ne restent pas longtemps sans se combiner ou se détruire, même l'hydrogène sulfuré, dont les affinités n'ont pas, cependant, une grande énergie. A Bagnères de Luchon, les parois des galeries creusées dans la pegmatite et dans les schistes azoïques pour la recherche et la conduite des eaux thermales sulfureuses sont profondément attaquées et corrodées par l'acide sulfurique résultant de la décomposition du gaz sulfhydrique, dont l'odeur assez faible indique cependant le peu d'abondance. On ne voit partout qu'efflorescences de sulfate de chaux, de magnésie, d'alumine et de fer, et d'épaisses incrustations de soufre cristallisé. Certaines flaques d'eau ont une acidité très-prononcée. Les altérations se remarquent à peu près partout, même dans les galeries récentes. L'hydrogène sulfuré est aussi le produit des putréfactions. Des sables ou volcans boueux laissent échapper beaucoup d'hydrogène protocarboné; ce gaz se dégage des marais, les houillères en renferment de grandes quantités dans les bancs de combustible, d'où il sort avec assez d'abondance pour donner lieu à de terribles explosions. C'est le *grison* si redouté des mineurs, et contre lequel les lampes de sûreté ne sont qu'un préservatif insuffisant. Disons enfin que les pluies d'orage contiennent parfois des traces d'azotate d'ammoniaque, sans doute formé, sous l'influence de l'électricité, aux dépens des gaz constitutifs de l'air et de la vapeur d'eau.

**Particules solides en suspension dans l'atmosphère.** — Toutes les matières dont il a été question jusqu'à présent existent en dissolution ou en mélange invisible dans l'atmosphère, même la vapeur d'eau, qu'on ne peut apercevoir que lorsqu'elle s'est condensée en

gouttelettes liquides. Celles qui restent à indiquer consistent en particules solides suspendues librement au milieu de l'air, où elles flottent en raison de leur petitesse et de leur légèreté. Ce sont les *poussières* et les *corpuscules organiques* longtemps désignés sous le nom de *miasmes*.

La poussière existe partout, ordinairement invisible en raison de l'exiguïté de ses éléments. Cependant le moindre rayon de soleil traversant une chambre noire en illumine les inévitables parcelles, agitées de mouvements incessants. Plus abondante dans les centres habités, elle ne manque en aucun endroit; on la retrouve même à la surface des océans et sur les glaciers. Elle est formée de parcelles minérales provenant de la pulvérisation des roches et des matériaux de construction; puis de débris organiques, tels que brindilles de laine, de coton et de soie, particules charbonneuses, grains de fécule; enfin de corpuscules vivants infiniment petits, œufs, spores, animalcules et plantules microscopiques, en un mot de tout ce qui peut être emporté par le vent et maintenu en suspension dans l'air. On a vu des pollens de diverses plantes entraînés au loin, retomber en une sorte de pluie colorée: telle est l'origine des *pluies de soufre*, formées par le pollen des pins. Les cendres volcaniques et les sables des déserts franchissent quelquefois des distances énormes.

Cependant les corpuscules de nature organique dominent. On ne peut les éliminer que très-difficilement et en les détruisant par la combustion, quand on veut préparer de l'air parfaitement pur pour certaines expériences d'optique. Les parcelles minérales sont plus aisément arrêtées par les flacons laveurs et les obstacles mécaniques. M. Tyndall, à qui l'on doit la connaissance de ces faits, a constaté que de l'air absolument dépouillé de corpuscules paraît noir sous l'influence d'une vive lumière quand il est entouré d'air moins pur, qui conserve son aspect ordinaire et forme contraste. C'est peut-être à la rareté de la poussière que l'air des hautes régions doit, en partie, la teinte foncée qui le distingue.

Les fermentations et les prétendues générations spontanées proviennent certainement des germes invisibles, et il en est, sans doute, de même des maladies épidémiques, telles que le choléra, le vomito et les fièvres intermittentes. Les corpuscules appartiennent au règne végétal ou au règne animal, et consistent en œufs et en spores qui se développent en animalcules et en plantules microscopiques, envahissant nos organes et se répandant par les déjections des

malades. Mais ce n'est pas ici le lieu de traiter tous ces sujets, dont l'étude, encore à son début, est appelée sans doute à transformer la médecine et à la constituer en science d'observation.

**PROPRIÉTÉS PHYSIQUES. — Propriétés calorifiques.** — L'air est un gaz élastique, mauvais conducteur de la chaleur et de l'électricité quand il est sec. Diathermane, pour la chaleur lumineuse, il met obstacle au rayonnement de la chaleur obscure. Tout le monde connaît la chambre noire de Saussure, où l'on peut faire bouillir de l'eau par la seule chaleur solaire qui y pénètre librement, mais dont la perte est empêchée par divers artifices. La vapeur d'eau et surtout l'acide carbonique diminuent le pouvoir émissif de l'air pour la chaleur obscure. D'après M. Tyndall, quelques centièmes de ce dernier gaz empêchent presque absolument le rayonnement de la chaleur obscure, sans arrêter le passage de la chaleur lumineuse. Sous une telle atmosphère, la terre serait une serre chaude. Très-vraisemblablement il y a là une des principales causes de l'élévation générale de la température du globe aux époques anciennes. La pression agit de la même manière, puisqu'elle augmente la densité de l'air. D'après M. Élie de Beaumont, si elle venait à doubler, la température générale s'élèverait d'environ 20 degrés. Voilà un nouveau fait dont il faut tenir compte dans les discussions relatives aux températures de l'air aux époques passées; car on ne peut douter que l'atmosphère n'ait été autrefois plus riche en acide carbonique et en vapeur d'eau, plus épaisse, et, partant, plus dense que de nos jours.

**Couleur de l'air.** — L'air est transparent, mais coloré en bleu quand on le voit en grandes masses. C'est la couche d'air interposée entre l'œil et les montagnes lointaines qui donne à celles-ci leurs teintes azurées. L'intensité de la nuance augmente dans les pays chauds, et l'on a pensé que l'abondance de la vapeur d'eau n'est pas étrangère à ce résultat. Bien des explications ont été proposées pour rendre compte de cette coloration de l'air en bleu. Je ne puis résister à mon désir de donner celle de M. Tyndall, qui est assurément, de beaucoup, la plus ingénieuse. M. Tyndall fait d'abord observer qu'on ne peut plus soutenir aujourd'hui que l'air paraît bleu parce qu'il est bleu, une substance de cette couleur ne pouvant absorber les rayons bleus et transmettre seulement les rayons orangés de la lumière blanche du soleil, ce qui a lieu toutes les fois que cet astre se rapproche de l'horizon. Le même air est donc rouge ou bleu suivant les circonstances. M. Tyndall explique cette appa-

rente anomalie en supposant que la couleur bleue est due à la réflexion partielle des rayons de la lumière blanche sur les particules cosmiques, infiniment petites, en suspension dans l'atmosphère. Telle est la ténuité de ces corpuscules, qu'ils laissent passer les rayons rouges, dont l'amplitude est relativement très-grande et réfléchissent seulement les rayons bleus et les violets, dont l'amplitude est très-petite. Il en résulte que dans les circonstances ordinaires, nous voyons le ciel coloré en bleu. Mais les rayons rouges deviennent perceptibles quand les couches d'air interposées entre notre œil et la source lumineuse acquiert une épaisseur suffisante. Voilà pourquoi nous voyons l'horizon se colorer en jaune, puis en orangé, puis en rouge au coucher du soleil. Alors nous parvenons presque exclusivement les rayons transmis par delà les particules cosmiques, qui réfléchissent les rayons bleus et les rejettent dans une autre direction. L'air nous paraît donc bleu par réflexion et rouge par transmission. Quant à la poussière cosmique, son existence n'est nullement hypothétique pour M. Tyndall : c'est elle qui, sous certaines incidences de la lumière, voile et efface les contours des montagnes, lesquelles deviennent subitement nettes et distinctes dès que l'observateur a su, au moyen d'instruments d'optique convenables, annihiler les effets gênants de la réflexion de la lumière par les particules.

Pour M. Lallemand, au contraire, la couleur bleue de l'atmosphère provient d'un phénomène de fluorescence quinique ou hypochromatique, c'est-à-dire avec changement de réfrangibilité due à une absorption partielle des rayons chimiques ou ultraviolets.

En quantité modérée, la vapeur d'eau ajoutée à la transparence de l'air, en très-grande proportion elle la trouble. Un signe infallible de pluie, c'est la netteté avec laquelle on aperçoit les montagnes lointaines. Quand on en distingue les moindres détails, c'est que l'air approche de son point de saturation. Les Alpes deviennent presque invisibles depuis le Jura quand règne le vent du nord, et les Pyrénées le deviennent tout à fait, de Toulouse et de Montauban, par la sécheresse et le vent d'autan. Si j'osais me servir d'une comparaison vulgaire, je dirais que la vapeur d'eau agit sur l'air comme une goutte d'huile sur le papier. On sait d'ailleurs que la grande abondance de vapeur aqueuse diminue la pression atmosphérique; c'est pourquoi l'abaissement du baromètre annonce la pluie.

**Densité de l'air.** — A la pression de 76 centimètres et à la tem-

pérature de 0 degré, la densité de l'air est le 1/770 de celle de l'eau, le 1/1000 environ de celle du mercure et le 1/7000 de celle du platine. Dans les mêmes conditions de température et de pression, un litre d'air sec pèse 1<sup>er</sup>,43, et un mètre cube, 2 kilogr. 3/4. La densité diminue à mesure qu'on s'élève. Parvenu à une hauteur de 7016 mètres dans sa fameuse ascension en ballon du 16 septembre 1804, Gay-Lussac constata que le baromètre était tombé à 33 centimètres; le thermomètre marquait — 9° 5, tandis qu'il accusait 27° à Paris au moment du départ. Le 27 juillet 1850, MM. Barral et Bixio virent le baromètre à 31 centimètres, et le thermomètre à — 39°,7. La différence avec la température de l'air au niveau du sol s'élevait à 57°,3. Les voyageurs étaient arrivés à une altitude de 7049 mètres. Le 5 septembre 1862, MM. Glaisher et Coxwell ont certainement atteint 8839 mètres, et peut-être dépassé 11 000 mètres, si l'on admet l'évaluation de M. Glaisher. C'est la plus grande hauteur à laquelle l'homme soit parvenu. Le baromètre n'indiquait que 20 centimètres et le thermomètre était descendu à — 27°. Tous ces effets s'expliquent par la raréfaction de l'air, dont ils fournissent la démonstration. L'intensité croissante du froid, la diminution de la pression et de la quantité d'oxygène respirable et les troubles organiques qui en résultent empêchent les ascensions de dépasser certaines limites. Le condor ne s'élève guère au-dessus de 7000 mètres, d'après de Humboldt; toute la vie organique est renfermée dans une zone atmosphérique qui n'atteint pas 8000 mètres, et, très-vraisemblablement, il ne sera jamais donné à l'homme de fouler les plus hautes sommités du globe.

**Terminaison de l'atmosphère.** — Puisque la raréfaction de l'air est inversement proportionnelle à l'épaisseur de la couche atmosphérique existant au-dessus du lieu considéré, la diminution de sa densité doit suivre une loi régulière. Il y a sans doute quelques exceptions de détail, au moyen desquelles on explique certains phénomènes locaux, par exemple le mirage, mais elles n'infirmement en rien la règle générale. A force de s'élever, il semble donc que l'on doive arriver à des régions où le passage entre l'atmosphère et le vide de l'espace s'opère insensiblement. Telle est l'opinion de plusieurs physiciens; mais il est difficile de la partager, puisqu'une différence énorme existe entre le néant et la matière, quelque raréfiée qu'on la suppose. D'après M. Liats, la loi de Mariotte cesse d'être applicable à un certain niveau, à partir duquel les gaz atmosphériques se comportent comme des liquides, leurs molécules étant aussi es-

pacées que possible. Cette hypothèse réunit certainement en sa faveur plus de chances de probabilité que la précédente, et à plus forte raison que celles des auteurs qui ont liquéfié et même solidifié l'atmosphère à ses limites extrêmes, en raison de l'intensité du froid de l'Espace. Quoi qu'il en soit, et malgré la raréfaction excessive de ses couches superficielles, il semble naturel d'admettre que l'atmosphère se termine assez nettement par une surface parallèle à la surface des terres fermes et des océans, et à laquelle les marées atmosphériques ne communiquent que de faibles irrégularités.

**HAUTEUR ET DIMENSIONS.** — C'est ici surtout que l'imagination peut se donner libre carrière. D'après Mariotte l'atmosphère n'a pas de limite; d'après Laplace, elle s'étend jusqu'à la distance où la pesanteur commence à neutraliser la force centrifuge de notre planète, distance qu'il porte à 5 rayons terrestres; d'après Mairan, la hauteur des aurores boréales indique au moins une épaisseur de 200 lieues; certaines observations de holidés tendent à faire admettre 600 à 700 kilomètres; M. Liais conclut à 380 kilomètres, ou 85 lieues, à la suite de ses études sur le crépuscule tropical; Delambre admettait 60 kilomètres; enfin Biot, en se fondant sur les lois de la raréfaction de l'air, indique 47 kilomètres. Une valeur moyenne de 50 à 60 kilomètres a été adoptée jusqu'à ces derniers temps, mais on commence à abandonner les chiffres de Biot et Delambre pour celui de M. Liais. Sans doute l'observation assidue des météores fera élargir davantage les limites de l'atmosphère et conduira à un minimum qui restera probablement fort en deçà de l'estimation de Laplace. A son point de vue particulier, le géologue doit peu regretter l'incertitude à laquelle il est condamné. La connaissance exacte de l'épaisseur de l'atmosphère ne lui servirait guère, en effet, qu'à satisfaire une curiosité, d'ailleurs fort légitime. Tous les problèmes de son ressort peuvent être traités comme si l'air formait autour du globe une couche de 8 kilomètres d'épaisseur, dont la densité, partout uniforme, serait égale à celle qu'on observe au niveau de la mer. C'est là une indication très-précise, fournie par le baromètre, on pourrait dire par l'atmosphère elle-même. Connaissant les dimensions de la Terre, on estime donc fort exactement le poids de l'atmosphère et les quantités absolues de ses principes constitutifs. C'est ainsi qu'on a trouvé que si elle était liquide et qu'elle eût la densité de l'eau, elle formerait autour du globe une couche continue de 11 à 12 mètres d'épaisseur, ce qui donnerait 38 millimètres sur une sphère de 10 mètres de diamètre.

Un résultat plus intéressant, c'est que le poids de l'atmosphère équivaut à peu près au millionième de celui de la planète et à  $1/350$  de celui des mers. D'après Poisson, qui adoptait l'épaisseur de 15 à 16 lieues, la masse atmosphérique n'est que les 8854 dix-billio-nièmes de celle du globe. Ce dernier résultat repose sur une donnée inexacte, l'étendue de la zone gazeuse qui entoure la Terre dépassant de beaucoup celle que lui assigne Poisson; cependant il ne sera pas modifié d'une manière notable, à cause de l'extrême raréfaction des couches superficielles.

**TEMPÉRATURE.** — Si nous connaissions exactement la température extérieure du globe à toutes les époques de son passé, nous aurions la solution d'une foule de problèmes géologiques encore incertains. Le meilleur moyen d'arriver à ce résultat si désirable, c'est d'étudier préalablement les températures terrestres et les lois qui en régissent les variations. Dans tout ce qui va suivre il ne sera question que de la température moyenne de l'air à environ 2 mètres du sol, et les indications seront données, comme dans tout cet ouvrage, en degrés du thermomètre centigrade. Il ne sera également question que de la chaleur venant du soleil, celle des autres sources pouvant être momentanément négligée en raison de son peu d'importance.

La température de l'air est sous la dépendance directe et prépondérante de la latitude et de l'altitude; dans tous les lieux et à tous les niveaux elle varie d'ailleurs suivant l'heure et la saison.

**Effets de l'altitude.** — La chaleur diminue proportionnellement à l'*altitude*, ou, en d'autres termes, à l'élévation au-dessus du niveau de la mer, parce que l'air est plus dense et plus épais dans les lieux bas que dans les lieux élevés, et qu'il peut ainsi s'échauffer davantage en mettant obstacle au rayonnement de la chaleur obscure. Je rappellerai qu'il renferme une quantité absolue de vapeur d'eau et d'acide carbonique en rapport avec sa densité, et que ces deux substances opposent un très-grand obstacle à la perte de la chaleur obscure, sans arrêter l'arrivée de la chaleur lumineuse.

Cette diminution de chaleur produite par l'altitude est soumise à des lois encore mal connues; elle ne paraît pas augmenter régulièrement à mesure qu'on s'élève, au moins dans la zone atmosphérique accessible à nos investigations directes. M. Becquerel signale des anomalies assez fréquentes à quelques dizaines de mètres au-dessus du sol. D'après Saigey, la diminution de chaleur, d'abord uniforme et progressive, s'accélère vers 3000 mètres d'altitude pour

se ralentir ensuite. Toutes les ascensions en ballon font voir que la chaleur décroît beaucoup plus rapidement près du sol que dans les hautes régions, et qu'il se produit quelquefois la nuit un véritable renversement, à la suite duquel les couches voisines du sol se refroidissent plus que les couches supérieures. On évalue, en moyenne, la diminution à 1 degré pour 180 mètres d'ascension, mais cette quantité varie suivant la configuration du terrain. Pendant une ascension en ballon, ou encore lorsqu'on s'élève sur des montagnes escarpées, on constate une diminution plus rapide que dans les montagnes à pente douce ou en gradins. Thurmann l'estime à 1 degré pour 166 mètres dans les Alpes centrales, et à 1 degré pour 200 mètres dans le Jura bernois ; il pense que tous les résultats sont renfermés entre les limites extrêmes de 150 et 250 mètres pour 1 degré. De mon côté j'ai trouvé pour le Jura de Montbéliard, qui s'élève par gradins successifs, une diminution de 1 degré pour 225 mètres.

Les hautes montagnes ont un climat fort rigoureux à leurs sommets. Dans certaines contrées, le voyageur passe en quelques jours, parfois en quelques heures, du climat et des produits des tropiques à ceux des contrées boréales. Si les montagnes ont une élévation suffisante, on arrive à une zone à partir de laquelle l'eau ne peut plus exister à l'état liquide. C'est la limite des *neiges perpétuelles*. Elle commence au niveau où l'alimentation des glaces par la chute de la neige l'emporte sur la perte qu'elles éprouvent pour la fusion. Cette limite varie suivant une foule de circonstances, dont les principales sont : l'abondance des chutes de neige, le degré d'humidité moyenne de l'air, le degré de diaphanéité, la chaleur relative des étés et des hivers, la latitude, et, partant, la température de la contrée, la direction des vents dominants, l'orientation, la forme et les relations des reliefs montagneux. Elle se trouve tantôt au-dessus, tantôt au-dessous de la couche atmosphérique dont la température moyenne est de 0°. Sous l'équateur, grâce à l'abondance de l'alimentation, les glaces éternelles commencent à la zone de 4°,5 ; dans les contrées polaires, où l'alimentation est plus difficile (il ne neige presque jamais par un froid de — 20° et au-dessous), leur limite s'élève jusqu'à la zone de — 6°,8. Il y a d'ailleurs certaines anomalies, qui sont expliquées par la configuration et les reliefs du sol et par le degré d'humidité ou de sécheresse de l'air. La plus remarquable est offerte par l'Himalaya, où les neiges descendent à environ 1000 mètres plus bas sur le versant indien que

sur le versant tibétain. Le tableau suivant indique le niveau des neiges éternelles à toutes les latitudes dans les deux hémisphères. On peut remarquer que ce niveau s'abaisse beaucoup dans les contrées maritimes, où l'air est toujours plus humide et l'alimentation plus facile. Les chiffres ne sont d'ailleurs qu'approximatifs.

	Latitude.	Altitude.						
Norvège (littoral).....	71° 20' N.	— 720 m.						
— (intérieur).....	70°	— 4072						
— ( id. ).....	67°	— 4266						
Islande.....	65°	— 936						
Oural septentrional.....	59° 40'	— 4460						
Altaï.....	49°—54°	— 2144						
Caucase.....	43° 21'	— 3372						
Alpes.....	45°—46°	— 2708						
Pyrénées.....	42°—43°	— 2728						
Etna.....	37° 30'	— 2905						
Himalaya (versant nord).....	30°—34°	— 5067						
— (versant sud).....	»	— 3956						
Kara-Koroum.....	»	— 5920 (M. Grad.)						
Mexique.....	19°,	— 4500						
Abyssinie.....	13° 10'	— 4287						
Pérou (Tolima).....	4° 46'	— 4670						
Équateur (Quito).....	0°,	— 4824						
Andes de Quito.....	1° 30' S.	— 4814						
Chili	{ Andes orientales } { id. occidentales } { id. du littoral..... }	{ 14°—18° } { — } { 41°—44° }	{ — } { — } { — }	{ 4353 } { 5546 } { 1832 }				
Détroit de Magellan.....	53°—54°	— 1130						

Au niveau de l'Océan, les neiges perpétuelles commencent, dans l'hémisphère nord, à partir du 78° degré de latitude, et dans l'hémisphère sud, à partir du 70° degré environ. Leur limite inférieure est, en moyenne, à 4800 mètres sous l'équateur, à 4600 mètres au 20° degré de latitude nord, à 2550 mètres au 45° degré et à 1500 mètres au 65° degré.

**Effets de la latitude.** — La chaleur augmente en sens inverse de la *latitude*, c'est-à-dire qu'elle s'accroît à mesure qu'on marche vers l'équateur et qu'elle diminue à mesure qu'on s'en éloigne. Cela tient à la direction des rayons du soleil, qui tombent verticalement sur la zone torride, et d'autant plus obliquement sur les autres zones, qu'on se rapproche davantage des pôles, où ils rasant le sol. Il en résulte que, sur une surface donnée, ils arrivent en plus grand nombre, si l'on peut s'exprimer ainsi, dans la zone torride que dans les autres. Mais il y a beaucoup d'irrégularité; aussi le chiffre

de 0,65 donné par M. Schübler pour exprimer la diminution de la température pour 1 degré de latitude ne représente-t-il qu'une moyenne, souvent inexacte. Les causes d'exception sont fort nombreuses ; elles peuvent agir isolément ou plusieurs à la fois suivant les lieux et les circonstances. Voici les principales.

**Causes d'exceptions.** — 1. *Situation du lieu considéré dans l'un ou l'autre hémisphère.* — A pareille latitude l'hémisphère sud est moins chaud que l'hémisphère nord d'une quantité variable, mais qui dépasse plusieurs degrés dans les zones froides. On attribue, en grande partie, ce phénomène à la prédominance des mers dans l'hémisphère austral.

2. *Situation relativement aux mers.* — Les eaux s'échauffent à un moindre degré et plus lentement que les terres, mais elles conservent plus longtemps leur chaleur, et la transmettent à l'air ; en outre l'humidité et les vapeurs, plus fréquentes à leur surface et dans leur voisinage, mettent obstacle au rayonnement. Il en résulte que les îles et les rivages ont un climat plus doux que l'intérieur des continents, et des saisons moins contrastantes. Dans les basses latitudes, la proximité de la mer abaisse la température moyenne ; elle l'élève au contraire dans les zones froides. C'est ainsi que les Feroë, situées sous le 62° parallèle nord, ont une température moyenne supérieure à celle de Casan, de Tambof, de Québec, qui se trouvent beaucoup plus au sud.

3. *Courants marins.* — Ils échauffent et refroidissent les climats selon qu'ils charrient de l'eau chaude ou de l'eau froide. J'ai parlé des effets du Gulf-Stream, qui élève la température de l'Europe occidentale ; au contraire le grand courant polaire austral, dont une des branches longe les côtes du Chili et du Pérou, abaisse la température de ces contrées, et son influence se fait sentir jusqu'aux îles Galapagos, situées sous la Ligne.

4. *Vents dominants.* — Les vents de mer sont plus humides que les vents de terre, et généralement plus frais dans les zones équatoriales et plus chauds dans les zones froides, au moins en hiver. Ils contribuent à rendre les saisons moins inégales. C'est, en partie, à la prédominance des vents de mer que les pays situés à l'ouest de l'Europe et de l'Amérique doivent la douceur de leur climat ; c'est à la prédominance des vents de terre qu'il faut attribuer la rigueur de celui de la Russie et du centre de l'Asie.

5. *Longitude.* — Par elle-même elle ne peut agir, mais une partie des causes énumérées ci-dessus combinent leurs influences de telle

manière qu'à pareille latitude la température moyenne de l'année est plus basse le long d'un méridien situé en Amérique ou en Océanie que le long d'un méridien qui traverse l'Europe et l'Afrique.

6. *Situation par rapport à de grands reliefs.* — Les neiges éternelles des hautes montagnes contribuent à refroidir les contrées ambiantes, mais leur influence ne paraît pas s'étendre bien loin ; les plateaux élevés produisent des effets analogues.

7. *Altitude.* — Nous avons vu de quelle manière elle agit.

8. *Exposition.* — Dans l'hémisphère boréal, les pentes tournées au nord sont plus froides que les pentes inclinées au sud, et, en général, les vallées ouvertes à l'ouest ont une température plus douce que celles qui regardent à l'est. La différence est grande entre les deux versants de l'Himalaya, du Caucase, des Alpes, des Pyrénées, en un mot, de toutes les chaînes qui courent de l'ouest à l'est ; elle est moins sensible, mais existe cependant entre les pentes occidentales et orientales des Vosges, du Jura méridional et des autres chaînes dirigées du nord au sud. Les contrées basses et les plaines voisines se ressentent également de l'abri des montagnes. Ainsi les côtes de la Provence et la Rivière de Gènes, protégées par les ramifications des Alpes maritimes, ont une température moyenne de 14 à 16°, et sont couvertes d'oliviers, de nopals, et même de dattiers, d'orangers et de caroubiers, tandis que les plaines de la Gascogne, situées à 1 degré plus au sud, mais défendues par les Pyrénées des influences du midi, n'ont qu'une température moyenne de 12 à 13 degrés et nourrissent une végétation qui se distingue à peine de celle de l'ouest de la France.

9. *Nature du sol.* — Les pays granitiques, ceux où dominent les schistes cristallins, les grès et les ardoises sont mieux arrosés, plus humides et plus froids que les pays calcaires. Le sol de ces derniers s'échauffe davantage et réagit sur la couche d'air en contact, ce qui augmente la température générale. Dans le plateau central de la France, à la latitude moyenne de 45°, on ne peut pas cultiver la vigne sur le granit, tandis qu'elle recouvre, même à des altitudes supérieures, tous les côteaux calcaires entourant ce grand massif, et qu'elle prospère sur les bords du Rhin jusqu'au 51° degré de latitude.

**Lignes isothermes, lignes isothères, lignes isochimènes.** — Puisque la chaleur n'est pas rigoureusement proportionnelle à la latitude, tous les lieux situés sous un même parallèle n'ont pas une

température moyenne égale. Si donc on réunit par une même ligne, dans chaque hémisphère, les lieux dont la température moyenne est identique, cette ligne décrit une courbe irrégulière qui passe tantôt au nord, tantôt au sud d'un cercle parallèle. De

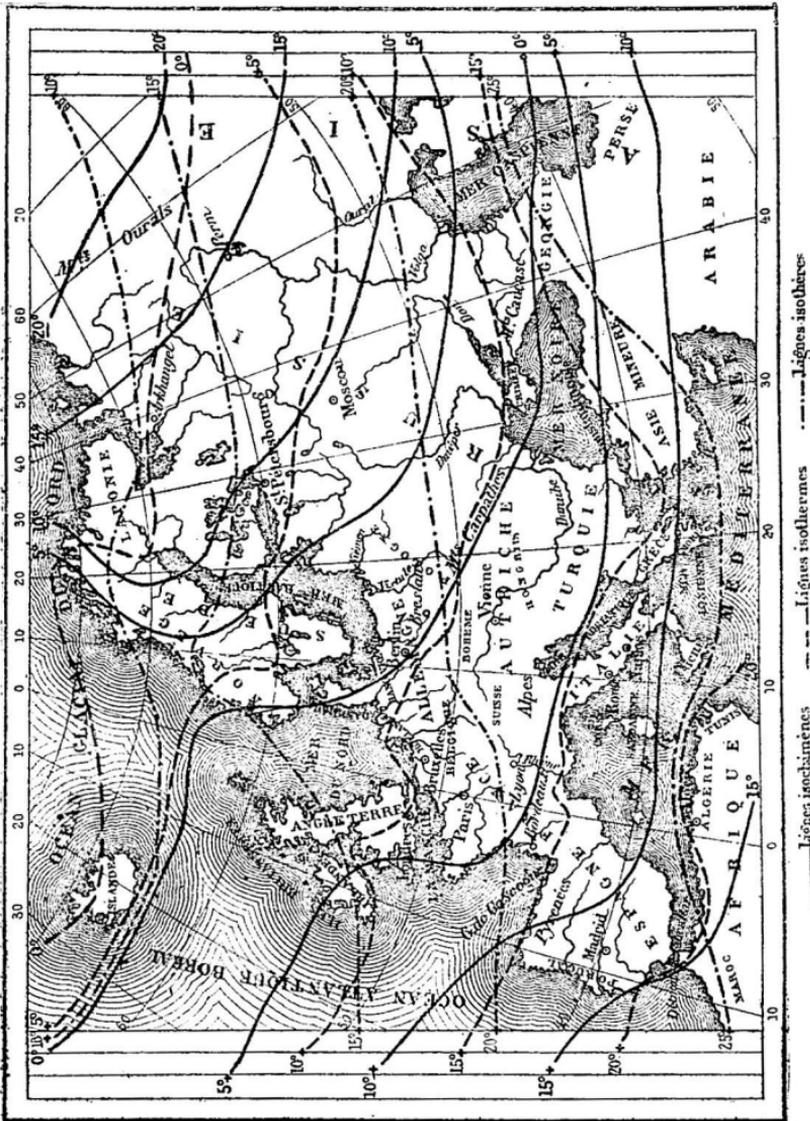


Fig. 24. — Lignes isothermes, isothères et isochimènes en Europe.

pareilles courbes, tracées sur une sphère, font saisir d'un coup d'œil la répartition des températures sur tout le globe. Elles ont été imaginées par de Humboldt, qui leur a donné le nom de *lignes isothermes* (fig. 24). On appelle *lignes isothères* celles qui passent par les lieux de même température moyenne pour la saison d'été, et *lignes isochimènes* celles qui marquent une même température d'h-

ver. En Europe, les isothermes sont fortement infléchies, du côté du nord, sous le méridien de Paris, ce qui veut dire que, dans cette direction, la température moyenne est plus élevée que partout ailleurs à pareille latitude. Dans la même partie du monde, les isothermes et les isochimènes coupent obliquement les méridiens, les premières se dirigeant au sud-ouest au nord-est, et les secondes du nord-ouest au sud-est; ce qui signifie qu'à pareille latitude les étés sont d'autant plus chauds et les hivers d'autant plus rigoureux, en Europe, qu'on va plus à l'est.

**Équateur thermal; pôles du froid.** — Si l'on joint par une même ligne tous les lieux du globe dont la température moyenne est la plus élevée, on obtient une courbe flexueuse appelée *équateur thermal*, qui passe au nord de l'équateur géographique quand elle traverse les continents, et se maintient généralement au sud quand elle traverse les grandes mers. Berghaus, à qui l'on doit cette notion, a trouvé par le calcul que, dans l'hémisphère boréal, il y a deux points dont la température moyenne est au-dessous de celle des régions voisines. Ce sont les *pôles du froid*. L'un est situé au nord de l'Amérique, par  $77^{\circ} 30'$  de latitude et  $38^{\circ}$  de longitude ouest, il a une température moyenne de  $-49^{\circ}, 7$ ; l'autre existe par  $78^{\circ} 30'$  de latitude et  $128^{\circ} 30'$  de longitude est, la température moyenne y est de  $-17^{\circ}, 2$ . Placé entre les deux, le pôle géographique est un peu moins froid. Ce sont là, on le comprend, des données assez incertaines; d'autant plus que la Sibérie ayant une température plus basse, aux latitudes élevées, que le Nord de l'Amérique, il semble naturel de placer le pôle le plus froid au nord de l'ancien continent.

**Températures extrêmes.** — La *plus grande chaleur absolue* de l'air, prise à l'ombre et dans les conditions ordinaires, a été observée par Lyon et Ritchie dans l'oasis de Mourzouc; elle s'élevait à  $56^{\circ}$ . M. d'Abbadie a vu  $54^{\circ}$  à Massoua, près de la mer Rouge. Le *plus grand froid* a été relevé le 25 janvier 1829 à Iakoutsk, en Sibérie, par Katakazin et Néviérof, avec un thermomètre vérifié par Erman; il était de  $-60^{\circ}$ . Mais comme les indications du thermomètre à alcool restent au-dessous de celles du thermomètre à mercure, on peut admettre qu'il se produit des froids encore plus grands. Les *températures extrêmes* ne s'observent pas aux latitudes extrêmes. Sous l'équateur, par exemple, un épais rideau de nuages et une humidité excessive entretiennent une température constante dont les plus grands écarts ne dépassent guère  $25$  et  $35$  degrés. C'est au delà de

cette zone nébuleuse protectrice que règnent les plus fortes chaleurs. Le thermomètre atteint souvent 43 et 44 degrés dans le Bengale, et il s'élève encore davantage en Arabie et dans le Sahara. Aux latitudes moyennes, on peut noter, de loin en loin, des écarts extraordinaires : tel est le maximum de 41°,2, que j'ai observé à Poitiers le 24 juillet 1870.

**Chaleur moyenne.** — Au contraire, la *chaleur moyenne* augmente suivant le tracé des isothermes, c'est-à-dire, en général, suivant la latitude. Dans la zone torride, la température moyenne oscille entre 30 et 24 degrés, selon les lieux, plus élevée dans l'ancien que dans le nouveau continent, absolument parlant, et presque toujours plus élevée dans le premier à latitude égale. Beaucoup plus variable dans les zones tempérées, elle s'y maintient à peu près entre 24 et 0 degré. Dans les zones glaciales, les différences diminuent, et les moyennes sont ordinairement renfermées entre 0 et — 18 degrés.

**Variation horaire de la température.** — J'ai dit que sous toutes les latitudes et à tous les niveaux la température change suivant l'heure et la saison. La cause de la *variation horaire* de la température réside, comme on le sait, dans le mouvement de rotation de la terre, qui fait alterner les jours et les nuits. Il semblerait donc que le moment le plus chaud de la journée dût être celui du passage du soleil au méridien, c'est-à-dire l'heure de midi, et le moment le plus froid, l'heure de minuit. Mais la température de l'air est une sorte de résultante entre l'échauffement direct par la chaleur solaire et le refroidissement provenant de la déperdition de cette même chaleur par le rayonnement. Or, l'acquisition l'emporte sur la perte longtemps après le passage au méridien, et cette dernière prédomine, pendant la nuit, tant que le soleil n'est pas rapproché de l'horizon. Il en résulte que le maximum du jour arrive vers deux heures après midi, un peu plus tôt en hiver, un peu plus tard en été, et que le minimum s'observe en toute saison, quelques instants avant le lever du soleil. Par les causes déjà indiquées, ce n'est pas dans les régions équatoriales qu'il faut chercher la plus grande différence entre le maximum du jour et le minimum du matin, mais dans les contrées juxta-tropicales. Elle peut aller jusqu'à 40 degrés et plus dans l'Inde et le Sahara. Il est évident qu'aux époques anciennes de l'histoire de la terre, alors que la chaleur se trouvait plus uniformément répartie, et en même temps plus considérable, cette différence était infiniment moins sensible. Encore

aujourd'hui, elle ne dépasse pas 5 à 6 degrés dans certains pays intertropicaux.

**Variation de la température suivant les saisons.** — Si l'axe du globe n'était pas incliné sur le plan de l'écliptique, la chaleur décroîtrait uniformément de l'équateur aux pôles ; les jours seraient égaux aux nuits sur toute la terre ; les saisons n'existeraient pas, et la température serait constante ; enfin les lieux situés sous un même parallèle auraient le même climat. Un été perpétuel serait le partage des basses latitudes ; le printemps ou l'automne régnerait dans les zones moyennes, et la triste saison de l'hiver serait reléguée dans le voisinage des poles. Tel est, sans doute, l'état des choses dans la planète Jupiter, dont l'axe s'incline de 3 degrés au plus sur la verticale. Mais, dans notre globe, cette inclinaison dépassant 23 degrés, il arrive que, dans son mouvement de translation, la terre reçoit verticalement les rayons du soleil dans tout l'espace compris entre les deux tropiques. En d'autres termes, dans le cours d'une année, le soleil paraît se déplacer graduellement tantôt au nord, tantôt au sud de l'équateur, jusqu'à la distance d'environ 23 degrés et demi de ce grand cercle. A l'équateur, il chauffe également les deux hémisphères : c'est le moment des *équinoxes*. Quand il chemine vers le tropique du Cancer, il chauffe de plus en plus l'hémisphère nord, au détriment de l'hémisphère sud, dont il s'éloigne, et le contraire arrive quand il retourne vers le tropique du Capricorne. L'époque des *solstices* marque le terme de ces excursions au nord et au sud ; alors les jours et les nuits ont la plus grande inégalité possible sur tout le globe : l'hémisphère où se trouve le soleil entre dans sa saison d'été, et l'hémisphère opposé dans sa saison d'hiver. On pourrait donc penser que les solstices coïncident à la fois avec le moment de la plus grande chaleur dans un hémisphère et avec celui du plus grand froid dans l'autre. Il n'en est rien. Des causes semblables à celles qui président à la répartition de la chaleur diurne exercent leur influence sur la marche de la température moyenne annuelle. L'équilibre entre l'acquisition et la perte ne s'établit qu'environ un mois après les solstices, de sorte que les plus grandes chaleurs arrivent, dans l'hémisphère nord, vers la fin de juillet, et les plus grands froids, dans la dernière moitié de janvier.

**Marche des saisons ; climats divers.** — La *marche des saisons* est, en général, fort irrégulière, surtout aux latitudes moyennes. Une année ressemble encore moins à une autre, qu'une journée à celle de la veille ou du lendemain. Telles sont, en effet, la multi-

plicité et l'extrême variété des causes de perturbation, qu'on n'a pu saisir aucune loi régissant la marche des températures annuelles, et qu'on n'ose guère espérer d'obtenir un meilleur résultat dans l'avenir. Tous les systèmes imaginés pour prédire le temps à l'avance sont empiriques, et reposent sur des illusions, ou bien n'envisagent qu'un nombre infiniment insuffisant des mille aspects de la question; aussi les prophéties, fort nombreuses à notre époque, ont-elles été marquées par autant d'insuccès. La réussite dans la prédiction du temps serait le dernier mot de la météorologie. Heureusement ou malheureusement, nous n'en sommes point encore là. Fort en retard sur les autres branches de la physique, en raison même de la difficulté de son programme, la météorologie cherche encore la voie qui doit la conduire à son but.

Sous l'équateur, le degré d'abondance des pluies indique seul une différence entre les saisons, et, dans certains lieux, la température moyenne diffère à peine d'un degré d'une saison à l'autre. Les différences deviennent plus sensibles au delà des tropiques, et paraissent atteindre leur maximum dans les zones froides, sans toutefois augmenter uniformément avec la latitude. Le contraste a lieu surtout entre l'été et l'hiver; on l'évalue au moyen d'un chiffre qui exprime la *différence hyberno-estivale*. Plus ce chiffre est élevé, plus le climat devient *excessif*. Au contraire, les *climats uniformes* ou *constants* ont une différence hyberno-estivale peu sensible, et les *climats variables* tiennent le milieu entre les deux extrêmes. Quoique dépendant surtout de la latitude, la différence entre les saisons est soumise à toutes les causes qui peuvent modifier la marche de ces dernières. A toutes les latitudes, le climat des îles est uniforme, et celui de l'intérieur des continents excessif. On a désigné le premier sous le nom de *climat insulaire* ou *marin*, synonyme de climat uniforme, et le second, sous le nom de *climat continental*, synonyme de climat excessif. A pareille latitude, dans l'hémisphère boréal, plus on s'avance vers l'est, plus la différence entre les saisons devient considérable. Sous le 40° parallèle ou à peu près, elle est de 10°,4 à Lisbonne, de 14° à Naples, de 18°, 2 à Constantinople, de 33°,2 à Pékin. Le climat de New-York, où la différence hyberno-estivale s'élève à 30°,8, est également un climat excessif relativement à celui de San-Francisco, où elle ne dépasse guère 10 degrés. Comme climat variable on peut citer celui de Paris, où la différence monte à 18°, 01, et comme climat constant ou marin,

celui des Shetland et des Feroë, où cette différence descend à 7°, 9 et à 7°, 7, et celui des îles Madère, où elle tombe à 4°, 8.

**Sources de la chaleur de l'air.** — Les sources de la chaleur de l'air sont le soleil, les astres les plus rapprochés et la température propre du globe terrestre. On a vu que, pour ne pas être absolument inappréciable, la chaleur qui nous vient de la lune et des étoiles doit compter comme infiniment petite. Avant d'entrer dans de plus amples détails, j'ajouterai que, d'après Fourier, la chaleur propre du globe élève au plus de  $\frac{1}{30}$  de degré celle de l'air.

Cette dernière a-t-elle varié? Évidemment elle n'a pu que diminuer depuis les premiers âges de la planète. Autant qu'il est permis de prévoir l'avenir, on peut annoncer un moment où les mers auront disparu, avec l'atmosphère, dans les profondeurs du globe. En supposant même qu'à cette époque lointaine le soleil n'ait rien perdu de sa chaleur, la Terre, arrivée à l'état de Lune, prendra peu à peu la température de l'Espace. Par conséquent l'atmosphère se refroidira graduellement, en même temps que diminuera son volume par suite de l'absorption terrestre. Qu'il me suffise, en ce moment, d'émettre cette assertion, et que le lecteur veuille bien suspendre son jugement en attendant les preuves. A quelle époque s'accompliront ces choses extraordinaires? Telle est la lenteur avec laquelle se succèdent les phénomènes géologiques, qu'il y a lieu de nous rassurer sur les effets excessivement lointains de la sinistre prédiction, et de faire partager notre sécurité à nos arrière-neveux. Depuis les temps historiques les plus reculés, rien ne prouve, en effet, que la température moyenne ait varié. Toutes les contrées du globe ont aujourd'hui le même climat qu'autrefois, nourrissent les mêmes animaux et les mêmes plantes. De son côté, l'astronomie fournit la preuve de la stabilité actuelle des températures. Les assertions contraires ont été victorieusement réfutées, notamment celle qui consiste à dire que le retrait vers le sud de la culture de la vigne et de l'olivier prouve un refroidissement de la France et de l'Europe centrale. Les déboisements, l'extension des cultures, le dessèchement des marais, en un mot toute transformation d'une partie un peu étendue de la surface du globe influe peut-être sur la marche des saisons dans les lieux où s'est opéré le changement, mais n'en modifie point la température moyenne, et, à plus forte raison, ne peut exercer le moindre effet sur la température générale de l'atmosphère.

## CHAPITRE III

## MERS

**Mers.** — Abordons maintenant l'étude de la deuxième des quatre parties concentriques dont est formé notre globe, ou, en d'autres termes, l'étude des *mers*. Autrefois continue et d'une épaisseur à peu près uniforme, cette enveloppe liquide a été peu à peu rejetée en certains lieux par suite de l'émergence graduelle des terres fermes, qu'elle entoure cependant complètement, et qu'elle dépasse de beaucoup en étendue.

**ÉTENDUE, VOLUME.** — A l'origine du globe, toutes les mers, en vapeur, faisaient partie de l'atmosphère, nous l'avons déjà dit. Il arriva un moment où la planète devint assez froide pour qu'elles pussent s'établir à sa surface à l'état liquide. D'une profondeur sensiblement uniforme, le premier océan recouvrait toute la terre. Mais le refroidissement de la planète eut pour résultat une contraction lente et générale, qui produisit, dans la couche solide extérieure, des dislocations et des dénivellements aussitôt occupés par les mers. La profondeur de celles-ci varia désormais, et bientôt des pointes rocheuses et des îles surgirent dans l'immensité des eaux. Les progrès du refroidissement aidant, les premières terres fermes apparurent. Un peu plus tard, les mers occupèrent des bassins particuliers. Sans parler des tremblements de terre et des mouvements du sol qui ont élevé les montagnes, je dirai encore que par suite d'oscillations incessantes qui exhaussent ou dépriment lentement certaines parties de la surface terrestre, et qui continuent de nos jours, les mers ont été sans cesse déplacées et se déplacent constamment. Depuis les temps les plus anciens, leur surface diminue au bénéfice de celle des terres fermes, mais leur profondeur augmente d'une quantité proportionnelle. Tels sont les faits bien établis par les géologues, qui sont parvenus à tracer, avec une précision suffisante, les contours des mers et des continents à toutes les époques de l'histoire du globe. L'état actuel ne peut donc être considéré comme permanent.

**Étendue actuelle des mers.** — La mer recouvre à peu près les 276/100 de la surface du globe. En adoptant la fraction 4/302,78 pour représenter l'aplatissement polaire, M. Élie de Beaumont évalue

à 370 839 150 kilomètres carrés la *superficie des mers*; si l'on adopte  $1/305$ , cette étendue devient 374 256 300 kilomètres carrés. De Humboldt donne le tableau suivant de l'étendue comparée des terres et des mers.

	Terres.	Mer .
Hémisphère nord .....	0.40	— 0.60
— sud.....	0.12	— 0.88
— est ou de l'ancien continent.....	0.36	— 0.64
— ouest ou du nouveau continent.	0.17	— 0.83

D'après M. Rigaud, la surface des terres fermes étant 160, celle des mers est représentée par les chiffres ci-dessous :

Dans la zone glaciale septentrionale.....	139
— tempérée septentrionale....	105
— torride (moitié nord).....	279
— id. (moitié sud).....	332
— tempérée méridionale.....	1049
— glaciale méridionale.....	?
Sur le globe entier.....	276

Les mers sont principalement groupées dans l'hémisphère austral. Paris occupe à peu près le point du globe le plus entouré par les terres, et son antipode, le point central des grandes mers. Si l'on réunit ces deux points par un diamètre, le grand cercle perpendiculaire divise le globe en deux hémisphères, l'un terrestre et l'autre marin (fig. 25).

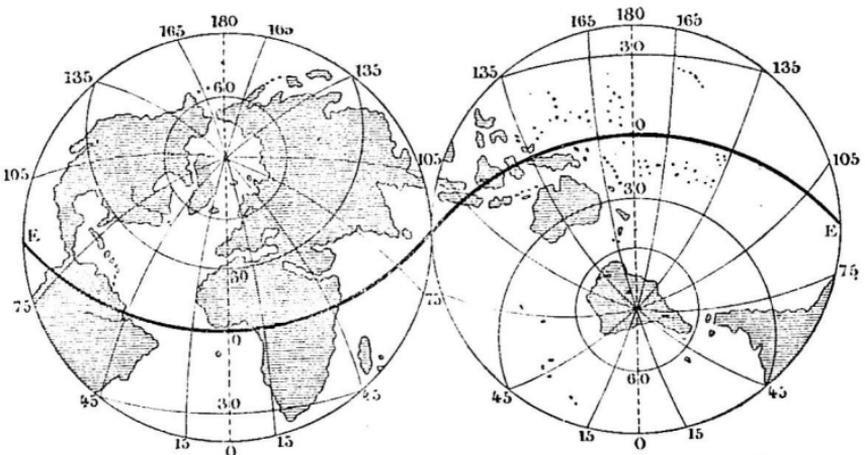


Fig. 25. — Hémisphère terrestre et hémisphère marin.

**Volume des mers.** — On estime généralement le *volume* des océans au millième, ou, plus exactement, au 0,0017843 de celui de la planète. Cordier pensait que les eaux marines uniformément ré-

pandues à la surface terrestre formeraient une couche de 2000 mètres d'épaisseur. On admet aussi que la masse solide constitue les 99 9958 et la masse liquide les 0,0042 de celle du globe. De son côté, M. Boccardo évalue le volume des mers à la 4800<sup>e</sup> partie de celui du sphéroïde. Leur *poids* est le 1/24 000 de celui de la planète, et dépasse 350 fois celui de l'atmosphère; d'après W. Herschel, il se monte à 3 270 000 de milliards de tonnes. Je n'ai pas besoin d'avertir que ces chiffres ne sont donnés que sous toutes réserves, car il est plus difficile de cuber les mers que l'atmosphère, la profondeur des océans étant mal connue, ainsi que leurs limites polaires.

**Le volume des eaux terrestres extérieures diminue.** —

A aucune époque la *quantité* absolue des eaux terrestres n'a pu varier; cependant leur volume, au moins celui des eaux extérieures, diminue continuellement. Quel que soit l'état physique des parties centrales du globe, il est parfaitement hors de doute qu'à une certaine profondeur il a toujours existé et il existe encore une couche de matières minérales à l'état de fusion ignée. Par suite des progrès du refroidissement de la planète, l'écorce solide extérieure gagne donc en épaisseur aux dépens de cette masse fondue. Il en résulte que les eaux superficielles s'infiltreront de plus en plus dans les profondeurs du globe, où elles pénétreront par les mille fissures que leur offre la couche extérieure consolidée, et où elles progressent à mesure qu'augmente l'épaisseur de cette couche. C'est là une cause énergique d'absorption, à laquelle il faut ajouter l'imbibition des roches nouvellement refroidies et solidifiées, et les combinaisons chimiques de l'eau avec certains éléments de ces mêmes roches. En admettant, pour l'océan primitif, une profondeur uniforme de 2500 mètres et en supposant que l'écorce terrestre puisse absorber le cinquantième de son volume d'eau liquide, M. Vézian pense que le niveau des mers a diminué de 200 mètres par cette seule cause, et que toute l'eau des océans aura disparu dans les profondeurs du globe quand son écorce solide atteindra une épaisseur de 125 kilomètres ou 1/50 du rayon terrestre environ. On peut contester les chiffres, mais non leurs conséquences.

**Niveau des mers variable.** — Le *niveau* des mers a donc aussi varié. Il tend à s'abaisser, quoique la contraction de l'écorce solide ait pour effet de le relever quelque peu. M. Vézian évalue à 3 mètres cet exhaussement; mais il porte à 96 mètres l'abaissement causé par l'émergence des continents, et cette quantité, ajoutée aux 200 mètres

provenant de l'absorption terrestre, conduit au résultat final de 293 mètres. Ce niveau, d'ailleurs, n'est pas absolument uniforme. La mer tend à s'exhausser dans le voisinage des côtes, des îles et des hauts fonds, surtout quand le sol est composé de roches d'une grande densité, telles que laves et basaltes. D'un autre côté, les mers intérieures sont tantôt plus élevées, tantôt plus basses que les océans avec lesquels elles communiquent. Par exemple, les eaux de la Baltique se déversent dans la mer du Nord, et celles de la mer Noire dans la Méditerranée, qui reçoit, au contraire, les eaux de l'Océan atlantique, et se trouve ainsi à un niveau inférieur. Ces différences, toujours très-minimes, proviennent de ce que la mer Baltique acquiert plus d'eau par les rivières, les pluies et les contre-courants qu'elle n'en perd par l'évaporation, et que le contraire a lieu pour la Méditerranée. A ces faibles différences près et abstraction faite des irrégularités de la courbure terrestre, les mers sont partout de même niveau. A la suite de mesures inexactes on a cru longtemps que la Méditerranée se trouvait à une dizaine de mètres en contre-bas de la mer Rouge, mais le percement récent de l'isthme de Suez a prouvé le contraire. Il en est sans doute de même relativement à l'Océan Atlantique et au Grand Océan, entre lesquels on avait signalé une différence de niveau d'un mètre environ.

**PROFONDEUR.** — A part les mers intérieures, le voisinage immédiat des côtes et un nombre assez limité de points dans les parages les plus fréquentés, nous ne savons rien de la profondeur des mers. Comme il arrive souvent en pareille matière, les vues synthétiques et les hypothèses ont précédé l'observation. En général, les anciens étaient portés à admettre pour les mers une profondeur égale au relief des terres fermes. Telle est encore l'opinion de Laplace, qui pense cependant que les mers peuvent offrir des profondeurs exceptionnelles, de même que certaines montagnes s'élèvent au-dessus des autres. Il conclut de ses calculs que la profondeur des océans ne peut constituer qu'une petite fraction de l'aplatissement terrestre, et qu'elle demeure, par conséquent, beaucoup au-dessous de 21 000 mètres. Au contraire, Humboldt suppose que la profondeur moyenne dépasse au moins cinq ou six fois la hauteur des continents, et qu'elle est à peu près de 3500 mètres. Thomas Young et d'Anbuisson admettent 4800 mètres : le premier déduit ce chiffre de la théorie des marées. Pour M. Dana, la profondeur moyenne des mers oscille entre 4500 et 6000 mètres. On sait que Buffon donnait 230 toises ou 449 mètres. Toutes ces vues, en grande partie hypo-

thétiques, ne pouvant être ni complètement démenties ni acceptées sans réserve, je me hâte d'arriver à quelque chose de plus précis. Voici les résultats de mesures directes.

Les méditerranées, les détroits et, en général, les petites mers, sont moins profonds que les océans. Entre Mémel et l'île d'Oland, le fond de la Baltique se rencontre partout à 100 mètres au plus; il ne dépasse nulle part 240 mètres. Entre Toulon et Philippeville, la Méditerranée atteint 2600 mètres. Cette mer se divise d'ailleurs en deux bassins, l'un occidental, l'autre oriental. Le premier a une profondeur maximum de 3200 mètres, entre l'Afrique et la Sicile, et le second de 4600 mètres, entre l'archipel de Malte et l'île de Crète. Le golfe du Mexique atteint à peine 1500 mètres. Les plus grandes dépressions de l'océan Atlantique, entre l'Europe et les États-Unis, ont été trouvées près du banc de Terre-Neuve; elles sont de plus de 8000 mètres, c'est-à-dire presque le double de la hauteur du mont Rose. Dans la partie australe du même océan, entre Rio-Janeiro et le cap de Bonne-Espérance, M. Denham a fait descendre la sonde à 14 020 mètres, et M. Parker, à 15 239 mètres. Une profondeur de plus de 14 000 mètres a été atteinte par M. Ringgold dans le Grand Océan. C'est presque le double de la hauteur de l'Himalaya, et presque le triple de celle du mont Blanc. Mais les résultats de pareils sondages ne doivent être acceptés qu'avec beaucoup de défiance. Quand la sonde est immergée à quelques milliers de mètres, elle ne transmet plus la sensation du choc lorsqu'elle vient à toucher le fond, et, même dans ce cas, la ligne continue à filer avec une extrême rapidité, entraînée par son propre poids et souvent déviée par les courants: rien ne prouve donc que la distance verticale indiquée par la longueur du cordon ait été réellement mesurée. On acquiert, au contraire, cette certitude quand on peut s'assurer que la sonde n'a pas touché le fond; de sorte que les opérations à résultat négatif sont, en réalité, les plus précises. Or, en plusieurs circonstances, des sondes ont été descendues au-dessous de 10 000 et même de 11 000 mètres sans rencontrer le sol. Ce n'est pas à dire, pour cela, que les océans ne renferment pas des abîmes beaucoup plus vastes. On ne connaît donc que bien imparfaitement le fond des mers; cependant les sondages pratiqués sur le trajet des câbles sous-marins, notamment entre l'Irlande et Terre-Neuve, ont prouvé que le fond, au moins dans cette partie de l'océan Atlantique, est infiniment plus uni qu'une pareille surface prise sur les continents.

**COMPOSITION DES EAUX.** — Les mers sont formées d'eau qui tient en dissolution des sels, des gaz, et en suspension des matières organiques et quelquefois des vases et de fins sédiments connus sous le nom de *troubles*. Voici le résultat de deux analyses. La première est extraite du *Cours de chimie* de M. Regnault ; la seconde, de la *Fisica del globo* de M. Boccardo.

Eau . . . . .	96.470	—	96.20
Chlorure de sodium . . . . .	2.700	—	2.71
— de magnésium . . . . .	0.360	—	0.54
Sulfate de magnésie . . . . .	0.230	—	0.12
— de chaux . . . . .	0.140	—	0.80
Chlorure de potassium . . . . .	0.070	—	0.40
Carbonate de chaux . . . . .	0.003	—	0.10
Bromure de magnésium . . . . .	0.002	—	0.10
Résidu non déterminé . . . . .	»	—	2.30

Les mers renferment, en outre, des traces de chlorure de calcium, de fer et d'argent ; de chlorhydrate d'ammoniaque ; d'iodure de potassium ; de sulfates de soude et de potasse ; de carbonate de fer, de silice, etc. A priori, on peut affirmer que la plupart, sinon la totalité des substances minérales, se trouvent en dissolution ou en suspension dans leurs eaux, qui lessivent incessamment les trois quarts de la surface du globe, et reçoivent, par les rivières, tout ce qui peut être dissous ou entraîné par les pluies sur les terres fermes. S'il y a une matière que nous soyons habitués à regarder comme insoluble dans les conditions ordinaires, c'est certainement le chlorure d'argent : aussi la surprise a-t-elle été grande à l'annonce que l'argent existe en quantité notable dans les mers. MM. Malaguti et Durocher ont, en effet, trouvé 4 milligramme de ce métal, à l'état de chlorure, dans un quintal métrique ou 100 kilogrammes d'eau de mer. Tout infime que paraisse cette proportion, elle ne laisse pas que d'être considérable, eu égard au volume des océans, qui renferment, d'après un calcul de M. Tuld, 2 billions de kilogrammes d'argent métallique, c'est-à-dire mille fois plus que le produit annuel de toutes les mines.

On peut voir, par les deux analyses ci-dessus, que les sels en dissolution dans les eaux marines sont les mêmes, et que leur proportion seule varie. Telle mer renferme quelques millièmes ou quelques centièmes en plus ou en moins de certaines substances, mais dans toutes domine le sel marin ou chlorure de sodium, puis le chlorure de magnésium. C'est le premier qui donne la saveur

salée, et le second, la saveur amère. Sur 1000 parties en poids, les eaux marines abandonnent par évaporation un résidu solide de 34,40 à 37,55. Uniformément étendu à la surface du globe, ce résidu la recouvrirait, suivant Cordier, d'une couche de 16<sup>m</sup>, 6 d'épaisseur. La densité de l'eau de mer croissant avec la salure, on peut évaluer celle-ci d'après le chiffre qui représente la première. Un mètre cube d'eau de mer, à 20 degrés, pèse 1027 kilogrammes, tandis que, dans les mêmes conditions, le mètre cube d'eau douce ne pèse que 998 kilogrammes. Plus élevée que celle de l'eau pure de 1/34 environ, la densité de l'eau de mer est donc de 1,02886.

**Degré de salure des mers.** — Les océans ont à peu près le même degré de salure; à peine signale-t-on un millième en moins pour le Grand Océan et la mer des Indes relativement à l'océan Atlantique. Au contraire, la différence est grande entre les océans et certaines mers intérieures. Comme exemples, on peut citer la mer Blanche, la mer Baltique, la mer Noire et la mer Jaune. L'eau de la Baltique ne renferme pas 5 millièmes de résidu; j'ai pu constater par moi-même qu'elle ne diffère pas beaucoup des eaux ordinaires de la Courlande, souvent un peu saumâtres. L'eau de la mer Noire n'a qu'une densité de 1,013 et celle de la mer d'Azof est encore plus légère. En revanche, la salure de la Méditerranée dépasse celle de l'Océan, et la salure de la mer Rouge s'élève à la forte proportion de 0,043. Ces différences, comme celles des niveaux entre les mêmes mers et l'Océan, proviennent d'une cause déjà signalée: la Baltique et la mer Noire reçoivent plus d'eau douce qu'elles ne perdent par l'évaporation, la Méditerranée et la mer Rouge en reçoivent moins. En admettant, ce qui est fort probable, que toutes ces mers ne soient que des lasses plus ou moins étendues de l'Océan primitif, les premières se dessalent de plus en plus, grâce à l'abondance des eaux douces qui s'y déversent, et les autres se concentrent par l'évaporation. Le lac Baïkal, traversé par un des plus grands fleuves du monde, nourrit des phoques, mais ne contient que de l'eau douce, ce qui indique peut-être une origine semblable à celle des mers intérieures. Eu égard à l'exiguïté relative de ses dimensions et à l'importance des cours d'eau qui s'y jettent, il a pu entièrement se dessaler. Même sort est réservé à la Baltique et à la mer Noire, si les mouvements de l'écorce du globe n'en modifient point l'état actuel.

**Variations temporaires dans la salure des mers.** — Les différences de salure dont je viens de citer des exemples sont perma-

mentes et ne varieront que dans un avenir extrêmement éloigné; celles dont il me reste à parler sont accidentelles ou temporaires, et peuvent changer en quelques jours sous l'influence de diverses circonstances. Dans la zone torride, où l'élevation de la température entretient une évaporation fort active, la salure augmente quelque peu dans les saisons sèches; elle diminue, au contraire, à la surface, à la suite des pluies diluviennes, si fréquentes dans les mêmes régions. Des effets analogues se produisent dans les mers glaciales par des causes diamétralement opposées. La congélation concentre les océans polaires, la glace ne retenant presque pas de sel, et le dégel leur restitue de grandes quantités d'eaux douces. A l'embouchure des grands fleuves, tels que l'Amazone, l'Orénoque, le Mississipi, les mers sont moins salées que plus au large, de sorte que les navires peuvent faire provision d'eau douce à une certaine distance des côtes. D'après M. Benjamin Savy, il y a, dans le milieu de l'océan Atlantique, entre le 4<sup>er</sup> et le 8<sup>e</sup> degré de latitude nord, une zone de minimum de salure et de densité. La salure augmente ensuite du côté des pôles pour arriver à son maximum, dans les deux hémisphères, à une zone comprise entre le 40<sup>e</sup> et le 60<sup>e</sup> degré de latitude, après quoi elle diminue jusqu'à une latitude inconnue à mesure qu'on se rapproche du pôle nord. Il en est probablement de même du côté du pôle sud et dans les autres mers, puisque les courants polaires, auxquels M. Savy attribue toutes ces différences, agissent partout d'une manière analogue en charriant de l'eau moins salée. Il y a cependant des réserves à faire, sinon sur l'exactitude des observations, au moins sur les conclusions. En effet, la densité et la salure des eaux polaires varient d'une saison à l'autre suivant la rigueur de la température, et il ne semble pas que les différences signalées doivent être constantes ni permanentes. On sait d'ailleurs que les eaux du grand courant du Golfe (Gulf-stream) sont plus salées que celles des parties septentrionales de l'océan Atlantique au milieu desquelles il circule.

**Troubles en suspension.** — Les eaux des mers renferment quelquefois en suspension des *troubles*, ou matières argileuses, calcaires ou sablonneuses, provenant, soit du sol des rivages, peu à peu usé et délayé par les flots, soit des rivières tributaires. Les troubles de cette dernière origine ont souvent une grande importance, et peuvent, à la longue, combler les bas-fonds et donner naissance à des deltas et à des îles dont le mode de formation nous occupera plus loin. Les troubles se remarquent donc presque exclusive-

ment le long des côtes; ils salissent la mer et en altèrent la pureté à une distance qui varie suivant l'abondance des eaux douces déversées et des matières qu'elles tiennent en suspension. En général, les surfaces de démarcation sont extrêmement nettes et tranchées entre les troubles et les eaux limpides. Rien de plus intéressant à observer que les innombrables nuances des eaux de la Méditerranée sur les côtes de la Provence après un orage qui a fait déborder les rivières. Toutes les teintes intermédiaires entre le jaune blanchâtre et l'indigo le plus foncé se trouvent réunies sur un espace de quelques kilomètres carrés, passant de l'une à l'autre, se confondant ou bien contrastant vivement entre elles suivant les lieux et les circonstances.

**Animalcules microscopiques et matière organique.** — Des myriades d'*animalcules* microscopiques, appartenant surtout aux divisions des sarcodaires et des crustacés, pullulent dans toutes les mers, à toutes les latitudes, et s'entretiennent aux dépens de la *matière organique* qui abonde dans les océans, dont elle n'altère pas la limpidité, matière que M. Frankland a reconnue dans des eaux puisées à une profondeur de plus de 1300 mètres. Ces infiniment petits jouent parfois un rôle fort important dans la constitution des roches terrestres; c'est à eux qu'on doit la coloration particulière de certaines mers, ce sont eux qui en produisent la *phosphorescence*. Qu'il me soit permis, à ce propos, de faire observer qu'on ne connaît aucun écrit de l'antiquité où il soit question de la phosphorescence de la mer. Faut-il en conclure, avec les hétérogénistes, que les animalcules, cause essentielle de ce phénomène, n'existaient pas encore sur le globe? Il me semble qu'un pareil argument laisse énormément à désirer.

**Gaz en dissolution.** — Enfin, les eaux marines tiennent en dissolution les gaz de l'atmosphère, savoir l'oxygène, l'azote et l'acide carbonique, mais dans des proportions différentes. On a longtemps admis qu'à la surface, l'oxygène forme les 32 centièmes, et l'azote, les 68 centièmes de l'air qu'on retire de l'eau de mer par ébullition. Cela peut être vrai dans certains lieux et dans certaines circonstances, car on remarque de grandes variations dans la teneur des eaux salées en gaz atmosphériques. Cependant des échantillons recueillis à diverses profondeurs dans la partie nord-est de l'océan Atlantique, pendant la campagne du *Porc-Épic*, en 1869, ont donné :

	Oygène.		Azote.		Acide carbonique.
A la surface.....	25.1	—	54.2	—	20.7
A 1365 mètres.....	48.8	—	49.3	—	31.9
A 1456 mètres.....	47.8	—	48.5	—	33.7
A 1568 mètres.....	47.2	—	34.5	—	48.3

Les chiffres de la première ligne représentent la moyenne de trente analyses. On voit que la proportion d'acide carbonique augmente énormément avec la profondeur, au détriment surtout de celle de l'azote. En tout état de choses, il est certain que les eaux de la mer renferment des gaz jusqu'à une distance de la surface au moins égale à celle où peut exister la vie organique, c'est-à-dire jusqu'au-dessous de 5000 mètres.

**La salure de la mer n'a jamais beaucoup varié.** — Il est intéressant de rechercher les causes de la salure de la mer et d'en indiquer ou d'en prévoir, autant que possible, les variations dans le passé et dans l'avenir. Actuellement la composition des eaux de mer paraît assez constante, quoiqu'on puisse prédire une diminution graduelle du chlorure de calcium et du chlorure de magnésium, qui seront peu à peu précipités à l'état de sels insolubles par le carbonate de soude que déversent les sources minérales. Mais ce sont là des actions excessivement lentes, qui ne deviennent sensibles qu'après une très-longue suite de siècles, tant est faible, relativement à la masse de l'océan, la quantité de carbonate de soude qui peut se mêler annuellement à ses eaux. Quant aux autres sels minéraux, il n'y a point d'apparence que le rapport en ait jamais changé ou doive changer d'une manière notable, sauf peut-être le sulfate de chaux, que les exploitations industrielles mettent plus à découvert, et dont la proportion augmentera à la longue. Le chlorure de sodium nous intéresse davantage par son utilité et parce qu'il forme presque à lui seul la salure des mers. Si nous connaissions l'origine des amas de sel gemme, si importants et si fréquents dans les terrains de sédiment, et si nous étions assurés qu'ils provinssent des mers, nous n'hésiterions pas à affirmer que la salure était plus considérable autrefois. Mais rien d'aussi peu certain que l'origine marine du sel gemme. En attendant que la lumière se fasse sur cette question, qui sera traitée en son lieu avec les détails qu'elle comporte, la prudence conseille une réserve absolue. Des considérations d'un autre ordre semblent indiquer, d'ailleurs, que la salure n'a jamais été bien différente ni beaucoup plus forte dans les anciennes mers, s'il est vrai qu'elle ait varié. Les innombrables animaux marins que nourrissent les océans depuis les époques les plus reculées ont, en effet, une organisation identique avec celle des animaux de notre temps, et n'auraient pu vivre dans des conditions quelque peu dissimilaires. On a reconnu, en effet, que des différences de quelques centièmes dans la salure et la densité des eaux marines suffisent

pour anéantir les organismes délicats. Ainsi les polypiers et les coraux disparaissent le long des rivages où se déversent les plus petites rivières. La prévision de l'avenir est moins difficile. Les sources salées introduisent journellement dans la mer du chlorure de sodium, et les exploitations industrielles en augmentent de plus en plus la quantité. D'un autre côté, les roches solides ne paraissent point retenir cette substance. La salure de nos mers se concentrera donc par le tribut des sources, peut-être aussi par l'absorption graduelle de l'eau pure dans les profondeurs du globe, et, certainement par l'extension des glaces polaires, qui gagneront du terrain à mesure que diminuera l'épaisseur et la densité de l'atmosphère, destinée elle-même à disparaître peu à peu. La dernière conséquence de ces prédictions, heureusement à longue échéance, c'est que d'immenses amas de sel gemme subsisteront dans les fonds occupés en dernier lieu par les résidus des océans.

**Origine de la salure de la mer.** — Quant à l'origine de la salure de la mer, on a beaucoup discuté à cet égard sans avancer la question. On est même allé jusqu'à soutenir que les premières mers étaient salées avec du chlorure de calcium, dont la base a été peu à peu précipitée par les carbonates alcalins des sources minérales, et que le calcaire et la dolomie des terrains de sédiment proviennent ainsi de double décomposition. Nous verrons plus loin ce qu'il faut penser de cette hypothèse, que nous pouvons regarder provisoirement comme inadmissible. Très-vraisemblablement la salure des mers est le résultat de l'action première des eaux liquides sur la surface consolidée de la planète.

**Lacs salés.** — A ce sujet se rattachent les problèmes relatifs à certains *lacs salés* sans issue, et sans aucune communication avec les mers. Les uns, comme la mer Caspienne, la mer d'Aral, sont simplement salés à la manière des océans, dont ils diffèrent plutôt par la proportion que par la composition de la salure. On pourrait donc les considérer comme provenant des anciennes mers, si cette hypothèse n'était infirmée par diverses circonstances. Dans la Caspienne et le lac d'Aral, par exemple, la proportion des sels s'élève à peine à 1/1000; et quoique le premier de ces amas d'eau nourrisse des phoques, au dire de Humboldt, on ne pourrait le rattacher aux anciens océans qu'en imaginant, avec les mers voisines, des communications souterraines qui auraient permis aux eaux de se dessaler peu à peu à la manière de celles de la Baltique ou de la mer Noire. Mais l'énoncé d'une pareille hypothèse en est la réfutation. Quant

aux lacs salés de l'Arménie, leur altitude considérable, qui dépasse 1600 mètres, et leur situation au milieu de montagnes élevées, et dans le voisinage d'amas de sel gemme (au moins pour le lac d'Ourmiah) éloignent l'idée de les faire provenir d'anciennes mers, car on comprend difficilement que la portion des eaux marines séquestrée dans les bassins de ces lacs ait pu être portée à une pareille hauteur par des mouvements orographiques multipliés, et certainement très-violents, sans se déverser. Cependant la chose n'étant pas absolument impossible, on n'ose affirmer, comme on peut presque le faire pour la mer Caspienne, que la salure de leurs eaux provienne uniquement des amas ou inflorescences de sels occupant les dépressions où elles se sont déversées.

La mer Morte et le grand lac salé de l'Utah, situé à l'ouest des États-Unis, se présentent dans des conditions bien différentes. En effet, leur salure est excessive, les résidus solides obtenus par l'évaporation se montant à 22,77 pour 100 pour le premier, et à 22,4 pour le second de ces lacs ; la composition de leurs eaux diffère en outre sensiblement de celle des mers. Le poids spécifique de l'eau de la mer Morte est de 1,24. Dans le lac de l'Utah, il y a 0,20 de chlorure de sodium, 0,02 de sulfate de soude, et, suivant M. Gall, ces sels se trouvent associés à du chlorure de magnésium et à du chlorure de calcium.

Voici, d'après M. Boussingault, quelle est la composition des eaux de la mer Morte.

Eau . . . . .	77.230
Chlorure de magnésium . . . . .	10.729
— de sodium . . . . .	6.496
— de calcium . . . . .	3.559
— de potassium . . . . .	1.611
Bromure de magnésium . . . . .	0.331
Sulfate de chaux . . . . .	0.042
Carbonate de chaux . . . . .	0.003
Chlorhydrate d'ammoniaque . . . . .	0.001

Il semble que ces deux lacs n'aient rien de commun avec les océans ; néanmoins si le sulfate de magnésium ne manquait absolument dans les eaux de la mer Morte, et si le sulfate de chaux ne s'y trouvait en proportion inférieure à celle des océans, on ne pourrait pas affirmer que les eaux de ce lac salé ne fussent d'anciennes laisses maritimes, qui se seraient chargées sur place d'une plus grande quantité de chlorure de magnésium et d'autres sels.

L'hésitation est moins permise en ce qui concerne les lacs de

Natron de l'Égypte, qui renferment du carbonate de soude, du chlorure de sodium et du sulfate de chaux, et les lacs du Thibet, dans lesquels on ne trouve guère que du borate de soude. Leur salure diffère tellement de celle des mers, qu'on n'ose supposer qu'ils en aient jamais fait partie.

**COULEUR ET TRANSPARENCE.** — L'homme du Nord qui voit pour la première fois la Méditerranée reste frappé d'étonnement à l'aspect de la splendide coloration de cette mer, qu'il ne peut se lasser d'admirer. D'une limpidité infinie, ces belles eaux offrent, selon l'incidence de la lumière, toutes les nuances du bleu, depuis l'azur le plus transparent jusqu'à l'indigo le plus sombre. Involontairement on se demande quelle est la substance tinctoriale qui peut les colorer ainsi. A des profondeurs considérables on aperçoit les moindres détails du fond, en apparence exhaussé, et l'on suit aisément du regard les coquillages qui se traînent dans les prairies sous-marines de *Posidonia*. Le spectacle est encore plus merveilleux, assure-t-on, dans les mers tropicales, si riches en productions de toute nature. Bien différent est l'aspect des mers du Nord, aux eaux glauques ou d'un gris verdâtre, mais cependant toujours transparentes si on les compare à celles des rivières. Ce contraste ne peut provenir que de substances étrangères en suspension, troubles ou autres ; car on distingue très-bien, dans l'océan Atlantique, à des latitudes assez élevées, les eaux bleues du Gulf-stream des eaux vertes ou jaunâtres environnantes, et, d'une autre part, les sédiments fluviaux donnent les mêmes nuances ternes et jaunâtres le long des côtes de la Méditerranée, après les pluies d'orage. L'opinion de Maury, qui regarde l'intensité de la coloration bleue comme proportionnelle à la salure, est infirmée par cette seule considération que certains lacs d'eau douce, comme le Léman, le lac Majeur, le lac d'Oo dans les Pyrénées, ont des teintes qui rivalisent avec celles des mers les plus azurées ; l'opinion de M. Tyndall, qui attribue la coloration bleue à l'action de la lumière sur des particules solides infiniment petites en suspension, ne paraît pas suffisamment justifiée.

Quelles que soient la transparence et la limpidité des mers, la lumière diminue au fur et à mesure qu'on descend dans leurs profondeurs, et l'on arrive toujours à une limite où règne l'obscurité la plus absolue. Cette limite, qui varie suivant le degré de pureté des eaux et suivant l'incidence de la lumière, paraît atteinte, dans la plupart des cas, à la profondeur de 500 mètres.

**TEMPÉRATURE.** — La température des mers change suivant *l'heure*, la *saison*, la *latitude*, la *profondeur*, la *direction des courants*.

Les eaux acquérant et perdant difficilement leur chaleur, les variations horaires sont toujours peu sensibles, et celles des saisons ne prennent de l'importance que dans les zones froides; encore les unes et les autres demeurent-elles infiniment au-dessous des variations correspondantes de l'atmosphère. A la surface, la température des mers est, en général, au-dessus de celle de l'air dans les basses latitudes; elle descend un peu au-dessous dans les zones froides ou tempérées, sans qu'il y ait, cependant, accroissement régulier avec la latitude. D'après M. Coupvent-Desbois, l'air est plus froid que l'eau lorsque la température de celle-ci reste comprise entre 30 et 40 degrés; il est plus chaud quand l'eau ne marque que de 40 à 0 degré, et il redevient plus froid quand la température tombe au-dessous de zéro. Entre les tropiques, la chaleur des eaux se maintient de 25 à 29 degrés; elle dépasse 31 degrés dans le golfe de Guinée et atteint 32 degrés dans la mer Rouge et l'océan Indien. Jamais elle ne descend au-dessous de 20 degrés. Elle demeure assez uniforme jusqu'aux 27<sup>es</sup> parallèles. Dans les mers polaires, elle dépasse rarement 0 degré, même en été, constamment maintenue à cette température par la fusion des glaces, qui est d'autant plus active que la chaleur s'élève davantage. Les froids excessifs des hivers la congèlent sur de vastes étendues.

**Maximum de densité de l'eau de mer.** — Despretz a trouvé par l'expérience que, dans les conditions ordinaires, l'eau de mer gèle à  $-2^{\circ},5$ , mais qu'elle peut rester à l'état liquide jusqu'à  $-3^{\circ}$ , à la condition de demeurer dans une tranquillité parfaite. Dans le fond des mers, où la pression est énorme et le calme souvent absolu, Sabine a même trouvé une température de  $-3^{\circ},47$  dans l'eau liquide. Le point de congélation paraît être alors à  $-3^{\circ},9$ . On a remarqué, en outre, que la densité de l'eau de mer croît avec l'abaissement de la température jusqu'à la limite de la congélation, et que la dilatation ne commence que lorsqu'elle passe à l'état solide. Il y a donc une très-grande différence entre la manière d'être de l'eau salée et celle de l'eau douce aux basses températures, puisque le maximum de densité de cette dernière arrive à  $4^{\circ}$ , le liquide se dilatant dès que la température s'élève ou s'abaisse à partir de ce point. Longtemps on a cru qu'il en était de même pour l'eau de mer, dont on supposait le maximum de densité à  $3^{\circ},80$  environ. Ce chiffre, pensa-t-on, représente la température invariable du fond des océans

à partir d'une zone qui descend à 2200 mètres sous l'équateur, mais qui se relève insensiblement au nord et au sud de la ligne pour se rapprocher de la surface, qu'elle atteint sous le 66° parallèle dans l'hémisphère boréal et sous le 56° parallèle dans l'hémisphère austral. Entre ces limites, au-dessus de cette zone où commence le maximum de densité, la température des eaux augmente jusqu'à la surface. A partir du 66° parallèle nord et du 56° parallèle sud, la zone s'enfonce de nouveau sous les mers, gagnant insensiblement en profondeur jusque dans le voisinage des pôles, où elle se trouve à 1400 mètres environ, et la température diminue à mesure qu'on se rapproche de la surface. Mais cette ingénieuse conception de J. Ross, reposant sur une hypothèse inexacte, n'a pas sa raison d'être. Dans toutes les mers, la température décroît plus ou moins rapidement à partir de la surface, et dans les régions boréales elle descend même au-dessous du point de congélation, puisque M. Edlund a vu la glace se former habituellement dans le fond des eaux sur les côtes de la Norvège. Sabine signale des températures sous-marines de  $-2^{\circ},22$  et même de  $-3^{\circ},47$  dans les mers arctiques; entre l'Écosse et les Féroë, M. Carpenter indique des parages où, à partir de 900 mètres, la température se maintient entre  $0^{\circ},94$  et  $0^{\circ}$  et descend même à  $-1^{\circ},33$ ; à la profondeur de 3300 mètres, M. Shortland a trouvé  $0^{\circ},83$  dans la mer des Indes entre Aden et Bombay, la surface des eaux étant à  $23^{\circ},8$ . Ces exemples sont d'autant plus concluants que la plupart des chiffres représentent des maxima, l'énorme pression des eaux sur les thermomètres en élevant les indications d'une quantité qui n'est jamais inférieure à  $1^{\circ},4$ , d'après les expériences des physiciens anglais. Il est donc infiniment probable que dans toutes les mers suffisamment profondes, la température peut descendre au moins à 0 degré. Quoique la température des eaux soit beaucoup plus égale que celle de l'air, on a constaté, dans toutes les mers, d'assez grandes irrégularités dans sa distribution. En général, à pareille latitude, les eaux de l'hémisphère sud sont plus froides que celles de l'hémisphère nord, et il en est de même du Grand océan comparé à l'océan Atlantique et à la mer des Indes. D'après M. Coupvent-Desbois, à une profondeur de 1700 mètres, la température moyenne de l'Atlantique est de 5 degrés, et celle du Pacifique, de 3 degrés; la diminution de la température avec la profondeur se ralentit quand on s'approche du pôle austral; elle est toujours plus rapide dans les couches qui avoisinent le fond de la mer. Les glaces polaires et les courants contribuent beaucoup aux

irrégularités. A l'époque des débâcles, les premières sont charriées jusqu'à la hauteur du banc de Terre-Neuve dans l'hémisphère nord, et jusqu'à la latitude du cap de Bonne-Espérance dans l'hémisphère sud. L'influence des courants est encore plus étendue et plus générale, car il y a bien peu de points, dans les océans, qui jouissent d'un calme absolu à toutes les profondeurs. J'ai cité le courant de Humboldt, qui refroidit les mers du Chili et du Pérou, et le Gulf-Stream, qui réchauffe celles de l'Europe occidentale. A propos de ce dernier courant, les observations de M. Carpenter nous apprennent que, dans la mer des Féroë, à des profondeurs uniformes de 900 à 1000 mètres et à des distances horizontales de moins de 80 kilomètres, la température du fond varie de  $9^{\circ},44$  à  $8^{\circ},3$  dans le Gulf-Stream, et de  $0^{\circ},94$  à  $0^{\circ}$  dans les eaux de la mer du Nord, celle de la surface restant à peu près à  $41^{\circ}$  sur tous les points.

On signale enfin de véritables anomalies, qui s'expliquent souvent par diverses circonstances locales. C'est ainsi que la température de la Méditerranée ne descend jamais au-dessous de  $42^{\circ},2$ , même dans les profondeurs. Mais la Méditerranée est alimentée par l'océan Atlantique qui n'y trouve accès que par le détroit de Gibraltar, dont le fond se rencontre à 912 mètres au-dessous de la surface. Il n'y a donc que l'eau superficielle de l'océan, toujours assez chaude à cette latitude, qui puisse pénétrer dans la Méditerranée, et cette mer n'est refroidie que par les eaux bien moins abondantes de la mer Noire.

**CONDITIONS VITALES.** — La vie diminue, ou, en termes plus intelligibles, les animaux et les plantes deviennent plus rares et plus rabougris à mesure qu'on pénètre dans les profondeurs des océans. A la suite de nombreuses observations dans les mers de l'archipel grec, Ed. Forbes fixait à 500 mètres environ la limite à partir de laquelle les êtres vivants ne peuvent plus exister. En effet, à une pareille profondeur, et à plus forte raison au delà, on suppose que la lumière fait complètement défaut. En tout cas, la température est très-basse et la pression devient excessive. Cette dernière augmente, comme on le sait, d'une atmosphère pour un peu plus de 10 mètres; elle brise ou déforme les objets métalliques creux attachés aux sondes; longtemps on a pensé qu'aucun animal marin ne pourrait lui résister. Si l'on considère cependant qu'il n'entre que des substances solides ou liquides dans les tissus de ces animaux, éminemment perméables aux eaux de la mer, on ne comprend pas pourquoi ils seraient plus déformés par la pression qu'une goutte d'eau considérée isolément. L'expérience est venue donner raison à cette

manière de voir, en renversant une doctrine étayée, comme il n'arrive que trop souvent, sur des données insuffisantes. En 1818, J. Ross signala des annélides, des crustacés et des zoophytes dans la baie de Baffin, à des profondeurs comprises entre 1463 mètres et 1920 mètres. Plus récemment, M. Alphonse Milne-Edwards trouva fixés au câble sous-marin qui reliait Cagliari à la côte d'Afrique, des annélides, des mollusques gastéropodes et lamellibranches d'assez grande dimension, ainsi que des polypiers et des bryozoaires, qui vivaient à une profondeur de 2000 à 2800 mètres, et dont quelques espèces n'étaient connues qu'à l'état fossile dans les terrains tertiaires supérieurs. En 1862, M. Torell découvrit des mollusques et des zoophytes à une profondeur de 2500 mètres dans les mers du Spitzberg. Les sondages exécutés en 1868 par M. Carpenter, à une profondeur de 900 à 1200 mètres, entre l'Écosse et les Féroë, ont révélé l'existence de deux faunes distinctes et assez riches en espèces, l'une à caractère boréal, dans les eaux froides, et l'autre à caractère méridional, dans le Gulf-Stream. Cette dernière renferme une térébratule et des foraminifères qu'on retrouve dans la craie blanche. Entre l'Irlande et les États-Unis, le long du trajet du câble transatlantique, et à des profondeurs de 2000 à 3000 mètres, il se forme actuellement une véritable craie consistant, dans les couches superficielles, en une boue calcaire grisâtre presque entièrement constituée par les carapaces de foraminifères, de diatomées et d'autres organismes microscopiques spécifiquement identiques, d'après M. Huxley, avec ceux de l'époque crétacée; ce banc renferme vivante la *Terebratulina caput serpentis* de la craie blanche. Les dragages du navire anglais *le Porc-Épic*, entrepris en 1869, sous la direction de M. Wyville Thomson, à l'ouest des îles d'Ouessant, et poussés à la profondeur de 4572 mètres et de 5121 mètres, ont ramené des animaux marins appartenant aux familles les plus inférieures. La température ne dépassait pas 2 degrés. Le plus souvent, malgré l'obscurité, qu'on suppose complète à de telles profondeurs, ces animaux, notamment les crustacés et les annélides, conservent les couleurs les plus vives. Enfin les observations de MM. Pierce et Pourtalès dans la mer des Florides montrent que les fonds s'y élèvent rapidement par l'enchevêtrement et l'accumulation des débris d'innombrables animaux marins; que les polypiers s'établissent au-dessus, et qu'à des profondeurs considérables il existe souvent une abondance extrême de mollusques et de coraux présentant, pour la plupart, un caractère de grande ancienneté

comme espèces. On voit que les choses ne se passent point partout de même, puisque Ed. Forbes n'avait plus rien trouvé à quelques centaines de mètres de la surface en opérant ses dragages dans la mer Égée. Aussi la limite inférieure de la vie sous-marine, fixée à 500 mètres par cet auteur, doit être reculée d'une quantité inconnue, mais, en tout cas, plus que décuple. Désormais les géologues n'oseront plus affirmer que les mêmes espèces indiquent rigoureusement les mêmes niveaux et les mêmes époques; plusieurs se refuseront moins à admettre les passages de fossiles d'un étage ou d'un terrain à un autre. L'existence d'une faune assez riche représentée par des mollusques et des rayonnés de dimensions ordinaires ne sera plus le signe presque infallible de la proximité d'un rivage, et l'on abandonnera pour toujours l'idée que le fond des océans ne peut renfermer que les débris des animaux nageurs. Une chose reste vraie cependant : c'est le parallélisme qui existe entre la zone inférieure de l'atmosphère et la zone supérieure des mers, dans lesquelles se trouve concentrée toute la vie terrestre. Dans les deux zones, les espèces animales et végétales sont extrêmement multipliées, et acquièrent ordinairement leur plus grande taille près du niveau de l'océan. Au fur et à mesure qu'on s'élève dans les montagnes ou qu'on descend dans les profondeurs des mers, les espèces s'ararissent, et prennent un caractère plus boréal, quoique les individus qui les représentent soient toujours fort nombreux. Bientôt, cependant, les faunes et les flores s'appauvrissent et leurs représentants se rattachent de plus en plus aux familles inférieures et aux types les moins compliqués; les individus se dépriment et se rabougrissent; enfin, vers les limites extrêmes, on ne trouve guère, dans les montagnes, que des mousses et des lichens, et dans le fond des mers, ne subsistent plus que les algues, les foraminifères et les crustacés microscopiques.

---

## CHAPITRE IV

### ÉCORCE SOLIDE

**Écorce solide.** — La troisième des zones concentriques dont est formée la Terre consiste en roches solides. Elle revêt le globe comme d'une écorce résistante interposée entre l'atmosphère et les mers.

d'une part, et le feu central, d'autre part; d'où le nom d'*écorce solide* (fig. 26) depuis longtemps en usage pour la désigner. On admet qu'elle s'est peu à peu constituée à la suite du refroidissement des couches extérieures de la planète, gagnant sans cesse en épaisseur à mesure que la perte de la chaleur centrale amène la solidification de nouvelles couches plus profondes. Cependant son existence comme zone distincte a été niée. On a prétendu que le globe terrestre est entièrement consolidé; et l'on a attribué les éruptions volcaniques à des causes n'impliquant pas forcément la liquidité ignée du centre de la planète. Les hypothèses relatives à la constitution intime de l'astre que nous habitons sont d'ailleurs innombrables, et ce serait un travail intéressant que d'exposer les *théories de la Terre* imaginées à toutes les époques. Obligé de me renfermer dans un cadre plus étroit, je me bornerai à discuter les deux hypothèses qui me paraissent réunir en leur faveur le plus de chances de probabilité.

La première, qu'on pourrait appeler la théorie courante, parce qu'elle est, de beaucoup, la plus répandue, suppose l'écorce solide formée, comme il a été dit, par le refroidissement des couches extérieures, et recouvrant d'une mince enveloppe toute la masse centrale encore à l'état de fusion ignée. C'est l'hypothèse à laquelle je me rallie, car elle explique tous les faits et se plie à toutes les exigences. Je n'énumérerai pas les preuves qui militent en sa faveur; elles ressortiront suffisamment de ce qui va suivre, et en particulier des arguments au moyen desquels je combattrai la doctrine adverse.

Celle-ci suppose, au contraire, que la solidification du globe terrestre a commencé par le centre, qu'elle s'est

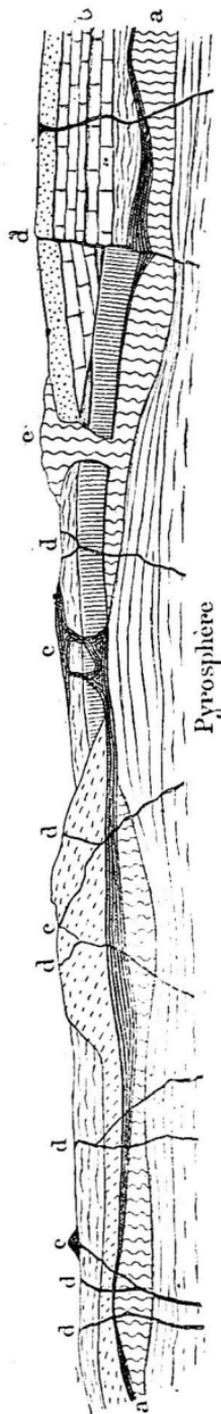


Fig. 26. — Coupe théorique de l'écorce solide (\*).

(\*) a terrains ignés stratifiés; b terrains de sédiment; c enclaves éruptifs; d filons et failles.

étendue peu à peu jusque près de la périphérie, mais qu'il existe néanmoins, entre le noyau solide et la croûte extérieure refroidie, une zone, ou tout au moins des réservoirs souterrains, où les roches ne se trouvent [qu'à l'état de fusion ignée. La principale raison d'être de cette théorie, c'est que les roches fondues se solidifient à partir de leur centre, et cela d'autant plus facilement qu'elles supportent une plus forte pression, ainsi qu'il résulte des expériences de M. Hopkins. Or, le centre de la Terre est soumis à une pression énorme. La marche des phénomènes magnétiques fournit une autre présomption également mise en avant : Halley pensait expliquer le déplacement de la ligne sans déclinaison en imaginant qu'il existe, au centre du globe, un noyau magnétique solide tournant sur lui-même un peu plus lentement que l'écorce solide, dont il se trouve ainsi séparé par une zone fluide.

A ces théories, on peut adresser les objections suivantes :

Il est au moins délicat de conclure d'une expérience de laboratoire à ce qui se passe dans les entrailles de la planète. Toutes les roches ignées ne se consolident point à partir du centre ; témoin les laves volcaniques, sur lesquelles flottent les scories, et qui se revêtent à l'extérieur d'une croûte solide dont l'épaisseur augmente avec les progrès du refroidissement. Or, ce sont précisément les roches de cette nature qui forment la zone fluide sous-corticale. Nous ne savons plus rien au delà ; néanmoins, comme la densité du globe l'emporte de beaucoup sur celle de toutes les roches connues, il est indubitable que celles qui se sont formées ou qui se formeront au centre de la terre suffisamment refroidie diffèrent sensiblement des roches usuelles, et que, par conséquent, nous ne pouvons rien préjuger sur la manière dont-elles se solidifient. Je ferai d'ailleurs observer que les roches volcaniques sortent à l'état de liquidité parfaite, soumises néanmoins à une pression bien supérieure à celle qu'on peut produire dans les laboratoires. D'un autre côté, dans une sphère aussi énorme que le globe terrestre, il est hors de doute que les couches extérieures ont été refroidies par le rayonnement beaucoup plus tôt que les couches profondes. Comme elles consistent en roches de moindre densité, elles sont forcément demeurées à la superficie. Mauvaise conductrice de la chaleur, cette première écorce n'a gagné que fort lentement en puissance, formant comme un écran protecteur qui s'oppose énergiquement au refroidissement de la masse centrale. Il est donc naturel de supposer que cette dernière n'a, pour ainsi dire, rien perdu de sa température originelle, de sorte

qu'on ne pourrait en justifier la consolidation que par de nouvelles conjectures. Quant aux phénomènes magnétiques, il me semble qu'on les explique d'une manière beaucoup plus naturelle en considérant la Terre comme un solénoïde qu'en la regardant comme un aimant. Dans le premier cas, l'hypothèse des courants telluriques suffit amplement; dans le second, il faudrait supposer au centre du globe un noyau solide fusiforme ou du moins plus allongé dans le sens de l'axe de rotation, et composé d'une matière inconnue qui pût conserver les propriétés magnétiques à une température extrêmement élevée. Les expériences de M. Trève montrent bien la possibilité d'aimanter de la fonte en fusion placée dans un circuit voltaïque; mais si de pareils courants existent dans le globe, ce qui est au moins douteux, on n'a plus besoin de supposer un aimant, puisqu'ils le remplaceraient avec avantage. Ces courants seraient d'ailleurs distincts des courants telluriques, dont l'énergie, comparable à celle des courants particuliers d'un aimant, est impuissante à développer le magnétisme, sinon par influence et à la manière des aimants. Le seul avantage que présente l'hypothèse d'un aimant central, c'est d'expliquer à peu près le déplacement séculaire des lignes magnétiques à la surface terrestre; mais au prix de quelles conjectures!

On voit que la doctrine d'un noyau central consolidé ne repose que sur un fragile échafaudage d'hypothèses. Mais je n'ai pas tout dit. L'hypothèse appelle l'hypothèse. Il faut bien, en effet, expliquer la manière dont s'est constituée, entre le noyau central solide et l'écorce extérieure également solide, une zone fluide sous-corticale sans laquelle les éruptions volcaniques et les mouvements de l'écorce terrestre seraient absolument impossibles. Cette zone existe certainement, qu'elle s'étende jusqu'au centre de la planète ou qu'elle ne consiste qu'en amas souterrains isolés les uns des autres; aussi toutes les théories s'efforcent-elles d'en tenir compte. Rien de plus simple que d'en expliquer l'origine si l'on se place à notre point de vue et si l'on admet la liquidité intérieure du globe; rien de plus compliqué, et quelquefois de plus bizarre, que les conjectures dans lesquelles sont obligés d'entrer nos adversaires. M. Hopkins et M. Poulett-Scrope pensent que la consolidation s'est peu à peu étendue du centre vers la périphérie, mais qu'avant la solidification des couches les plus extérieures, il y a eu un moment de demi-fluidité, pendant lequel les parties les plus légères, déjà refroidies, ont formé au dehors une croûte qui a gagné en épaisseur

de la surface vers le centre, et qui maintient une zone liquide emprisonnée entre elle et le noyau. Pour expliquer certains phénomènes éruptifs, M. Scrope imagine, de son côté, que des mouvements locaux de l'écorce solide diminuent, dans certains cas, l'énorme pression que supporte le noyau, dont une portion, déjà solidifiée, peut reprendre l'état liquide. D'après Keferstein, les éruptions volcaniques sont alimentées aux dépens des terrains sédimentaires, dont les couches profondes se dissocient par une sorte de fermentation qui en groupe autrement les éléments, et qui les transforme en roches éruptives avec grande production de chaleur. M. Sterry Hunt a repris cette idée, en la combinant avec celle des deux géologues anglais déjà nommés, et il arrive à professer que la chaleur centrale envahit les couches inférieures des terrains de sédiment, toujours imbibés d'eau, et les réduit à une sorte d'état de fusion hydro-thermale, d'où résulte la zone ou les amas fluides intercalés entre l'écorce solide et le noyau central. Je me borne à rapporter toutes ces théories, dont on ne voit pas le bénéfice, et qui me paraissent réfutées par leur seule énonciation. A mon sens, l'hypothèse d'une zone liquide souterraine ne sert à rien, puisqu'elle n'explique même pas d'une manière satisfaisante le déplacement des lignes magnétiques à la surface terrestre; elle doit être rejetée parce qu'elle ne repose que sur des conjectures souvent invraisemblables. Par élimination, l'hypothèse infiniment plus simple et plus naturelle d'une écorce solide enveloppant un noyau central en fusion reste maîtresse du terrain. Adoptant cette dernière, je décrirai l'écorce solide dans son ensemble et au point de vue exclusif de la géologie, puis au point de vue de la topographie et de la géographie.

#### § 1. — AU POINT DE VUE DE LA GÉOLOGIE.

**ÉTENDUE, DIMENSIONS, POIDS ET VOLUME.** — Comme l'atmosphère, l'écorce solide est une zone terrestre parfaitement continue, dont les dimensions extérieures sont celles de la planète elle-même, quand on fait abstraction de la couche d'air environnante. Mais les océans recouvrent les trois quarts de sa superficie, de sorte qu'elle demeure, en grande partie, inaccessible à nos investigations directes. En admettant une épaisseur moyenne de 20 lieues et une densité de 2,79, Cordier estimait au seizième du poids du globe celui de l'écorce solide, et au vingtième de celui de la planète le

*volume* de cette même écorce. Mais ces résultats, ne reposant que sur des données fort incertaines, ne peuvent offrir qu'un simple intérêt de curiosité.

**STRUCTURE.** — L'écorce du globe est formée de roches solides. Comme elle s'est peu à peu constituée par le refroidissement, ces roches sont disposées, selon toute vraisemblance, en feuillets concentriques, et leur densité augmente de l'extérieur à l'intérieur. En effet, les plus superficielles ont un poids spécifique de  $2 \frac{1}{4}$  à  $2 \frac{1}{2}$ ; d'autres, plus profondes, atteignent et même dépassent  $2 \frac{3}{4}$ , et celles que les volcans actuels rejettent au dehors, et qui viennent de régions encore plus intérieures, ont une densité de 3, environ. La densité continue à augmenter avec la profondeur, puisque celle de la planète dépasse 5. Comme l'écorce solide a été fréquemment brisée et déchirée, et que les roches sous-jacentes, encore à l'état de fusion ignée, ont profité de toutes les issues pour se répandre à la surface terrestre où elles forment les affleurements des filons éruptifs, on a pu reconnaître assez facilement l'ancienneté relative de ces roches. Il est clair, en effet, que les premières éruptions ont été alimentées par les couches les plus superficielles, et que les roches se succèdent, dans l'épaisseur de l'écorce solide, suivant l'ordre de leur apparition au dehors, les plus anciennes étant les plus extérieures, les plus récentes ayant les gisements les plus profonds. D'un autre côté, si une roche éruptive ne se rencontre qu'une seule fois et sur un petit nombre de points assez rapprochés, on peut conclure que le gisement souterrain en est peu important et peu étendu; si, au contraire, elle s'est frayé des issues sur tous les points du globe, et si ses éruptions ont persisté pendant plusieurs époques géologiques, il est probable que le gisement intérieur en est fort important, et constitue une assise épaisse environnant la planète de toutes parts.

**Disposition des couches rocheuses.** — De cette manière on sait que les roches dont il s'agit appartiennent à d'assez nombreuses espèces, et l'on doit supposer que chacune de celles-ci ne forme pas toujours un revêtement ininterrompu autour du globe. Un certain nombre de couches ne sont même, vraisemblablement, que des calottes sphériques, des réseaux, des bandes, des lentilles disséminées çà et là au même niveau ou à des profondeurs différentes. D'autres constituent une assise unique en certains lieux, et se divisent ailleurs en feuillets séparés par des bandes ou des lentilles d'une autre roche; elles se rencontrent ainsi plusieurs fois

sur le trajet d'une même verticale. Les assises continues elles-mêmes n'entourent pas la planète de zones concentriques régulières comparables aux tuniques d'une plante bulbeuse; le plus souvent elles sont d'inégale épaisseur, renflées ici et amincies plus loin, au point de présenter des solutions de continuité qui les transforment en une sorte de réseau. Voilà du moins ce qu'il est permis d'imaginer. Il y a donc la plus grande diversité; cependant, quel que soit l'enchevêtrement des couches, on doit considérer l'écorce solide du globe comme ayant été d'abord massive et exempte de grandes cavités et de grandes boursouflures, l'observation directe ne révélant rien de semblable, et le mode de formation de cette écorce par le refroidissement lent et progressif d'une matière incandescente continue infirmant toute hypothèse contraire. La vapeur d'eau et les gaz dégagés en si grande abondance pendant les éruptions ignées, s'échappent par les bouches volcaniques dès qu'ils s'accumulent en quantité notable sur quelque point, et n'empêchent probablement jamais le contact entre la lave embrasée et les couches solidifiées qui la recouvrent. Rien n'indique d'ailleurs qu'ils proviennent de pareilles profondeurs et qu'ils forment une atmosphère souterraine. D'un autre côté, la flexibilité de l'écorce solide lui permet de s'appuyer sans cesse sur la couche incandescente, au fur et à mesure que celle-ci perd quelques parcelles de sa matière par les éruptions volcaniques; et les vides beaucoup plus considérables produits par les éruptions des roches anciennes ont sans doute été comblés de la même manière. Telle est certainement l'une des principales causes des ruptures, des affaissements et des exhaussements si fréquents dans les pays de montagnes.

**Filons éruptifs et enclaves transversaux.** — Mais cette écorce ne consiste pas uniquement en couches stratifiées, c'est-à-dire disposées par zones concentriques. Nous venons de voir qu'elle est traversée de toutes parts, et souvent à des distances assez rapprochées, par les filons et les enclaves des roches éruptives qui ont été rejetées au dehors à presque tous les moments de sa formation. Ces filons traversent perpendiculairement ou obliquement les couches qui séparent de la surface terrestre la zone intérieure où ils ont leur origine; ils s'élèvent comme des lames plus ou moins ramifiées jusqu'au niveau du sol, où ils constituent souvent des saillies et même des montagnes. Leur étendue verticale est fort inégale, et varie en raison de la profondeur de leur lieu d'origine, les filons les plus courts étant les plus anciens. Ils se trouvent fortement et

solidement enclavés entre les parois des couches traversées, de sorte qu'on n'aperçoit jamais le moindre vide le long des surfaces de contact, et qu'ils ne nuisent en rien à l'homogénéité générale de l'écorce du globe. Quoique les filons éruptifs exercent souvent une certaine action sur les roches encaissantes, ils en restent toujours parfaitement distincts; tandis que les couches concentriques formées par le refroidissement de la matière centrale incandescente se fondent assez habituellement, et passent de l'une à l'autre, de façon qu'il existe rarement entre elles des lignes de démarcation bien accusées. Ces diverses manières d'être, constatées par l'observation directe dans les couches accessibles, n'ont pu être modifiées que par des actions postérieures, dont il sera bientôt question.

**La portion de l'écorce solide formée par le refroidissement consiste en deux parties.** — Envisagée d'une manière générale, l'écorce solide du globe formée par le refroidissement consiste donc en deux parties distinctes, intimement unies et enclavées l'une dans l'autre, savoir : 1° une portion *stratifiée*, composée de couches concentriques peu à peu solidifiées de l'extérieur à l'intérieur; 2° une portion *massive* constituée par les filons éruptifs. De ces deux parties, la première est, de beaucoup, la plus importante. Massives en grand, sauf dans certaines circonstances qui seront bientôt indiquées, l'une et l'autre sont fendillées et fracturées de mille et mille manières. Sans parler des ruptures, des plissements et même des renversements, si fréquents dans les montagnes, il n'est pas une couche rocheuse, pas un filon, n'eussent-ils que quelques centimètres d'épaisseur, où l'on ne rencontre des fissures grandes ou petites. Aussi, rien de plus rare que les carrières fournissant des monolithes de grande dimension. Les fentes proviennent, soit du retrait de la masse rocheuse, soit des mouvements et des dislocations du sol, soit enfin, dans les couches extérieures, de l'action des agents atmosphériques. On les observe dans les roches les plus massives comme dans les plus détritiques. Il existe enfin des fissures beaucoup plus considérables, qui intéressent peut-être toute l'épaisseur de l'écorce solide, se croisent dans tous les sens et la découpent en une multitude de prismes irréguliers, de figures et de dimensions fort diverses. Ce sont les *failles*, qui ont ordinairement pour effet d'élever à des niveaux différents les couches situées de part et d'autre de la rupture. Très-nombreuses dans les pays de plaines, elles le sont encore plus dans les montagnes, et marquent souvent l'alignement des cratères volcaniques et le gisement des filons

métallifères. Puisqu'elles traversent l'écorce solide dans toute son épaisseur, elles doivent évidemment leur origine au retrait, à la contraction de cette même écorce, et sans doute aussi à la réaction de la matière centrale incandescente. On a dit qu'elles affectent des directions spéciales et constituent un réseau géométrique régulier à la surface du globe; mais il m'est impossible de partager cette manière de voir, et je donnerai les motifs de mon opinion dans la partie de cet ouvrage consacrée aux systèmes de montagnes. C'est par ces mille canaux que s'infiltrèrent les eaux extérieures, qui imprègnent l'écorce solide à une grande profondeur, et qui progressent lentement mais sûrement vers le centre de la planète au fur et à mesure que le domaine du feu se rétrécit.

**Terrains de sédiment et terrains ignés.** — Au-dessus de la portion de l'écorce solide qui vient d'être décrite existent d'autres couches qui se sont peu à peu déposées dans les mers. Elles forment des bancs horizontaux, en général réguliers, d'épaisseur constante, dont les plans de séparation, toujours parallèles entre eux, se distinguent facilement les uns des autres. Ce sont les *terrains de sédiment*, ainsi nommés à cause de leur origine, absolument différente, comme on le voit, de celle des *terrains ignés* dont il a été question jusqu'ici. Comme ces derniers, ils ont participé à tous les bouleversements de l'écorce du globe. Leurs couches se présentent donc aussi fréquemment brisées et repliées que celles des terrains ignés; ils offrent les mêmes fissures et les mêmes failles. Ce sont les seuls qui renferment des grottes et des cavernes. Souvent considérable et dépassant plusieurs milliers de mètres, leur épaisseur paraît cependant assez faible en comparaison de celle des terrains ignés, sur lesquels d'ailleurs ils ne forment pas un revêtement continu. Leur existence est moins générale que celle de ces derniers, mais l'étude en est souvent plus fructueuse au point de vue de l'histoire de la Terre, puisque ce sont les seuls où l'on trouve des fossiles.

**L'écorce solide a gagné en épaisseur de deux manières opposées.** — L'écorce du globe a donc gagné en épaisseur de deux manières diamétralement opposées : elle s'est accrue de haut en bas aux dépens de la masse fluide centrale, et de bas en haut par l'accumulation des sédiments dans les bassins des océans. Disons tout de suite que les terrains sédimentaires ne sont qu'un remaniement et un déplacement des couches extérieures ou des assises profondes des terrains ignés, puisque les matériaux qui les com-

posent proviement, soit de la dissociation et de l'atténuation des éléments des roches superficielles, dont les déblais ont été peu à peu entraînés et accumulés dans les mers, soit d'injections, par les sources minérales, de matières sorties de l'intérieur de l'écorce solide. Comme ces dernières ne peuvent avoir leur origine dans la masse centrale fluide et incandescente, elles proviennent des couches refroidies et solidifiées, où elles ont laissé des vides qui n'ont probablement pas toujours été comblés immédiatement par des injections de la matière fluide ou par des affaissements, et qui, assurément, ne le sont pas encore dans les canaux des sources minérales actuelles. Il y a donc vraisemblablement, ou tout au moins il y a eu, sur le trajet de ces eaux, des solutions de continuité extrêmement considérables dans les couches profondes de l'écorce solide, si l'on en juge d'après l'importance de certaines roches sédimentaires. On ne peut douter, en effet, que l'immense espace occupé à la surface du globe par les calcaires de sédiment n'ait dû correspondre à des vides équivalents dans son intérieur, s'il est vrai, comme tout le démontre, que le calcaire a une origine souterraine. Mais ces vides ont-ils été comblés? Les innombrables bouleversements qu'on remarque à la surface du globe, les rides, les dépressions, les affaissements occupés par les océans, la mobilité même de l'écorce solide, tout, en un mot, nous porte à répondre par l'affirmative. S'il existait de vastes cavités souterraines, le pendule les ferait découvrir. Cependant, il faut bien avouer que ce sont là des présomptions plutôt que des preuves, et que, sur une matière aussi délicate, nous ne pouvons rien affirmer. En tout cas, les grottes et les cavernes ordinaires sont ici hors de cause, parce qu'elles n'existent que dans la pellicule superficielle de l'écorce solide du globe, où elles ne forment que des vacuoles sans aucune importance. Quoi qu'il en soit, et de quelque manière que l'on envisage la production du calcaire, on ne saurait, je le répète, considérer les terrains de sédiment comme augmentant d'une manière absolue l'épaisseur de l'écorce solide, puisqu'ils ont été formés aux dépens de cette écorce même, qui a ainsi gagné en certains endroits ce qu'elle a perdu ailleurs. C'est là le fait capital sur lequel je voulais appeler l'attention. On voit aussi que les conceptions chimériques d'Anaxagore et des anciens, reprises par Deluc et par d'autres auteurs du siècle dernier, ne sont pas absolument dénuées de fondement. Ils imaginaient des excavations souterraines, quelquefois superposées en étages, lesquelles, en s'effondrant à un moment donné, produisaient les montagnes et les vallées, et

engloutissaient ou rejetaient, suivant les besoins de la cause, les eaux du déluge ou des océans.

**Structure générale de l'écorce du globe.** — En résumé, l'écorce solide du globe est composée d'une portion ignée, qui gagne sans cesse en épaisseur de haut en bas, et d'une portion sédimentaire, qui s'accroît en sens opposé. De beaucoup la plus importante, sans doute, la première consiste elle-même en une partie stratifiée, formée de couches concentriques superposées, et en une partie massive, formée de filons et d'enclaves éruptifs injectés dans la précédente, qu'ils traversent de bas en haut pour s'épancher au dehors. Absolument compacte et massive à son origine, la portion ignée de l'écorce du globe renferme peut-être dans ses profondeurs des vides autrefois occupés par les matériaux de certaines roches sédimentaires rejetés à l'extérieur. Cette écorce est d'ailleurs remplie de fissures dans toutes ses parties; une multitude de failles la traversent dans toute son épaisseur et s'entrecroisent dans toutes les directions, de sorte que, loin de former un tout homogène, elle se compose, en réalité, de prismes et de fragments de toutes formes, de toutes dimensions, entassés les uns sur les autres, accolés ou juxtaposés, jouissant d'une certaine mobilité et nageant en quelque façon sur le centre incandescent de la planète.

**ÉPAISSEUR.** — Ce n'est que par le voie des conjectures qu'il est permis de supputer l'épaisseur d'une partie du globe dans laquelle nous pouvons à peine pénétrer. Encore les données du problème laissent-elles si énormément à désirer, dans l'état actuel de la science, qu'on peut dire, sans paradoxe, qu'essayer de déterminer l'épaisseur de l'écorce solide, c'est vouloir découvrir l'inconnu par l'inconnu.

Voici d'ailleurs comment ont procédé les géologues.

Ayant remarqué que la chaleur s'accroît dans les couches profondes, ils ont cherché à établir la quantité de cet accroissement. La moyenne d'un très-grand nombre d'observations donne une augmentation d'un degré du thermomètre pour 30 mètres de profondeur. Il fallait ensuite connaître le mode de propagation de la chaleur dans l'écorce du globe. A cet égard, l'hésitation n'est pas possible; et quoiqu'on ait prétendu que la chaleur s'y transmet comme dans une barre métallique, toutes les analogies indiquent, au contraire, que la transmission s'opère comme dans un mur, c'est-à-dire suivant une progression arithmétique. En effet, l'écorce solide n'est autre chose qu'un mur interposé entre la chaleur centrale et le froid de l'espace, et protégé au dehors par l'atmosphère

et par les mers. Il restait enfin à trouver la nature et le point de fusion des matières qui constituent la partie superficielle de la zone incandescente. Ici encore, le doute n'est guère possible : on sait que ces matières sont les laves rejetées par les volcans, et l'expérience indique qu'elles commencent à se solidifier à 650°, environ. Les données du problème ainsi arrêtées, une simple règle de trois dégage l'inconnue, qui est 49,500. L'écorce solide a donc une épaisseur de 49 kilomètres et demi, ou, en nombres ronds, de 20 kilomètres. Tel est, du moins, le résultat généralement adopté.

Mais ce résultat me paraît fortement controversable. Rien de moins assuré, en effet, que le chiffre de l'accroissement de la chaleur centrale ; et c'est là un des éléments les plus importants du problème. D'une autre part, les considérations suivantes me paraissent de nature à faire admettre, pour l'écorce solide, au moins en certains lieux, une puissance beaucoup plus considérable.

En additionnant les épaisseurs de toutes les assises des terrains de sédiment dans les localités où ils sont le plus complets, si non le plus développés, on arrive à un chiffre de 35 000 à 40 000 mètres. Encore ce chiffre serait-il de beaucoup augmenté si l'on adjoignait les schistes cristallins à la série sédimentaire. Je sais bien que cette série n'est complète en aucun lieu du monde, et que, toutes les fois qu'on peut en mesurer une suite considérable de couches, ces dernières ont une forte inclinaison ; de sorte qu'elles n'augmentent peut-être pas de toute leur épaisseur celle de l'écorce terrestre, quoiqu'elles s'enfoncent sans doute à de grandes profondeurs. Cependant on connaît des successions de couches de 12 000 à 15 000 mètres, et même davantage. Actuellement inclinées, elles étaient autrefois horizontales, et s'ajoutaient à l'épaisseur de l'écorce solide ignée. Mais les matériaux de ces assises proviennent des parties voisines, superficielles ou profondes, de la croûte consolidée par le refroidissement, laquelle aurait pu se trouver complètement démolie au bénéfice des terrains de sédiment, si elle avait été réduite à l'épaisseur indiquée par le calcul. Cela paraît d'autant plus vraisemblable qu'aux époques reculées où se constituait la série Laurentienne du Canada, à laquelle je fais ici allusion, l'écorce solide n'avait certainement pas sa puissance actuelle. D'un autre côté, en supposant les matériaux sédimentaires venus de loin, l'épaisseur de cette écorce atteindrait peut-être 35 000 à 40 000 mètres au Canada. Un pareil raisonnement pourrait s'appliquer à beaucoup d'autres lieux. On imagine difficilement, en effet, qu'il s'établisse

une compensation rigoureuse entre l'épaisseur occupée par les sédiments, lorsqu'ils faisaient encore partie de l'écorce ignée, et celle qu'ils ont prise ensuite, quand ils se sont déposés à l'extérieur en couches stratifiées.

Je dois me borner à énoncer ces objections, sans avoir la prétention de résoudre les difficultés, et sans même oser espérer qu'on arrive jamais à des résultats bien précis. Rien ne nous garantit donc que l'épaisseur de l'écorce solide soit partout la même, et qu'elle ne dépasse jamais 20 kilomètres. A cette assertion trop absolue de la science actuelle, je préfère l'estimation plus élastique, et partant plus commode de Cordier, qui admettait au minimum 10 à 12 lieues, en moyenne 20 lieues et au maximum 40 à 50 lieues. Je dois encore faire observer que si la connaissance exacte de l'épaisseur de l'écorce solide est d'un intérêt réel, elle n'a pas, au fond, une bien grande utilité pour le géologue. De quelque manière que l'on envisage les choses et quand bien même on arriverait à doubler ou à tripler le chiffre de 20 kilomètres, ou encore à le diminuer de moitié, cette quantité est infiniment petite relativement aux dimensions de la planète. Pour me servir d'une comparaison souvent employée, je dirai que si le globe avait le volume d'un œuf, son écorce solide aurait au plus l'épaisseur de la coquille. Ajoutons que cette épaisseur varie probablement sur le pourtour de la planète en raison des irrégularités de sa surface, de l'abondance ou de la rareté des roches éruptives, de la puissance des terrains de sédiment, etc., et qu'elle est certainement plus grande aux pôles, où la consolidation a commencé, et où la déperdition de la chaleur centrale est moins contrebalancée par l'influence solaire.

**TEMPÉRATURE. — Sources de chaleur.** — Comme celle de l'air, la chaleur de l'écorce solide provient : 1° des corps célestes, 2° du soleil, 3° de la terre elle-même; seulement, à l'inverse de ce qui se passe dans l'atmosphère, la chaleur de la planète est ici prépondérante. Les étoiles et les autres corps célestes n'exerçant qu'une influence absolument inappréciable, je me bornerai à indiquer l'action de la chaleur solaire, puis celle de la chaleur centrale du globe.

**Chaleur solaire.** — Les calculs de Pouillet portent à 850 000 calories par mètre carré la chaleur rayonnante qui se dégage de la surface du soleil. Elle équivaut à 75 000 chevaux-vapeur et pourrait fondre une couche de glace de 10<sup>m</sup>,80 d'épaisseur. En supposant que la chaleur transmise par le soleil pendant un an soit uniformé-

ment distribuée sur toute la Terre, elle suffirait pour fondre, à la surface du globe, une couche de glace de 31 mètres d'épaisseur. Mais, si grande qu'elle puisse être, cette chaleur n'exerce d'effet sensible que dans les couches les plus superficielles de l'écorce solide ; bientôt contrebalancée, puis dominée et annihilée par la chaleur beaucoup plus considérable émise par le centre incandescent de la planète.

**Effets superficiels de l'insolation.** — Sous l'action directe des rayons du soleil, le terrain s'échauffe au point qu'un thermomètre couché à sa surface peut s'élever à 65° et plus, selon les lieux et les circonstances, la température de l'air ne dépassant pas 20 à 25°. Mais le contraire arrive pendant la nuit, parce que le sol se refroidit beaucoup plus vite que l'atmosphère par le rayonnement : souvent il est couvert de gelée blanche quand la chaleur de l'air s'élève à plusieurs degrés au-dessus de zéro. A la surface même, la température du sol varie donc, comme celle de l'air, mais dans d'autres limites, suivant les circonstances qui peuvent modifier cette dernière, telles que l'heure, la saison, l'état du ciel, etc. Cependant l'influence solaire diminue rapidement à mesure qu'on s'enfonce dans l'écorce solide, et l'on arrive bientôt à une couche où elle cesse de se faire sentir, et où, par conséquent, la température demeure constante. Au delà commence à se manifester l'influence de la chaleur centrale, de sorte que la température augmente avec la profondeur. D'autant plus rapprochée de la surface que la différence entre les saisons extrêmes est moindre, cette *couche à température constante* se rencontre à quelques décimètres, sous l'équateur, d'après M. Boussingault, et, d'après M. Bischof, elle oscille entre 6 et 20 mètres dans les zones tempérées et descend à 30 mètres, et au delà, dans les régions polaires. Elle est, en général, d'autant plus profonde qu'on s'éloigne davantage de l'équateur ; elle circonscrit une sphère un peu plus aplatie que le globe terrestre, d'ailleurs ondulée et semée de dépressions et de reliefs en rapport avec la conductibilité des roches, le voisinage des centres éruptifs et les allures des saisons. Au-dessus, ai-je dit, l'influence solaire se fait d'autant plus sentir qu'on remonte davantage vers la surface. Sous les latitudes moyennes, d'après Poisson, les variations diurnes de la température extérieure cessent à 4 mètre de profondeur, les écarts extrêmes du thermomètre se transmettant à des moments de plus en plus éloignés de ceux où ils se produisent au dehors, à mesure qu'on pénètre plus profondément dans le sol ; de façon qu'à

la limite extrême, le maximum arrive dans la nuit, et le minimum vers le milieu du jour. Si l'on s'enfonce davantage, la différence des saisons se fait encore sentir jusqu'à la couche à température constante, en suivant une marche analogue à celle des variations diurnes; de manière qu'à la profondeur de 45 à 48 mètres, le maximum arrive en janvier et le minimum en juillet. Plus profondément encore, la chaleur solaire ne cesse pas de pénétrer; seulement l'effet en devient insensible dès qu'on arrive à la couche à température invariable, quoiqu'en réalité il s'étende bien au delà. Ces résultats généraux sont plutôt confirmés que démentis par les expériences de MM. Becquerel, au Jardin des Plantes de Paris, où l'existence d'une nappe d'eau souterraine nuit aux observations.

Les deux foyers calorifiques, c'est-à-dire le soleil et le centre du globe, agissent donc en sens opposé, leur action diminuant proportionnellement à la distance, de sorte que la couche à température constante se rencontre précisément au niveau où cette action devient égale de part et d'autre. La température de la couche à chaleur invariable dépend elle-même de la moyenne du lieu, dont elle s'écarte peu, en général. De 27 à 28° sous l'équateur, elle descend à 41° environ à Paris, et se maintient au-dessous de zéro dans les contrées boréales.

**Surfaces isothermes.** — Si l'on réunit par une surface tous les points de l'intérieur du sol de pareille température, on obtient une série de surfaces concentriques appelées *surfaces isothermes*, par analogie avec les lignes de même nom. Celle de 27 à 28° arrive, à l'équateur, presque au niveau du sol, et s'enfonce à mesure qu'on se rapproche des pôles, où elle se trouve à 1425 mètres de profondeur, si l'on admet au pôle une température moyenne de — 20°. Toutes les surfaces isothermes de moindre température n'enveloppent pas complètement la sphère terrestre, et leurs lieux d'affleurement souterrain (si l'on peut s'exprimer ainsi) se rapprochent progressivement des deux pôles, en traçant à peu près les contours des lignes isothermes correspondantes. Les surfaces isothermes d'une température inférieure à zéro existent donc dans un sol entièrement glacé. Tel est, en effet, le résultat de l'observation; car on a pu constater que, dans certaines parties du nord de la Sibérie, la terre est gelée jusqu'à 180 et même 195 mètres de profondeur. M. Vézian, à qui l'on doit la théorie des surfaces isothermes, ajoute, avec raison, qu'elles se rapprocheront du centre de la terre à mesure que la chaleur intérieure diminuera, de sorte que les glaces polaires

et la portion congelée du globe gagneront de plus en plus en étendue. Ces surfaces isothermes sont d'ailleurs coupées obliquement par la zone à température constante, toujours plus rapprochée du niveau du sol, excepté à l'équateur.

**Chaleur centrale.** — Nous avons vu qu'aussitôt qu'on dépasse la couche à température constante, la chaleur augmente avec la profondeur. Il y a donc, vers le centre du globe, un foyer de chaleur très-intense, dont l'action se fait sentir jusqu'à la surface, et même au delà, et dont Fourier estimait à  $1/30$  de degré l'influence au dehors. C'est la *chaleur centrale*. Quels qu'en soient le siège, l'origine et l'intensité, on ne peut émettre le moindre doute sur son existence, que démontrent les observations thermométriques effectuées dans les mines sur tous les points du globe. Ces observations indiquent, en outre, que la chaleur centrale ne dépend pas de la latitude, que l'intensité en est constante, au moins à l'époque actuelle, et qu'elle ne peut s'affaiblir qu'avec une lenteur excessive.

Les plus anciennes remontent au siècle dernier. En 1740, Genssane constate une augmentation graduelle de température dans les mines de Giromagny, jusqu'à la profondeur extrême des travaux, c'est-à-dire à 430 mètres. En 1785, de Saussure signale la même augmentation dans les mines de Bex, en Valais, mais il l'attribue à la combustion des pyrites, fort abondantes, en effet, dans ces excavations, et dégagant une odeur d'hydrogène sulfuré très-sensible. En 1795, de Humboldt constate un accroissement de chaleur à Freyberg, en Saxe. De 1802 à 1805, d'Aubuisson entreprend des expériences nombreuses et variées dans les mines de Bretagne, et arrive aux mêmes résultats. D'autres observations recueillies en 1815 dans les mines de Cornouailles fournissent de nouvelles preuves. Enfin, en 1827, Cordier présente à l'académie des Sciences de Paris un mémoire demeuré célèbre, dans lequel il résume les observations de ses devanciers et les siennes propres, et conclut à une augmentation moyenne de la chaleur à raison de  $1^{\circ}$  par 27 mètres de profondeur. Citons enfin les expériences plus récentes de M. Reich dans les mines de Freyberg. Voici les résultats les plus importants de toutes ces recherches :

	Profondeur.	Température du fond.	Augmentation de 1 degré pour
Caves de l'Observatoire de Paris.....	28 m.	$1^{\circ},834$	32,3 m.
Puits de Grenelle à Paris.....	548	$28^{\circ}$	$\left\{ \begin{array}{l} 31,9 \\ 32,3 \end{array} \right.$
Puits de l'École militaire à Paris.....	173	$16^{\circ},4$	

	Profondeur.	Température du fond.	Augmentation de 1 degré pour
Forage de Saint-Ouen, près Paris.....	66	12°,9	35,65 m.
Puits foré de Saint-Sever, à Rouen.....	183	17°,6	29,5
Puits foré de Saint-André (Eure).....	263	17°,95	30,95
Puits artésien de Lille (moyenne de onze forages).....	100,5	14°,1	25,46
Houillères de Littry (Calvados).....	99	16°	19
Mines de sel gemme de Dieuze.....	107	15°,1	35,9
Houillères de Sarrebruck.....	»	»	36,8
Bechelbronn (Bas-Rhin).....	70	14°	20
Neuffen (Wurtemberg).....	420	38°,7	10,05
Houillères de Mons.....	328	»	{ 33,25 38
Puits foré de Mondorf (Luxembourg).....	671	34°	29,6
Neusatswerck (Wesphalie).....	622	31°,25	29,2
Mines de l'Herzgebirge.....	386	»	41,84
Puits foré de Prégny, près Genève.....	223	»	29,6
Houillères de Carmaux (Tarn).....	192	19°,5	35,8
Houillères de Decize (Nièvre).....	171	21°,1	15
Houillères de Monte-Massi (Toscane)....	348	41°,7	13
Houillères du Creuzot : forage de Torcy..	554	27°,23	} 30,7
— forage de Mouillelonge... ..	816	38°,31	
Puits de Rochefort.....	857,78	44°	19,05
Houillères de New-Castle.....	482	20°,22	32,57
Mines de Cornouailles.....	530	»	27,8
Mines de Knot-Mason (Irlande).....	235	13°,8	40,25
Mines de Bogoslowsk (Oural).....	»	»	19,5
Mine d'argent de Valencia (Mexique)....	522	38°	»

**L'augmentation de la chaleur profonde varie suivant les**

**lieux.** — La moyenne de tous les résultats consignés dans le tableau ci-dessus donne une augmentation de 1° pour 29<sup>m</sup>, 55, ou, en nombre rond, 1° pour 30 mètres. Mais on est tout de suite frappé des différences considérables qui existent entre certaines localités. A Monte-Massi, par exemple, la température s'accroît de 1° pour 13 mètres, et à Neuffen, elle augmente même de 1° pour 10 mètres, tandis que l'accroissement tombe à 1° pour 40 mètres en Irlande et pour 42 mètres dans l'Herzgebirge. D'après d'Aubuisson, il descend même à 1° pour 62<sup>m</sup>, 25 dans les mines de Poullaouen et de Huelgoat en Bretagne. On remarque aussi des différences sensibles entre les résultats recueillis dans une même localité, par exemple à Paris et à Mons, tandis qu'au Creuzot la concordance est parfaite entre deux sondages différents. De véritables anomalies ont été parfois constatées, comme celle que rapporte M. d'Abbadie

à propos d'un puits artésien foré au Brésil, où la température est de 24° à 61 mètres de profondeur, tandis que la moyenne du lieu s'élève à 27°, 05. Plusieurs des irrégularités observées ont été expliquées d'une manière plus ou moins satisfaisante. C'est à la proximité d'un centre éruptif, qui manifeste encore son activité dans les lagoni de la Toscane, qu'on attribue, sans doute avec raison, l'accroissement rapide de la température à Monte-Massi; c'est au voisinage de basaltes, qu'on suppose avoir conservé de leur chaleur originelle, qu'est rapporté l'accroissement encore plus remarquable signalé à Neuffen. Mais de semblables raisons ne peuvent être données pour Decize, Bechelbromm et Littry, où l'augmentation paraît également exceptionnelle, et la curieuse anomalie mentionnée par M. d'Abbadie reste sans explication. On rend compte, par la conductibilité plus grande des roches, des écarts en sens inverse observés dans les mines de l'Herzgebirge, de Knot-Mason et de Poullatouen. Cependant il ne faut pas se dissimuler que longtemps encore, et malgré tous les soins apportés aux expériences, les moyennes qui remplaceront successivement celle de 1° pour 30 mètres, aujourd'hui adoptée, et, par conséquent, toutes les théories géogéniques fondées sur ces moyennes, laisseront le champ libre à la contradiction. N'oublions pas, en effet, que nous ne pouvons porter le thermomètre que dans une pellicule extérieure d'une ténuité infinie eu égard aux dimensions du globe, et que nous ne savons absolument rien de ce qui se passe au delà. D'un autre côté, dans cette pellicule, les observations ne s'étendent guère hors de l'Europe; l'immense superficie occupée par les mers est inaccessible, et même en France, et à des distances fort rapprochées, on obtient souvent les résultats les plus disparates. Une foule de causes, telles que la chaleur dégagée par les hommes et les animaux dans les mines, la combustion des lampes, la percussion des instruments de forage, les explosions de la poudre, la circulation des eaux, puis, la différence de conductibilité des roches, le voisinage souvent ignoré de massifs éruptifs rendront toujours les chiffres plus ou moins suspects. A force de précautions, on arrivera, sans doute, à faire disparaître les principales causes d'erreur, mais on ne parviendra peut-être jamais à établir la part qui revient au sol lui-même dans les irrégularités constatées. On voit donc que les ondulations des surfaces isothermiques, surtout au delà de la couche à température constante, sont au moins aussi grandes que celles des lignes du même nom

à la surface terrestre; et le lecteur doit comprendre maintenant les motifs de ma réserve dans l'énoncé des résultats obtenus par le calcul relativement à l'épaisseur de l'écorce solide du globe.

Je dois ajouter que l'augmentation de la température est presque également marquée, dans quelque direction qu'on pénètre dans l'intérieur du sol, même si l'on chemine horizontalement dans une galerie percée sous une montagne. C'est ce qu'il est facile de constater dans les mines de sel de Bex : la chaleur devient très-sensible à mesure qu'on s'avance dans l'immense voie rectiligne qui conduit aux exploitations, où les ouvriers sont obligés de travailler à demi nus. Dans les mines du nouveau monde, M. Boussingault a reconnu que la chaleur augmentait de  $1^{\circ}$  pour 33 mètres sur le parcours d'une galerie horizontale de 1400 mètres de longueur.

Quant aux couches intérieures du globe, j'ai déjà dit qu'il est impossible d'y pénétrer, la chaleur, l'infiltration des eaux, la difficulté de l'aérage, le prix élevé des travaux, et, dans les sondages, le poids et la longueur des instruments perforants opposant bientôt des difficultés insurmontables. Les mines les plus profondes ne dépassent guère 500 mètres; le puits de Monsdorf, dans le Luxembourg, en atteint à peine 700; celui de Rochefort arrive à 858 mètres; on signale, en Chine, un puits à gaz de plus de 1000 mètres, et au Creuzot, un forage a été poussé jusqu'à 1050 mètres : mais ces distances indiquent les limites extrêmes auxquelles on puisse parvenir. En supposant l'accroissement de la chaleur uniforme, l'eau entrerait en ébullition à 2513 mètres au-dessous du sol, à Paris, et à 45 kilomètres, toutes les substances terrestres seraient fondues.

**Opinions diverses sur le feu central.** — On ne peut donc émettre que des conjectures sur le mode de propagation, le siège et l'origine de la chaleur centrale. Les opinions, on le comprend, ont été fort diverses; cependant, par une singulière fortune, la plus généralement répandue dans tous les temps, je veux dire l'hypothèse de l'incandescence primitive du globe, se trouve être la plus vraisemblable. C'était une notion universellement admise chez les anciens, qui plaçaient dans les entrailles de la Terre le domaine du noir Pluton. Les pythagoriciens admettaient un feu central créateur de toutes choses, source éternelle de chaleur, compensant les effets du refroidissement de la planète, produisant les éruptions volcaniques, et peut-être cause des tremblements de terre et de l'émission des eaux thermales. Pour Héraclite, d'Éphèse, qui vivait dans le  $vi^e$  siècle

avant notre ère, la terre est un astre refroidi qui tourne sur lui-même. Empédocle, d'Agrigente, qui florissait dans le siècle suivant, admettait une conflagration initiale, et pensait que les volcans sont dus à des feux souterrains ; il paraît même avoir distingué les roches d'origine ignée. Descartes est peut-être le premier auteur moderne qui se soit rattaché aux idées d'Héraclite et des pythagoriciens. Il considère la terre comme un soleil éteint. Leibnitz admet également une incandescence primitive, que Buffon cherche à expliquer en faisant sortir le globe de la masse du soleil par le choc d'une comète, et qu'il s'efforce de prouver en invoquant à l'appui la chaleur des mines profondes. Il appartenait au géologue écossais Hutton de vulgariser la doctrine du feu central, en lui donnant droit de cité dans la science. Dans sa *Théorie de la Terre*, publiée en 1788, il applique, le premier, à la géologie, la notion de l'incandescence originelle du globe, qu'il accepte comme démontrée, et sur laquelle il s'appuie pour formuler ses conclusions. Herschel, puis Laplace, fournissent des présomptions, sinon des preuves absolues, en faveur de la même doctrine, par leur explication de l'origine des mondes, et pensent que la terre, le soleil et les planètes proviennent du morcellement d'une même nébuleuse. Fourier est tellement convaincu de l'origine ignée du globe, qu'il se livre, sur cette donnée, à des calculs demeurés célèbres ; il voit une preuve de l'incandescence originelle dans ce fait que la chaleur des couches profondes ne varie pas avec la latitude. Depuis, la doctrine du feu central et de l'incandescence primitive n'a fait que gagner du terrain, car elle est, à chaque instant, confirmée par de nouvelles preuves.

**Objections à l'hypothèse du feu central.** — Cependant il existe encore des opinions contraires, et l'impartialité me fait un devoir de les exposer, au moins sommairement. Le plus illustre des dissidents est certainement le géomètre Poisson. Reconnaissant que la chaleur dépasserait 200 000° au centre de la terre, à en supposer l'augmentation constante, et justement effrayé d'un pareil résultat, il aimait mieux imaginer que notre globe avait autrefois traversé des régions de l'espace beaucoup plus chaudes que celle où il se trouve actuellement, et qu'il conservait, dans son intérieur, quelque peu de cette chaleur étrangère. Le chimiste anglais Davy, qui découvrit les métaux alcalins, crut un moment à des conflagrations profondes, résultant de l'oxydation de ces métaux par les eaux souterraines, conflagrations dont les produits s'échappaient par les

bouches volcaniques; mais, ayant vu les volcans de l'Italie, il se rallia ensuite à l'hypothèse du feu central. On sait que le chimiste Lémery démontrait expérimentalement les éruptions volcaniques en provoquant la combustion spontanée d'un mélange de soufre et de fer divisés, enfoui dans la terre humide. Cette explication, au moins singulière, des phénomènes éruptifs, eut autrefois de nombreux partisans, qui rejetaient ainsi l'idée du feu central. L'opinion déjà mentionnée de MM. Hopkins, Scrope, Sterry-Hunt, etc., est une sorte de moyen terme entre l'acceptation et la négation de la doctrine du feu central. D'après ces auteurs, la Terre a été incandescente; mais elle s'est consolidée à partir de son centre, qui ne doit pas être beaucoup plus chaud que les couches superficielles, et les volcans sont alimentés par une zone fluide sous-corticale ou par de simples réservoirs ignés.

**Preuves du feu central et de la fluidité ignée originelle de la Terre.** — En résumé, les preuves en faveur de la fluidité originelle de notre planète et de la persistance de cet état dans son intérieur, sont :

- 1° Le mode de formation de la terre, déjà expliqué ;
- 2° La forme sphérique du globe et son aplatissement aux pôles ;
- 3° La nature des roches de l'écorce solide, qui trahissent toutes une origine ignée, sauf le revêtement sédimentaire ;
- 4° Le tassement et la disposition des matériaux de l'écorce solide dans l'ordre de leur poids spécifique, et l'augmentation de la densité dans les couches profondes ;
- 5° Les mouvements, les ondulations et les dislocations de la surface terrestre, qui auraient été impossibles dans une masse consolidée, et qui démontrent l'existence d'un liquide sous-jacent ;
- 6° Les innombrables épanchements ayant eu lieu à toutes les époques, et continués par les volcans actuels, de roches éruptives provenant de l'intérieur, et sorties à l'état de fusion ignée ;
- 7° La chaleur des eaux thermales ;
- 8° L'accroissement de la chaleur du sol à mesure qu'on pénètre dans ses profondeurs, et sa constance à toutes les latitudes, dès qu'on a dépassé la couche à température invariable.

**Intensité de la chaleur centrale.** — La liquidité primitive du globe et sa persistance dans l'intérieur de la planète étant admises, ne fût-ce qu'à titre d'hypothèse, quelle idée peut-on se former de la chaleur centrale, et comment en mesurer l'intensité? C'est ici, évidemment, la partie du problème la plus difficile. A peine osons-nous,

dans l'état actuel de nos connaissances, émettre de timides conjectures. La plus vraisemblable, c'est que, loin de s'accroître en progression géométrique, la chaleur n'augmente pas même suivant une progression arithmétique jusqu'au centre du globe. Dans ce cas, en effet, elle atteindrait au centre 212 500°, c'est-à-dire 211 000 degrés de plus que la chaleur nécessaire à la fusion du platine. Rien ne résisterait à une pareille température, qui dépasse tout ce qu'on peut imaginer; aussi Beudant admet-il qu'à une certaine profondeur la chaleur cesse d'augmenter, et que la masse centrale incandescente possède une température uniforme de 3000 à 4000 degrés.

**Perte de la chaleur centrale et ses conséquences.** — Quelque élevée qu'elle puisse être, cette chaleur centrale, n'ayant plus d'aliment, se dissipera peu à peu dans l'espace, dont notre globe finira par acquérir la température. Comme la lune, il sera sans doute alors sillonné de profondes *rainures* de retrait, dans lesquelles s'engloutiront mers et atmosphère. Qu'on ne croie pas que cette perspective ne soit qu'un jeu de l'imagination. Nous voyons et nous mesurons les rainures lunaires, et c'est déjà beaucoup. D'une autre part, nous savons que toutes les roches ignées, et notamment les laves, diminuent considérablement de volume par le refroidissement. D'après mes observations personnelles, j'estime au moins au sixième l'espace occupé par les fissures grandes et petites de la coulée du volcan de Côme, en Auvergne. C'est peut-être là un fait exceptionnel; mais en admettant que l'ensemble des fissures de retrait du globe, supposé consolidé jusqu'à son centre, occupe un espace dix et même cent fois plus petit, ces fissures suffiraient, et au delà, pour produire les effets indiqués. D'après M. Delesse, les roches ignées éprouvent, par la cristallisation, un retrait du dixième de leur volume, et le rayon terrestre a diminué de 1430 mètres par cette seule cause. D'après M. Élie de Beaumont, la surface de notre planète s'est rapprochée du centre d'une quantité égale à la hauteur des Andes et peut-être de l'Himalaya. On peut contester toutes ces appréciations; mais si l'on examine sans parti pris les effets du retrait sur toutes les substances connues, on restera convaincu que je demeure beaucoup en deçà des limites du possible.

La terre semble donc appelée à passer à l'état de lune. La vie disparaîtra peu à peu de sa surface, en même temps que les eaux et l'atmosphère. La chaleur solaire, n'étant plus retenue par l'écran de l'air extérieur, rayonnera librement vers les immensités. Des nuits glaciales succéderont brusquement à des insolation d'une intensité

extrême. Mais le refroidissement gagnera le soleil lui-même, qui finira par s'obscurcir et par s'éteindre. Alors le froid et les ténèbres régneront sans partage dans notre système. Qu'advient-il de tous ces morts?

**Lenteur du refroidissement de la terre.** — Heureusement pour nous et nos après-venants, ces prédictions sinistres sont à fort longue échéance. Bien des générations passeront avant que les effets du refroidissement deviennent perceptibles. A cet égard, les opinions sont unanimes. D'après Buffon, si la terre avait le pouvoir émissif du fer métallique, elle emploierait 96 000 ans à se refroidir. Suivant Fourier, il faudrait 30 000 ans pour que la déperdition de la chaleur tombât de  $1/30$  à  $1/60$  de degré. Les expériences de Bischof sur le refroidissement du basalte fondu lui font estimer à 9 000 000 d'années le temps que mettrait la température de la terre à diminuer de  $15^{\circ}$ . On voit que si tout le monde est d'accord sur la lenteur du refroidissement, on est loin de s'entendre sur sa mesure : *tot capita, tot sensus*. Je me garderai donc bien d'émettre une appréciation personnelle; seulement, pour montrer avec quelle lenteur les roches terrestres perdent leur chaleur, je rappellerai qu'on a vu des coulées de laves demeurer incandescentes, et même conserver quelque fluidité intérieure, bien des années après leur émission.

## § 2. — AU POINT DE VUE DE LA TOPOGRAPHIE.

**Terres fermes.** — Tout ce qui précède a rapport à l'écorce solide du globe considérée dans son ensemble et au point de vue de la géologie; ce qui va suivre s'applique, au contraire, exclusivement, à la portion de sa surface qui s'élève au-dessus des mers, c'est-à-dire aux *terres fermes*. C'est donc au point de vue particulier des dimensions, du relief et du modelé, ou, en d'autres termes, de la *topographie*, qu'il nous reste à étudier l'écorce solide de notre planète.

**FORME ET ÉTENDUE DES TERRES FERMES.** — Les terres fermes sont enveloppées de tous côtés par les océans, et constituent de grands lambeaux appelés *continents*, ou de petits lambeaux appelés *îles*, quelquefois groupés en *archipels*. Nous avons vu qu'elles ont leur plus grande extension dans l'hémisphère boréal. En général, elles sont élargies du côté du nord, et terminées en pointe du côté du sud; mais cette disposition doit être regardée comme accidentelle, puisque l'étendue et la configuration des terres fermes dépendent

des mouvements de l'écorce solide. A mon avis, les conséquences qu'on a voulu en tirer relativement à l'équilibre du globe sont absolument dénuées de fondement. Les terres fermes constituent trois massifs principaux ou continents, l'*ancien*, le *nouveau* et l'*Australie* ou Nouvelle-Hollande. Les deux premiers ont été divisés eux-mêmes en *parties du monde*, dont chacune a 4000 kilomètres au moins dans toutes les directions. Elles sont au nombre de six, savoir : l'*Europe*, l'*Asie* et l'*Afrique*, formées aux dépens de l'ancien continent ; l'*Amérique du Nord* et l'*Amérique du Sud*, formées aux dépens du nouveau ; enfin l'*Océanie*, formée de l'Australie, à laquelle on a réuni arbitrairement un grand nombre d'îles et d'archipels du grand Océan et de la mer des Indes. Les lambeaux les plus petits constituent les îles, qui sont innombrables, et dont les plus importantes, telles que la Nouvelle-Guinée, Bornéo et Madagascar, égalent la superficie de la France. Je ne parle ici que des régions accessibles ; car il existe, dans le voisinage des pôles, des contrées d'une étendue considérable, mais inconnue, par exemple le Groënland et les Terres australes.

J'ai dit que l'étendue et la configuration des terres fermes ont été déterminées par des événements fortuits ; j'ajouterai qu'elles n'offrent rien d'arrêté ni de définitif, et je confirmerai plus loin, par des exemples, cette assertion déjà émise. Le développement des contours, ou, en d'autres termes, l'étendue des côtes maritimes des continents n'est pas toujours en rapport avec leur superficie. Les uns, tels que l'Afrique et l'Australie, ont une forme massive et ramassée ; les autres, au nombre desquels figure l'Europe en première ligne, sont, au contraire, largement échancrés par des golfes et des mers intérieures, ou, pour me servir d'une expression de Humboldt, richement articulés. Cette configuration, en facilitant les rapports entre les peuples, a sans doute exercé une certaine influence sur l'état des diverses civilisations ; mais je crois qu'on en a beaucoup exagéré les effets. A aucune époque l'état social des populations autochtones des deux Amériques ne l'a emporté sur celui des habitants de l'Afrique, dont les terres sont moins découpées, puisqu'aux Péruviens et aux Mexicains on peut opposer avec avantage les anciennes races de l'Égypte et de la Lybie. Le degré de perfection relative des familles humaines me paraît dépendre des aptitudes et des facultés naturelles de chacune ; et, même en admettant pour notre espèce un point de départ unique, comme il est assez probable, je crois que les races ont été formées peu à peu sous l'influence prépondérante des conditions climatiques. Cela paraît si vraisemblable, que nous voyons

les traits physiques et moraux des Anglo-Saxons se modifier sous nos yeux, depuis deux siècles, dans les États-Unis d'Amérique. Mais j'ai hâte de clore cette digression. L'étendue des côtes maritimes est de 20 000 milles géographiques pour l'Europe, de 33 000 milles pour l'Asie, de 16 500 milles pour l'Afrique, de 28 000 milles pour l'Amérique septentrionale et de 16 500 milles pour l'Amérique méridionale. Le chiffre de l'Australie est beaucoup au-dessous de tous ceux qui précèdent.

**Surface des terres fermes.** — Quoique l'étendue des terres fermes ait été donnée en même temps que celle des mers, je crois utile d'y revenir avec plus de détail dans le tableau suivant, extrait de la *Fisica del Globo* de M. Boccardo. Il s'agit de l'étendue en surface.

	Kilom. carrés.
Europe.....	9 460 000
Asie continentale.....	41 200 000
Asie et ses îles.....	43 960 000
Australie.....	7 660 000
Océanie.....	9 030 000
Afrique continentale.....	29 100 000
Afrique et ses îles.....	29 700 000
Amérique du Nord seule.....	20 160 000
— et ses îles.....	29 700 000
Amérique du Sud seule.....	17 840 000
Les deux Amériques.....	42 480 000
Terres de l'hémisphère boréal.....	100 000 000
Terres de l'hémisphère austral.....	34 630 000
Toutes les terres.....	134 630 000
Toutes les mers.....	375 420 000
Terres et mers réunies.....	510 050 000

D'après Cordier, toutes les îles ne forment que le 1/23 de la superficie des continents, l'Australie non comprise.

**RELIEF DES TERRES FERMES.** — Rien de plus varié que le profil de la surface des terres fermes, où les inégalités du sol constituent plutôt la règle que l'exception, et où les régions planes se trouvent à des hauteurs très-diverses au-dessus du niveau des mers. Il est donc assez difficile de déterminer le relief moyen des continents d'une manière quelque peu rigoureuse; aussi les chiffres suivants ne donnent-ils que des approximations. En supposant les montagnes démolies, et leurs remblais étalés et nivelés à la surface des terres fermes, de Humboldt a trouvé que l'altitude moyenne serait :

Pour l'Europe, de.....	205 m.
Pour l'Asie, de.....	350

Pour l'Amérique du Nord, de . . . . .	228 m.
Pour l'Amérique du Sud, de . . . . .	345
Pour l'Europe, l'Asie et l'Amérique, de .	308
Pour l'ensemble des terres fermes, de . .	306

Les chiffres de l'Afrique et de l'Australie ne sont pas donnés, parce que les renseignements manquent; néanmoins il est probable que l'altitude moyenne de ces deux parties du monde reste beaucoup au-dessous de celle de l'Europe. Si l'on étendait uniformément les terres fermes à la surface des mers, elles ne la dépasseraient que de 75 mètres environ. Pour donner une idée de la diversité qui existe entre le relief de contrées, même rapprochées, je dirai que l'altitude de l'Espagne, fixée à 584 mètres par de Humboldt, est portée à 711 mètres par M. de Verneuil, qui a parcouru ce pays dans tous les sens pour en dresser la carte géologique; que celle de la France est de 269 mètres d'après de Humboldt, et de 206 mètres seulement d'après Arago; que l'Allemagne du Sud s'élève à 920 mètres au-dessus de la mer, l'Allemagne du Centre à 307 mètres, l'Allemagne du Nord à 97 mètres, et que la Hollande en dépasse à peine le niveau. Les divergences d'appréciation pour les mêmes contrées, suivant les auteurs, montrent une fois de plus qu'il ne faut jamais considérer comme rigoureux les chiffres obtenus dans des statistiques aussi difficiles à effectuer.

**Inégalités du sol.** — Quelque grandes qu'elles soient, les inégalités du sol ont peu d'importance relativement à l'étendue de la planète, dont elles n'altèrent nullement la forme générale. Elles consistent surtout en *montagnes* et en *vallées*, qui entrecoupent des *plaines* ou des *plateaux* d'une étendue beaucoup plus considérable. Les vallées les plus profondes ne descendent jamais au-dessous du niveau des mers, et les *dépressions continentales* qui se trouvent dans ce cas constituent de rares exceptions. Enfin des accidents locaux de peu d'importance, tels que *gouffres* et *cavernes*, se rencontrent assez fréquemment, surtout dans les pays de montagne. Nous allons passer en revue ces diverses formes du relief des terres fermes.

**PLAINES ET PLATEAUX.** — On appelle ainsi des surfaces unies ou légèrement ondulées, quelquefois sillonnées par des rainures flexueuses plus ou moins profondes creusées par les cours d'eau; elles sont toujours planes en grand, et sensiblement horizontales, ou du moins fort peu inclinées. Les *plaines* sont basses et unies; elles s'étendent le plus souvent dans le voisinage des mers et dans

le fond des vallées : les *plateaux* sont des plaines élevées et quelquefois ondulées ; ils occupent surtout l'intérieur des continents. Les surfaces unies, plaines ou plateaux, sont très-inégalement réparties sur le globe. En voici l'énumération sommaire.

En Europe, on ose à peine indiquer la vallée du Guadalquivir et les plateaux élevés et montueux du centre de l'Espagne ; mais on trouve en France de véritables plaines. Parfaitement nivelées et à peu près incultes, les landes de Gascogne, toutes verdoyantes de bruyères et d'ajoncs, ou plantées en pins maritimes, occupent la surface de deux départements ordinaires, et se rattachent à l'est à la vaste plaine de la vallée de la Garonne. Près de l'embouchure du Rhône, la Crau, également unie et nivelée, offre aux yeux un triste désert de pierres semé de maigres touffes de graminées. Certaines parties des bassins de la Garonne et de la Saône, la Limagne d'Auvergne, le centre du Berry, la Beauce entre Orléans et Étampes, la Brie autour de Meaux, la lisière des Flandres, la basse Lorraine, la vallée du Rhin en Alsace, sont des plaines fort unies, généralement riches et bien cultivées. Au contraire la Champagne pouilleuse, véritable désert de craie, présente quelques ondulations, et il en est de même de la Sologne et de la Bresse, entrecoupées de mares et d'étangs. La Saintonge, le Poitou, la Touraine et certaines parties de la Normandie, de l'Île-de-France, de la Picardie, de la Champagne et de la Bourgogne consistent en plateaux et en surfaces horizontales en grand, mais sillonnés et découpés par les rivières. Enfin le Plateau central de l'Auvergne, de la Marche et du Limousin, fort élevé à l'est et au sud, incline insensiblement au nord et à l'ouest sa vaste superficie, toute ravinée par les cours d'eau. Depuis l'embouchure de l'Escaut jusqu'à la pointe septentrionale du Jutland, s'étend, par les Pays-Bas, l'Allemagne du Nord-Ouest et une partie du Danemark, une plaine immense, basse, tourbeuse, traversée par de grands fleuves, et dont une partie, en Hollande, se trouve au-dessous du niveau de la mer. Le nord de la Prusse constitue également une plaine basse, souvent sablonneuse ou marécageuse, d'une fertilité médiocre ; elle se rattache à l'est et au nord aux vastes plaines de la Pologne et de la Russie. Sauf la Finlande et les abords de l'Oural et du Caucase, on peut considérer cette dernière contrée comme une plaine unique, à peine ondulée çà et là, et dont le sol s'élève insensiblement jusqu'au centre du pays, où les trop fameux monts Valdai ont à peine le relief de la butte Montmartre. Couverte de tourbières et de forêts d'arbres résineux dans le nord et dans

l'ouest, plus ou moins cultivée en céréales dans le centre et surtout dans le midi, où elle est très-fertile, la plaine russe consiste, dans les bassins du Don, du Volga et de l'Oural, en *steppes* herbeux alternativement ensevelis sous la neige ou brûlés par le soleil, et nourrissant difficilement les troupeaux de quelques hordes nomades. Dans les autres contrées de l'Europe les plaines occupent peu d'étendue, sauf la riche et magnifique vallée du Pô, en Italie, la Hongrie et le bassin inférieur du Danube, qui se rattache aux plaines du midi de la Russie.

En Asie, je signalerai d'abord les vastes plaines de la Sibérie, qui s'étendent presque sans interruption des Ourals au Kamtchateka, occupant une superficie de 2 346 000 kilomètres carrés. Leur altitude moyenne est de 78 mètres. Elles s'inclinent insensiblement vers l'océan Arctique, sauvages, désertes et perpétuellement glacées dans le nord, tourbeuses, puis couvertes de pâturages et de forêts à mesure qu'on se rapproche de leurs limites méridionales. Plus au sud, le désert de Gobi, dont la surface est de 1 296 200 kilomètres carrés, et l'altitude moyenne 1300 mètres, environ, se rattache aux steppes de la Mandchourie et du nord de la Chine. C'est un immense plateau ondulé, herbeux et dénudé, où les froids de l'hiver sont aussi extraordinaires que les chaleurs de l'été. Plus élevés encore et plus tourmentés, les plateaux du Thibet se confondent peu à peu avec les immenses montagnes qui les séparent des Indes et de la Chine. En Tartarie et dans le nord de la Perse, les steppes herbeux et nus du pourtour de la mer Caspienne, souvent sablonneux, remplis d'étangs saumâtres ou recouverts d'efflorescences salines, annoncent les déserts brûlants de la Syrie et de l'Arabie. Il existe cependant en Asie de vastes et riches contrées de plaines, notamment dans l'Indoustan, l'Indo-Chine et la Chine.

L'Afrique est occupée au nord par le plus grand *désert* du monde, le Sahara, dont la surface équivaut à peu près au triple de celle de la Méditerranée, et qui se rattache, par l'Égypte, aux déserts de l'Arabie et de la Syrie. Comme ces derniers, le Sahara consiste principalement en une vaste mer de sables brûlants absolument stériles, quelquefois soulevés en tourbillons et accumulés par le terrible vent du désert en montagnes mouvantes qui engloutissent les caravanes. D'autres parties sont rocailleuses ou argileuses; des dépressions occupées par des lacs saumâtres et couvertes d'efflorescences salines se remarquent çà et là dans le nord-ouest; des crêtes rocheuses de faible

hauteur viennent rompre de temps en temps la monotonie des horizons : mais le caractère général du Sahara et des déserts qui lui ressemblent, c'est la sécheresse et la stérilité. Des *oasis*, assez nombreuses dans l'ouest, et entretenues par quelques sources, forment de véritables îles de verdure, offrant aux caravanes des lieux de refuge et de ravitaillement. Le désert cesse sur la limite des pluies tropicales, laquelle ne commence qu'au delà du tropique du Cancer. Plus au sud l'Afrique est mal connue ; cependant on peut présumer, d'après les récits de hardis voyageurs, tels que Speake, Grant et Livingstone, que ces immenses régions, couvertes d'une végétation luxuriante, parcourues par des troupes d'éléphants et d'antilopes et habitées par une nombreuse population noire, consistent principalement, sauf à l'est et le long des côtes, en plaines et en plateaux, qui s'élèvent graduellement jusqu'aux montagnes de la contrée des grands lacs traversés par le Nil. Au nord de la colonie du Cap s'étendent, surtout dans le centre et dans l'ouest de l'Afrique, des plaines et des déserts. Les premières se rattachent peut-être à celles du Soudan et du bassin du Niger.

On peut considérer l'Amérique septentrionale comme une plaine immense, traversée à l'est par les Alleghanis, et limitée à l'ouest par les montagnes Rocheuses. Autrefois occupées par des forêts, les régions planes ou médiocrement ondulées situées entre les Alleghanis et l'Atlantique sont maintenant livrées à la culture. Entre le Mississipi et les montagnes Rocheuses s'étendent les vastes *prairies*, décrites avec tant de charme et de fidélité par le romancier Cooper, et dont les habitants autochtones, savoir les bisons et les Indiens, s'ararissent de plus en plus, refoulés vers l'ouest et détruits par l'homme civilisé. Sous l'influence d'une latitude plus méridionale, l'aspect de ces plaines se modifie dans le bas Mississipi et le Texas, où elles se couvrent d'une riche végétation arborescente, et se transforment en *savanes* fréquemment inondées. Du Mississipi aux montagnes Rocheuses, les prairies occupent un espace de 3 739 400 kilomètres carrés ; elles s'élèvent, en moyenne, à 144 mètres au-dessus du niveau de l'Océan. Elles confinent au nord les plaines entrecoupées de lacs, de grands cours d'eau et de tourbières, de l'Amérique anglaise, dont les parties voisines de la mer Polaire demeurent ensevelies sous les neiges pendant la plus grande partie de l'année. L'étendue de ces dernières n'est pas moindre de 6 327 000 kilomètres carrés ; de sorte que la grande plaine de l'Amérique du Nord oc-

cupe une superficie de plus de 40 millions de kilomètres carrés. A l'ouest des montagnes Rocheuses, il existe dans le Mexique et la Sonora des régions planes et élevées, dont quelques-unes, sablonneuses ou rocailleuses, constituent de véritables déserts, semés de lacs salés et d'efflorescences, et nourrissant une maigre végétation de plantes épineuses, de cactus et d'agaves. On les appelle *despoblados*.

L'Amérique du Sud ne le cède pas à l'Amérique du Nord sous le rapport de l'étendue de ses plaines. Situées à l'est de la Cordillère des Andes, sauf quelques lambeaux, elles se divisent naturellement en trois tenants. Ce sont, au nord, les *llanos* du Venezuela, traversés par l'Orénoque et ses affluents, et qui occupent une superficie de 900 000 kilomètres carrés. Plus au sud et sous l'équateur, l'immense bassin de l'Amazone, sur plus de 8 millions de kilomètres carrés, peut être regardé comme la continuation de ces llanos, ici plus boisés peut-être, moins marécageux et envahis par une végétation luxuriante et inextricable. Plus au sud encore, le troisième tenant est formé par les *pampas* du bassin de la Plata, qui se prolongent jusqu'en Patagonie. Leur surface est de 4 200 000 kilomètres carrés, environ. Ce sont des plaines fort unies, quelquefois nues ou semées de bouquets de bois, mais le plus habituellement couvertes de hautes herbes et de graminées gigantesques. A peu près désertes sur leur plus grande étendue, elles nourrissent d'immenses troupeaux de bœufs et de chevaux sauvages, décimés par le jaguar. D'après de Humboldt, à qui j'emprunte la plupart des résultats numériques énoncés ci-dessus, les plaines de l'Amérique méridionale ont ensemble une superficie de 14 100 000 kilomètres carrés, dans laquelle le littoral à l'ouest des Andes entre pour 948 000 kilomètres carrés seulement.

L'intérieur de l'Australie est trop peu connu pour qu'il soit possible d'en indiquer les régions planes, même approximativement. On sait cependant, grâce surtout à l'expédition si malheureuse de Burke, qu'elle renferme des déserts étendus, de vastes plaines ; que les montagnes y sont rares, sinon près de la côte est, et que le sol est, en général, peu élevé au-dessus du niveau de la mer, au moins dans la moitié orientale de ce continent.

**MONTAGNES.** — Ce sont des éminences isolées, ou plus fréquemment des séries d'éminences groupées de manière à constituer des massifs connus sous le nom de *chaînes*, dont la longueur dépasse

toujours la largeur, et devient quelquefois très-considérable. Les principales montagnes du globe sont.

En Europe : la Sierra Nevada et les autres chaînes de la péninsule Ibérique ; les Pyrénées, qui séparent la France de l'Espagne ; le massif du Plateau central avec les monts d'Auvergne, les Cévennes et les Vosges, en France ; le Jura entre la France et la Suisse ; les Alpes entre la France, la Suisse et l'Allemagne, d'une part, et l'Italie, d'autre part ; les Apennins en Italie ; les montagnes du pays de Galles et celles de l'Écosse ; la forêt Noire, le Harz et les montagnes de Bohême en Allemagne ; les Carpathes entre la Hongrie et la Pologne ; les Balkans dans la Turquie d'Europe ; les Alpes scandinaves entre la Norvège et la Suède ; l'Oural entre la Russie et la Sibérie ; le Caucase entre la Russie et l'Arménie.

Signalons ensuite rapidement : en Asie, le Taurus dans l'Asie Mineure ; le Liban, dans la Syrie ; les monts Altaï entre la Chine et la Sibérie ; les monts Bolor à l'ouest du grand plateau de la Tartarie, et de Gobi ; l'Indou-Koh ; les chaînes nombreuses et compliquées du Céleste Empire et du Thibet ; l'Himalaya entre le Thibet et l'Indoustan, et les Gattes dans cette dernière contrée ; — en Afrique, l'Atlas, qui traverse le Maroc et l'Algérie ; les monts d'Abyssinie et les chaînes littorales qui s'étendent à l'est, de la colonie du Cap au Mozambique et au delà ; — dans l'Amérique du Nord, les Alleghanis à l'est et les montagnes Rocheuses à l'ouest, ces dernières se rattachant à la Cordillère du Mexique et du Guatemala ; — dans l'Amérique du Sud, les chaînes basses du Brésil, puis l'immense Cordillère des Andes, qui fait suite à celle de l'Amérique du Nord ; — enfin, dans l'Australie, les chaînes littorales de l'est.

Nous nous occuperons maintenant des montagnes au point de vue de leur forme, de leur groupement, de leur direction, de leur hauteur, de leur pente, de l'étendue et même du volume des principales chaînes.

**Forme des montagnes.** — La *forme* d'une montagne considérée isolément peut toujours se rapporter à l'un des types suivants :

1<sup>o</sup> *Prismatique.* — C'est un prisme triangulaire couché sur son côté le plus large, qui forme la *base* de la montagne. Celle des trois arêtes du prisme qui s'élève dans l'air est le *sommet*, ou la *crête*, ou l'*arête*, ou la *ligne de faite*, ou encore la *ligne anti-clinale* de la montagne. Ce dernier terme seul a besoin d'être expliqué : l'arête d'une montagne prismatique s'appelle ligne anti-clinale, parce qu'elle est le lieu de rencontre des deux *flancs* ou

*versants*, qui s'inclinent en sens opposé. Ceux-ci ne sont autre chose que les deux faces du prisme non appliquées sur le sol. Le plus souvent l'arête s'abaisse peu à peu à ses extrémités pour se confondre avec la plaine ambiante, de sorte que le prisme paraît plus ou moins obliquement tronqué à ses deux bases géométriques. Telle est la théorie ; mais les montagnes régulièrement prismatiques sont fort rares, s'il en existe de telles dans le monde, et leur régularité se trouve altérée à chaque instant par mille et mille accidents. Et ce que je dis ici des montagnes prismatiques s'applique à celles de presque toutes les autres catégories. Le plus souvent arrondis, les flancs sont en outre ravinés, déchirés, bordés d'escarpements ou de rochers à pic ; jamais ils ne constituent un plan véritable. L'arête est au moins aussi irrégulière : tantôt arrondie ou tronquée ; tantôt infléchie en un arc immense, comme dans les massifs du mont Rose et de la Maladetta ; tantôt rectiligne et surplombant à pic d'un côté, de manière à former un de ces *crêts* qui semblent caractériser les chaînes jurassiques ; tantôt flexueuse, échancrée, dentée en scie ou démolie par des effondrements. Quelquefois l'arête manque, ou du moins la montagne ou le massif montagneux est tronqué et rasé à son sommet, qui se transforme ainsi en un plateau fort étendu : telles sont, par exemple, les Alpes scandinaves et la Cordillère du Mexique. Les dépressions de l'arête servent de passages naturels entre les deux versants ; on les appelle *ports* dans les Pyrénées, *cols* dans les Alpes et le Jura, *passages* dans les autres chaînes. L'arête est ordinairement surmontée, dans les grandes montagnes, par des saillies désignées, selon les lieux, sous les noms de *pics*, *aiguilles*, *pointes*, *dents*, *cornes*, *tours*, *cylindres*, *scies*, etc.

Les montagnes prismatiques sont les plus répandues. Elles ont deux origines principales. Le plus souvent on peut les considérer comme ayant été formées par un soulèvement du sol de bas en haut, agissant dans une direction rectiligne, sur une longueur qui correspond à celle de l'arête. L'effet du mouvement a été d'incliner les couches primitivement horizontales de l'écorce solide, des deux côtés de cette arête. Plus souvent encore, ces couches ont été rompues par l'effort, et l'on voit apparaître, au centre de la montagne et sur toute sa longueur, la roche massive ou stratifiée sous-jacente (fig. 27), qui en constitue l'arête et le noyau. Il est évident que les couches inclinées appliquées de part et d'autre sur ce noyau sont d'autant plus anciennes qu'elles s'en rapprochent davantage, si elles appartiennent à des terrains de sédiment, et que le contraire

a lieu, si elles appartiennent à des terrains d'origine ignée. Telle est la structure générale des Alpes, des Pyrénées, du Caucase et de toutes les grandes montagnes. Le Jura doit aussi sa formation au soulèvement, ou plutôt au plissement de ses couches, qui simulent d'énormes rides ; mais elles n'ont pas toujours été rompues, de sorte que beaucoup de montagnes jurassiques se rapprochent de la forme typique, à cette différence près que l'arête est arrondie en une sorte de *voûte*. Elles se rapportent plutôt à une moitié de cylindre ou de



Fig. 27. — Coupe théorique d'une montagne prismatique de soulèvement.

fuseau qu'à un prisme triangulaire. Le deuxième mode d'origine des montagnes prismatiques doit être attribué aux érosions. Les eaux torrentielles qui creusèrent autrefois les vallées ont souvent respecté certains massifs, comparables aux témoins qu'on laisse subsister dans les travaux de terrassement ; et quelquefois ces massifs, le plus souvent constitués par les couches horizontales ou peu inclinées des terrains sédimentaires, se rattachent à la forme prismatique : telle est la petite montagne de la Chaux, près de Montbéliard (fig. 28).



Fig. 28. — Coupe théorique de la montagne de la Chaux, près de Montbéliard.

2° *Pyramidale*. — La montagne est formée par un certain nombre de plans inclinés triangulaires, convergeant en un seul point, qui est le sommet, et dont les bases circonscrivent un polygone, qui est la base de la montagne. L'arête se réduit donc ici à un point. Quand elle est émoussée, elle constitue une aire polygonale, ordinairement semblable à celle de la base. Beaucoup moins fréquentes que les précédentes, les montagnes pyramidales doivent leur origine à des soulèvements ou à des érosions. Dans le premier cas, la force soulevante n'a été appliquée qu'en un seul point,

qui correspond au sommet orographique. Comme exemples, on peut citer beaucoup de pics alpins, notamment l'immense pyramide du mont Cervin, dont la hardiesse dépasse tout ce qu'on peut imaginer (fig. 29).



Fig. 29. — Pyramide du mont Cervin.

3° *Conique*. — La montagne est un cône ayant pour base un cercle ou une ellipse, et pour sommet un point, ou une aire arrondie dans le cas où le cône est tronqué. C'est la forme la plus habituelle des montagnes volcaniques. Ces cônes ont été formés, soit par l'accumulation et le tassement régulier, autour d'un centre, des scories rejetées par la bouche d'un volcan ; soit par un épanchement limité de basalte ou de phonilite accumulé sur un point ; soit par l'irradiation de coulées de laves inclinées ; soit peut-être par un soulèvement de couches horizontales autour d'un point ; soit enfin par l'action érosive des eaux. Les immenses volcans du Mexique et de l'Amérique méridionale offrent des exemples grandioses du premier mode d'origine (fig. 30), mais ils ne dépassent

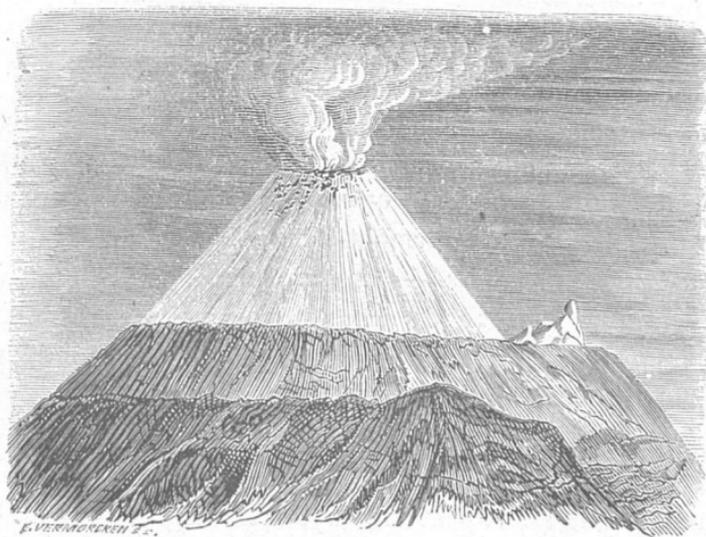


Fig. 30. — Cône de Cotopaxi.

point en régularité les cônes tronqués ou *puy* si parfaitement circulaires de Côme, des Goules et de Pariou, en Auvergne. Assez fréquemment les cônes volcaniques formés de scories accumulées sont éventrés d'un côté, et tronqués suivant un plan parallèle à la génératrice située dans le milieu de la face enlevée. Ils ont reçu le nom peu poétique de *cratères égueulés*. Tels sont les puy de Louchadière, de la Vache et de Lassolas, en Auvergne (fig. 31). Les

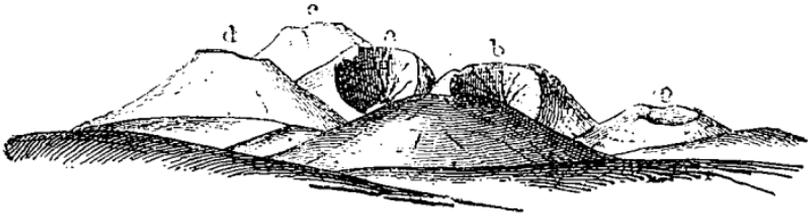


Fig. 31. — *a*, cratère égueulé de Lassolas; *b*, cratère égueulé de la Vache; *c*, puy de Mercœur; *d*, puy de Montchal; *e*, puy de Boursoix.

cônes basaltiques et phonolitiques, ou *pitons*, sont plus aigus, mais en même temps plus déprimés, plus écrasés que les précédents, de sorte que leur base est plus large proportionnellement à la hauteur. Ils abondent en Auvergne, dans le Velay et le Vivarais, surtout aux alentours du mont Mézenc, qui est lui-même un excellent type (fig. 32). Le cratère de Palma, l'une des Canaries, est l'exemple le



Fig 32. — Mont Mézenc, vu des Estables.

moins sujet à controverse que l'on puisse citer d'un cône de soulèvement. Enfin, on connaît de petites éminences, plutôt coniques que pyramidales, qui doivent leur origine aux érosions, notamment le puy de Crouelle, près de Clermont-Ferrand.

4° *En dômes et en ballons*. — Ces deux formes dérivent de la précédente, le dôme n'étant autre chose qu'un cône au sommet arrondi et émoussé, et le ballon, un dôme à base elliptique et allongée plutôt que circulaire. Les premiers sont éruptifs, et proviennent, comme les pitons, d'épanchements de roches ignées, qui se sont entassées sur un seul point. Le gigantesque Chimborazo, dans les Andes, le Puy-de-Dôme, le grand et le petit Sarcouy, en Auvergne (fig. 33), offrent d'excellents exemples, les Sarcouy surtout, dont la forme rappelle

un segment de sphère parfaitement régulier. Les ballons sont aussi constitués par des roches éruptives ; mais ces roches, généralement granitiques, se désagrègent facilement, et leurs aspérités s'émoussent et disparaissent à la longue. C'est à la désagrégation longtemps prolongée de montagnes primitivement anguleuses, dont l'arête

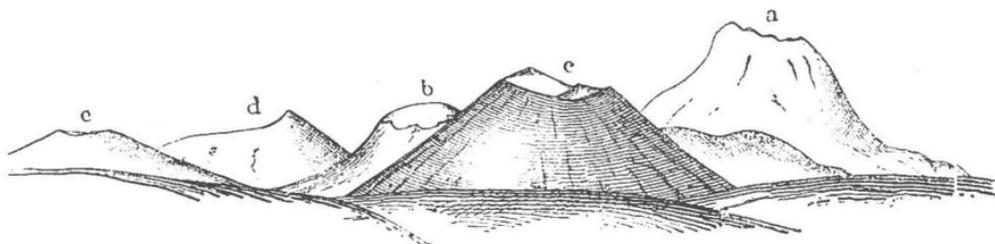


Fig. 33. — *a*, puy de Dôme ; *b*, le Petit Sarcouy ; *c*, puy de Côme ; *d*, puy de Pariou ; *e*, puy de Fraisse.

était d'ailleurs recourbée et assez courte, que les ballons doivent leur forme définitive. Les chaînes des Vosges et de la forêt Noire (fig. 34) en sont presque entièrement composées. Les *mamelons* sont



Fig. 34. — Ballons des Vosges.

les diminutifs des ballons, dont ils ont aussi l'origine. Ils abondent dans le Plateau central de la France, notamment autour de Guéret, d'Ahun, de Saint-Sulpice-Laurière ; en Bretagne et en Vendée ; dans l'Estérel, en Provence, etc.

5° *En massifs émoussés*. — Ce sont des régions, souvent fort étendues, à surface plus ou moins lisse ou ondulée, terminées de toutes parts par des pentes douces et arrondies, et qui s'élèvent comme des îles au-dessus des plaines environnantes. Ces massifs renferment souvent, dans leur intérieur, d'autres montagnes de diverses formes. Si leurs dimensions horizontales n'étaient pas à peu près les mêmes en tous sens, on les considérerait comme des chaînes de montagnes ; s'ils avaient moins d'étendue, ce seraient des dômes ou des ballons écrasés en goutte de suif. Comme exemples, je citerai le Plateau central de la France, formé par le soulèvement et l'épanchement de roches ignées anciennes, les unes stratifiées, les autres massives ; la montagne Noire, entre Castres et Carcassonne, consistant en un centre granitique qui a relevé autour de lui une ceinture de terrains

sédimentaires anciens ; le Kayserstuhl, au milieu de la plaine du Rhin, près de Fribourg, qui doit son origine à des épanchements de dolérites étalées sur une vaste superficie (fig. 35).



Fig. 35. — Le Kayserstuhl, vu de Fribourg en Brisgau.

6° *En tables et en plateaux.* — Ce sont des surfaces planes, horizontales ou faiblement inclinées, qui s'élèvent brusquement au-dessus des plaines ambiantes, tantôt isolées, tantôt se rattachant par un isthme plus ou moins élargi à quelque massif montagneux. Les montagnes en tables et en plateaux se distinguent donc de celles de la catégorie précédente, parce que la surface en est plane et que les pentes qui les circonscrivent sont fort roides et souvent à pic (fig. 36).

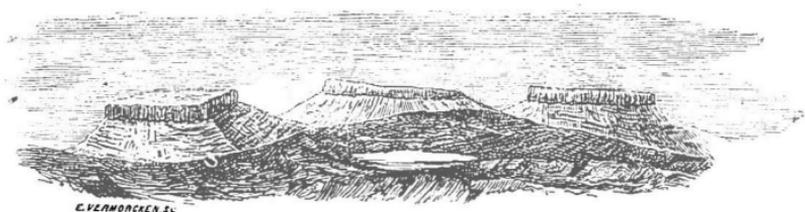


Fig. 36. — Tables et plateaux basaltiques.

Quelquefois les plateaux sont étagés, comme dans certaines parties des Corbières. Les escarpements verticaux qui bordent les plateaux sont appelés *falaises*. Les montagnes en plateaux se distinguent encore de celles en massifs par la forme beaucoup plus variée de leur base, ou, ce qui revient au même, de leur surface. Celle-ci est toujours plus ou moins circulaire ou elliptique dans les massifs ; au contraire, dans les plateaux, elle affecte toutes les formes possibles, tantôt carrée et ramassée, tantôt étroite et allongée, quelquefois anguleuse ou festonnée, et découpée en *redans* et en *promontoires*. Le plus souvent, les montagnes en tables et en plateaux sont formées de terrains sédimentaires à stratification horizontale, et doivent leur origine à l'action isolée ou collective d'exhaussements, d'affaissements et d'érosions. Telles sont, par exemple, la montagne de la Table, au cap de Bonne-Espérance ; le rocher sur lequel est assise la ville de Monaco ; certaines régions des Corbières et des Causses du midi de la France ; les plateaux du Jura franc-comtois, et ceux

du Champ-du-Feu, dans les Vosges. Quelquefois le plateau s'élève brusquement en falaise du côté où il présente la tranche de ses couches, et s'abaisse insensiblement de l'autre, pour se confondre avec les plaines. Cette forme, qui rattache les montagnes en plateaux aux montagnes prismatiques, est celle de l'Albe de Souabe et des hauteurs qui terminent le Jura, du côté des Vosges, entre Belfort et Villersexel (fig. 37). Les tables et les plateaux isolés en monta-



Fig. 37. — Coupe idéale de la falaise sous-vosgienne, au nord de Montbéliard.

gnes ont aussi une origine ignée. Ils consistent alors en coulées de trachytes ou de basaltes : telles sont les montagnes de la Serre, de Gergovia et de Chanturgue près de Clermont. Dans ces localités, les nappes de basalte ont préservé des érosions les calcaires d'eau douce sur lesquels elles reposent, et s'élèvent au-dessus de la Limagne comme des murailles ou des ouvrages de fortification. Quand elles sont fort étendues dans tous les sens, les montagnes tabulaires ne se distinguent plus des plateaux ou plaines élevées dont il a été question précédemment.

7° *Montagnes mixtes*. — Elles participent de deux ou plusieurs des formes précédentes ; mais la dénomination concerne plutôt les montagnes groupées en chaînes que les montagnes isolées, où les formes mixtes ne s'observent que rarement. Comme exemple de chaînes mixtes on peut citer les Pyrénées, qui se rattachent presque partout à la forme prismatique, mais qui se terminent, du côté de la Méditerranée, par les monts Albères, dont les sommets sont des ballons ou des mamelons ; le Jura, où la forme prismatique se combine avec la forme tabulaire ; les Vosges, qui consistent en ballons, mais qui renferment aussi des plateaux fort étendus, vers leur extrémité septentrionale.

**La forme des montagnes dépend beaucoup de la nature des roches.** — Le lecteur a sans doute reconnu que la nature des roches exerce une grande influence sur la forme des montagnes. A cet égard, on peut établir plusieurs catégories.

1° *Roches éruptives détritiques, à structure massive* (certains granites, certaines syénites, certains porphyres). — Elles donnent des formes massives, émoussées, arrondies ; les escarpements sont

exceptionnels, mais les ravinelements abondent, et leurs sinuosités découpent les surfaces planes en mamelons arrondis. Avec ces roches se rapportent les ballons, les mamelons et les massifs émoussés de l'Estérel, du Plateau central et des Vosges.

2° *Roches éruptives non détritiques, à structure massive* (les mêmes que les précédentes). — Les formes sont très-variées, mais généralement hardies et sauvages; les crêtes et les déchirures restent vives et aiguës, tout est heurté et anguleux; cependant les escarpements à pic font généralement défaut. A ces roches se rapportent les pyramides, les crêtes, les dents, les aiguilles du Caucase, des Alpes et des Pyrénées.

3° *Roches ignées stratifiées non détritiques* (schistes cristallins). — Donnent des formes àpres et sauvages comme dans le cas précédent. Les accidents sont moins grandioses, mais peut-être plus fréquents, et les escarpements à pic deviennent habituels. A ces roches se rapportent un grand nombre des aiguilles, des dents, des cornes, des tours, des scies, etc., des Alpes et des Pyrénées.

4° *Roches volcaniques massives non détritiques* (trachytes, phonolites, basaltes). — Donnent les dômes, les pitons et certaines tables.

5° *Roches sédimentaires stratifiées* (argiles, grès, calcaires). — Elles présentent toutes les formes, sauf les cônes, les dômes et les ballons. Les plateaux et les ploiements allongés arrondis en voûtes ou brisés avec crêts surplombants dominent; sans faire défaut, les dents, les pointes, les aiguilles et surtout les crénelures sont beaucoup plus rares que dans les montagnes formées par les roches de la deuxième et de la troisième catégorie; en revanche, les ravinelements et les ruptures produisant des falaises à pic, des tours et des remparts deviennent la règle générale. Comme exemples, on peut citer les montagnes du Cap, les Corbières, le Jura, les Alleghanis.

6° *Roches meubles et incohérentes de toute espèce* (sables, graviers, éboulis, cendres et scories volcaniques). — Donnent les puys volcaniques et les talus rocailleux, si fréquents au pied des escarpements, et surtout des crêts jurassiques. Chassés par le vent, les sables s'entassent quelquefois de manière à former des *dunes*, monticules mamelonnés qui ne sont pourtant pas des montagnes.

**Grouperment des montagnes.** — Rarement les montagnes sont isolées; le plus souvent elles affectent certains *groupements*, d'où résultent diverses manières d'être qui peuvent se classer comme il suit :

1° *Montagnes isolées.* — Ce sont surtout les cônes volcaniques, tels que le Vésuve, le Stromboli, le pic de Ténériffe.

2° *Montagnes groupées non contiguës.* — Ce sont encore les cônes volcaniques, groupés dans certaines contrées, en Auvergne, par exemple, à la manière d'immenses taupinières dont plusieurs se confondent par leur base (fig. 38).

3° *Montagnes mixtes.* — Ce sont des volcans contigus ou isolés s'élevant au-dessus d'un soubassement formant lui-même une chaîne continue. Tel est le cas des montagnes des Andes du Pérou et de la Bolivie. Les volcans du Mexique constituent une sorte de moyen terme entre cette catégorie et la précédente, et il en serait de même des puys de l'Auvergne, si l'on pouvait considérer comme une chaîne régulière le massif granitique qui les supporte.

4° *Chaînes.* — Elles sont composées de montagnes contiguës, le plus souvent de formes analogues, s'étendant sur de grandes surfaces dont la longueur dépasse de beaucoup la largeur. Telles sont les montagnes des Vosges, du Jura, des Alpes, de Pyrénées, du Caucase, de l'Himalaya, des Cordillères. Il faut bien se garder de confondre les chaînes avec les *systèmes de montagnes*, cette dernière expression ayant un sens tout à fait différent en géologie. Par système, on entend simplement une direction, une orientation ; de sorte qu'un système orographique peut être marqué tout aussi bien par des failles et d'autres accidents de stratification ou par des alignements volcaniques, que par de véritables montagnes.

**Chaînes de montagnes.** — Étudions maintenant, avec plus de détail, la structure des *chaînes de montagnes*. Tout ce qui précède était relatif aux montagnes isolées ; tout ce qui va suivre aura rapport aux montagnes groupées.

Une chaîne est généralement formée par une arête centrale brisée,



Fig. 38. — Volcans d'Auvergne, vus d'après la route des monts Dore.

flexueuse, curviligne ou rectiligne, et, dans ce cas seulement, affectant une orientation déterminée; puis de *chaînon*s ou *contreforts* formés eux-mêmes de montagnes attenantes. Ces chaînon s abou tissent à l'axe de diverses manières. Tantôt ils le rencontrent dans une direction normale, ou à peu près, comme dans la partie centrale des Pyrénées françaises; tantôt ils viennent le joindre obliquement, comme dans certaines régions des Pyrénées espagnoles et des Alpes; tantôt enfin ils sont disposés parallèlement à cet axe, comme dans le Jura et les Alleghanis. Quand les montagnes en ballon dominant dans une chaîne, il est plus difficile de délimiter les chaînon s; cependant les ruisseaux qui les séparent ordinairement aident à les reconnaître. Très-rarement les contreforts d'une même chaîne affectent tous la même direction et la même incidence: le Jura renferme des chaînon s assez étendus, le Lomont, par exemple, qui se rattachent à l'ensemble en formant des angles aigus, et non des lignes parallèles, comme tous les autres contreforts.

**Orientation des chaînes.** — L'*orientation* d'une chaîne est donc le plus souvent difficile, et même impossible à déterminer. Telle est, par exemple, celle du Jura, dont les chaînon s, dirigés est-ouest dans la partie septentrionale, s'infléchissent progressivement du côté du midi, et finissent par prendre une direction nord-sud à l'extrémité méridionale de la chaîne. Celle-ci décrit par conséquent un immense arc de cercle, dont il serait téméraire de préjuger l'orientation moyenne, la direction à assigner ne convenant jamais qu'à une faible partie de l'ensemble. Les Alpes, les Cordillères et la plupart des chaînes de montagnes sont également infléchies et même repliées plusieurs fois suivant des directions variées. Ici intervient, il est vrai, la stratigraphie, qui nous enseigne qu'une chaîne de montagne n'est pas le résultat d'une action unique et instantanée; que toutes les parties n'en sont pas contemporaines, et qu'elles appartiennent, en réalité, à plusieurs systèmes orographiques différents. Cela peut être, et cela existe, en effet, dans beaucoup de circonstances; néanmoins, avant de traiter cette importante question avec tous les détails qu'elle comporte, je ne puis m'empêcher de signaler, en passant, l'un des inconvénients d'une doctrine qui disloque la plupart des chaînes de montagnes, pour en rattacher les membres épars à d'autres chaînes, quelquefois situées dans un hémisphère différent. Comme exemple, je citerai de nouveau les montagnes du Jura, dont une partie se rapporte, d'après certains géologues, au système de la côte d'Or, une autre au système de la vallée du Doubs,

une autre au système du mont Viso, une autre au système de la vallée du Rhône, une autre au système du Tatra, une autre enfin au système du Vercors, sans compter ce qui a pu m'échapper et ce qui a échappé aux classificateurs. L'esprit se prête difficilement à cette dissection d'un ensemble dont toutes les parties offrent les caractères d'une aussi remarquable uniformité.

**Axes d'une chaîne.** — Toutes les fois qu'il s'agit de déterminer l'orientation d'une chaîne de montagnes ou d'un simple contrefort, on doit s'assurer, au préalable, de la direction de son *axe*, ligne idéale qui traverse la chaîne dans toute sa longueur. En ce qui concerne particulièrement les axes, on a imaginé d'assez nombreuses catégories, qui me paraissent rentrer dans les trois suivantes :

1° *Axe géographique.* — C'est celui qui partage, autant que possible, en deux parties égales, le plan de la base de la chaîne.

2° *Axe orographique.* — C'est la ligne qui en joint les points culminants.

3° *Axe stratigraphique.* — C'est la ligne qui sépare les versants opposés, et marque le lieu de rencontre des strates, ou couches inclinées par le soulèvement, ou bien qui indique l'intersection des deux versants, dans les montagnes formées par érosion.

Le plus souvent les trois axes ne coïncident pas, ou plutôt ne sont pas situés dans un même plan vertical. L'axe géographique indique toujours rigoureusement le milieu de l'espace occupé par la chaîne; mais toutes les fois que l'inclinaison des deux versants n'est pas la même, l'axe stratigraphique, qui marque l'arête principale, se trouve rejeté du côté de la pente la plus rapide. L'axe orographique peut exister également en dehors de cette arête, quand les hauts sommets s'en écartent eux-mêmes. Tel est le cas dans les Pyrénées, où l'axe stratigraphique se tient constamment au sud de l'axe géographique, et où l'axe orographique décrit une courbe au sud des deux autres, vers le milieu de la chaîne, pour toucher les sommets du Néthou, du Pozet et du mont Perdu, situés en dehors de l'arête, sur le territoire espagnol.

**Inclinaison des versants.** — L'*inclinaison* ou la *pente* des versants d'une chaîne est rarement la même des deux côtés; elle varie quelquefois dans les mêmes montagnes, suivant le point où on l'observe. La sierra Nevada, les Pyrénées, les Alpes, le Caucase, l'Himalaya et beaucoup de chaînes dirigées de l'ouest à l'est, ont leurs pentes rapides au midi; les montagnes Rocheuses et la Cordil-

lère des Andes, les Alpes scandinaves, la forêt Noire, le Liban, l'Oural et d'autres montagnes orientées du nord au sud, ont leurs pentes rapides à l'ouest. De ces faits, qu'on a trop généralisés, on a voulu tirer certaines conclusions, qui se trouvent infirmées par d'autres faits. Ainsi l'Atlas a ses pentes rapides au nord, les Cévennes, le Jura et les Vosges ont les leurs du côté de l'est. On a dit encore que les montagnes qui entourent une mer intérieure présentent leurs escarpements à cette mer, et l'on a cité comme exemple la Méditerranée. Mais à cet exemple on pourrait opposer ceux de la Baltique et du golfe du Mexique; d'ailleurs, pas plus que les montagnes qui l'entourent de près ou de loin, la Méditerranée n'a été formée en une seule fois et par un acte unique. Il suffit presque de mentionner de pareilles doctrines pour qu'elles se trouvent en même temps réfutées.

**Degré de la pente.** — La pente des chaînes de montagnes est en général si faible, que plus d'un lecteur éprouvera sans doute de l'étonnement en prenant connaissance des chiffres qui vont suivre. Rien de si habituel, en effet, que les illusions d'optique dans les montagnes, dont on exagère la hauteur et l'escarpement pour en diminuer la distance. Dans les profils géologiques, l'échelle des hauteurs est toujours plus grande que celle de l'éloignement horizontal; autrement les montagnes les plus élevées ne produiraient qu'un faible relief, et les inégalités des pays de plaine passeraient inaperçues. La pente se détermine d'ailleurs en joignant par une droite la base de la chaîne à l'arête principale, et en mesurant l'angle qu'elle forme avec le plan de l'horizon. Voici les résultats de quelques mesures

Pente orientale des Vosges.....	2° 30'
Pente méridionale des Alpes.....	3° 20°
Pente des Pyrénées françaises.....	3° à 4°
Pente de l'Etna, du sommet à la mer...	9°
— du sommet à la base..	10° 13'
Pente du pic de Ténériffe.....	12° 29'
Pente du Vésuve.....	12° 41'

Les pentes moyennes des plus grandes chaînes varient de 2 à 6 degrés ou de 0,03492 à 0,10510 par mètre; mais il faut remarquer que celles des crêtes et des principales cimes sont toujours plus considérables, parce que les basses montagnes et les collines qui environnent les hautes sommités, et s'étendent quelquefois très-loin à leur pied, occupent la majeure partie de l'aire de la base des

chaînes. Les pentes les plus rapides sont celles des volcans. Certaines parties des cônes du Vésuve, du Pichincha, du Torullo, atteignent 40 et même 42 degrés; mais ce sont là des faits exceptionnels, les cônes se tassent à 35, rarement à 40, jamais à 45 degrés. Les éboulis des carrières et les talus naturels, si fréquents au pied des escarpements, et dont l'inclinaison est d'abord de 40 à 42 degrés, se tassent à 35 degrés et au-dessous. Les pentes qui ne dépassent pas 2 degrés sont aisément franchies par les voitures; à 7 ou 8 degrés, elles commencent à leur devenir impraticables. La pente de 15 degrés marque la limite accessible aux bêtes de somme chargées, et l'homme peut à peine gravir les talus de 40 à 42 degrés, dans les scories volcaniques.

**Hauteur des montagnes.** — Rien de plus variable que la *hauteur* des montagnes. Le tableau ci-dessous dispensera de tout commentaire à cet égard.

*Europe.*

	Mètres.		Mètres.
Sierra Nevada (Mulhacen).	3555	Apennins (Monte-Corno) ..	2900
Pyrénées (Néthou) . . . . .	3404	Carpathes (Tatra) . . . . .	2701
Cévennes (Mézenec) . . . . .	1766	Harz . . . . .	1115
Monts Dore (pic de Sancy).	1886	Alpes scandinaves (Ymer-	
Jura (Reculet) . . . . .	1727	field) . . . . .	2500
Vosges (Ballon de Soultz).	1422	Etna . . . . .	3313
Alpes (mont Blanc) . . . . .	4813	Vésuve . . . . .	1181
— (mont Rosé) . . . . .	4636	Hécla . . . . .	1557

*Asie.*

Caucase (Elbrouz) . . . . .	5464	Kouen-Lun . . . . .	7150
Grand Ararat . . . . .	4566	Himalaya (Everest) . . . . .	8840
Liban . . . . .	2906	— (Davalaguir) . . . . .	8176
Altaï . . . . .	3490	— (Jaouaïr) . . . . .	7848
Dapsang (Kara Koroum) . . . . .	8640		

*Afrique.*

Killimandjaro . . . . .	6116	Mont Ambostimène (Mada-	
Atlas marocain . . . . .	3465	gascar) . . . . .	2517
Pic de Ténériffe (Canar-		Mont de la Table (colonie	
ries) . . . . .	3711	du Cap) . . . . .	1163

*Amérique septentrionale.*

Mont Saint-Élie (Amérique		Alleghanis (Mont Washing-	
russe) . . . . .	5400	ton) . . . . .	4918
Pic Fremont . . . . .	4135	Sierra Nevada . . . . .	4786

*Amérique septentrionale.*

	Mètres.		Mètres.
Montagnes Rocheuses (San-ta-Fe).....	2705	Orizaba (Mexique).....	5295
		Popocatepetl (Mexique)...	5440

*Amérique méridionale.*

Aconcagua (Plata).....	7291	Sorata (Bolivie).....	6488
Sohama (Pérou).....	7012	Gualatieri (Bolivie).....	6693
Chimborazo (Pérou).....	6530	Arequipa (Pérou).....	5782
Ilimani (Bolivie).....	6509	Itatiago (Brésil).....	2994

*Océanie.*

Maouna-Roa (Hawaï).....	4888	Semirou (Java).....	3800
Berapi (Sumatra).....	3960	Orohéna (Tahiti).....	2237

Ainsi, d'après l'ordre de la hauteur de leurs montagnes, les parties du monde se succèdent comme il suit : Asie, Amérique méridionale, Afrique, Amérique septentrionale, Europe, Océanie.

**Altitude des arêtes.** — Les chiffres du tableau ci-dessus indiquent l'altitude des hauts sommets, mais ne nous renseignent pas suffisamment sur celle des chaînes considérées dans leur ensemble, cette dernière étant une moyenne entre l'altitude des hauts sommets, des arêtes et des cols. Le tableau suivant indique l'altitude moyenne des arêtes dans les chaînes les mieux connues.

	Mètres.		Mètres.
Thuringerwald.....	680	Pyrénées.....	2437
Vosges.....	900	Andes de Bolivie.....	3607
Jura.....	1100	Himalaya.....	4777
Alpes.....	2340		

Les rapports entre la hauteur des sommets et celle des cols sont les suivants :

Pyrénées.....	1/1,5	Atlas.....	1/2
Jura.....	1/1,5	Alpes.....	1/2
Andes.....	1/1,8	Caucase.....	1/2,30
Himalaya.....	1/1,8		

J'ajouterai que la hauteur absolue d'une chaîne de montagnes ne peut se préjuger de celle de l'arête et des cols, ceux-ci étant plus élevés dans les Pyrénées que dans les Alpes.

**Longueur et largeur des chaînes.** — Le tableau suivant indique la longueur de quelques chaînes.

	Kilomètres.		Kilomètres.
Pyrénées .....	420	Monts du Tian-Chan...	3 470
Monts du Camtchatca..	890	Monts du Kouen-Lun..	3 522
Alpes, environ.....	900	Andes de l'Amérique du	
Gattes.....	1 250	Sud .....	9 335
Alpes scandinaves.....	1 790	Cordillère des deux Amé-	
Himalaya.....	2 560	riques.....	16 667

On voit qu'elle n'est nullement en rapport avec la hauteur. Elle ne l'est pas beaucoup plus avec la *largeur*. On estime cette dernière à 115 kilomètres pour les Pyrénées entre Saint-Gaudens et Grauss; et, pour les Alpes, à 146 kilomètres du Righi à Côme, à 168 kilomètres entre Salzbourg et Oppodo et à 222 kilomètres au maximum. Dans les deux chaînes, la largeur correspond à un peu plus du quart de la longueur. Cette largeur représente celle de la base; elle ne permet pas non plus de préjuger la forme ni les dimensions de l'arête: aiguë et tranchante dans les Pyrénées, large de 32 à 48 kilomètres dans les Alpes scandinaves, et atteignant même 160 à 200 kilomètres dans la Cordillère du Mexique. Alors elle est remplacée par un plateau.

**Surface occupée par quelques chaînes.** — Le tableau suivant indique approximativement la *surface de la base* de quelques chaînes.

	Kilom. carrés.		Kilom. carrés.
Alpes .....	83 300	Monts de la Chine....	1 680 000
Caucase .....	83 300	Andes de l'Amérique du	
Altaï.....	135 800	Sud.....	1 821 000
Cordillère du Mexique.	485 200	Toutes les chaînes de la	
Montagnes Rocheuses..	1 296 200	même contrée.....	3 531 000

**Volume des chaînes.** — Exprimé en mètres cubes, le *volume* des chaînes de montagnes donnerait des chiffres énormes. La méthode qui consiste à supposer les montagnes démolies, et leurs matériaux étalés uniformément sur une certaine étendue de pays ne peut fournir que des résultats extrêmement vagues. On a trouvé que la France serait exhauscée de 35 mètres par les Pyrénées et de 42 mètres par les Alpes françaises; l'Europe, de 7 mètres par les Alpes; l'Asie de 2 mètres par l'Oural et l'Altaï, et de 251 mètres par les montagnes de la Chine; l'Amérique méridionale de 126 mètres par la Cordillère des Andes, etc.; mais ce sont là des données encore

plus incertaines que celles de même nature exprimant le relief des continents.

**Physionomie des montagnes.** — On voit, par tout ce qui précède, que la *physionomie* des montagnes dépend d'une foule de conditions qui se trouvent rarement les mêmes dans deux chaînes différentes. A cet égard je ne connais guère qu'une exception : les Vosges et la forêt Noire, toutes deux composées de ballons, et absolument identiques par leurs formes, leur structure, leur hauteur moyenne, leur climat, leur végétation. Les massifs granitiques de la Vendée et du Plateau central de la France offrent aussi des traits communs ; mais les accidents du sol ont beaucoup plus d'importance dans le massif central. Les Alpes et les Pyrénées se ressemblent également par leurs formes hardies et leurs aspects grandioses (fig. 39) : mais les Pyrénées sont plus nivelées, plus uniformes ; leurs arêtes et leurs passages s'élèvent davantage et deviennent moins facilement accessibles (fig. 40) ; elles manquent de glaciers étendus et de grands lacs, et ne sont pas dominées par ces pics immenses



Fig. 40. — Profil des Pyrénées, vues de Toulouse, d'après de Charpentier.

qui rendent les Alpes et le Caucase plus imposants que l'Himalaya lui-même. Dans cette dernière chaîne, en effet, les sommets paraissent diminués par les massifs élevés qui les pressent de toutes parts. Disposées en plissements parallèles extrêmement allongés, quelquefois séparées par des plateaux fort monotones, entrecoupées de gorges et de ravinements à pic d'une beauté sauvage, les chaînes jurassiques contrastent fortement avec toutes les autres montagnes de l'Europe, et ne se rapprochent que des Alleghanis (fig. 41). Tout ensemble montagneux a donc sa physionomie particulière, qu'on ne peut confondre avec aucune autre dès qu'on l'a bien comprise. D'ailleurs, les expressions *plaine* et *montagne* n'ont qu'une valeur relative. Après une excursion dans les Alpes, le touriste remarque à peine le Jura, qu'il admirait naguère. Pour l'habitant des Landes ou de la Sologne, les surfaces ondulées et ravinées du Poitou ne sont plus des plaines ; au contraire, le montagnard des Alpes qualifie de collines des reliefs qui dépassent les Vosges, et donne le nom de plaine aux contrées basses, mais souvent fort accidentées

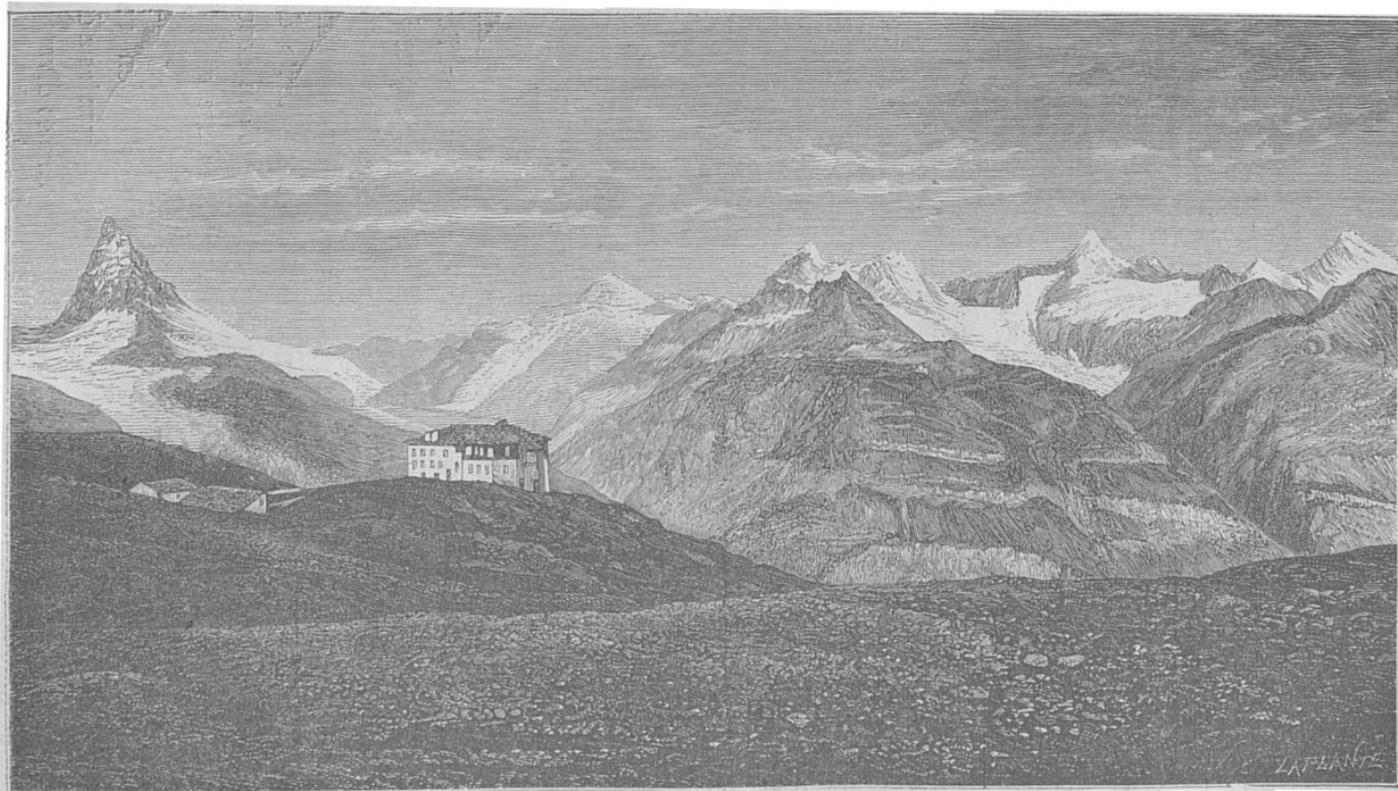


Fig. 39. — Profil des Alpes (dents et aiguilles).

du bassin suisse. Dans le nord de l'Allemagne, on appelle montagne le moindre pli de terrain. Les Valdaï jouissent en Russie d'une réputation qui serait imméritée s'ils n'offraient, comme circonstance

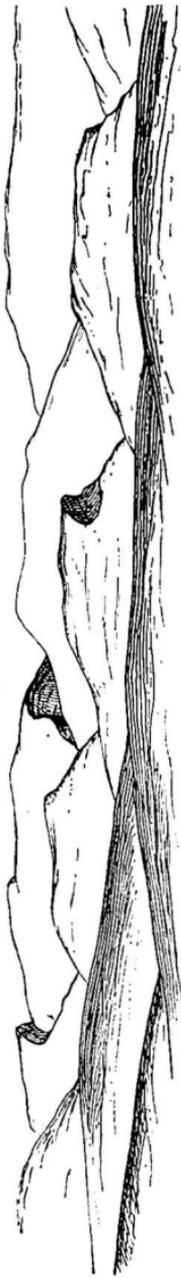


Fig. 41. — Chaîne du Lomont (Jura), vue de Porrentruy.

atténuante, le magnifique panorama qu'on découvre de leur sommet. Ainsi, la comparaison et le contraste sont pour beaucoup dans le choix des dénominations appliquées aux accidents du sol. M'est-il permis d'ajouter que les cartes géographiques, surtout celles qu'on publie en France, contribuent à répandre l'erreur chez les personnes qui voyagent peu, et qui s'exagèrent singulièrement l'importance de certains reliefs, en voyant l'intérieur de la Russie, les plateaux entre Loire et Seine ou encore la plaine du Languedoc entre les Corbières et la montagne Noire traversés par des chaînes aussi fortement ombrées que les Pyrénées et le Caucase?

**VALLÉES.** — Les vallées sont la contre-partie des montagnes. Elles consistent en dépressions ou sillons allongés, souvent flexueux, d'une profondeur et d'une largeur très-variables. Elles abondent à tous les niveaux, mais c'est dans les montagnes qu'elles atteignent leur plus grande profondeur et qu'elles offrent les aspects les plus pittoresques. Pour le géologue, une vallée est une dépression formée par une seule et même action, et dont toutes les parties ont une semblable origine ; pour le géographe, au contraire, toute dépression occupée par un cours d'eau depuis sa source jusqu'à son embouchure est une même vallée, quoique cette dépression puisse consister, aux yeux du géologue, en une succession de vallées différentes formées à des époques distinctes et par des causes diverses.

Ainsi, le Rhône, à son origine, coule dans la grande plaine du Valais, comprise entre la chaîne principale des Alpes et les Alpes bernoises, qui se réunissent au Saint-Gothard. Cette plaine est un des types les mieux caractérisés de vallées interceptées entre des

montagnes confluentes. A sa sortie du lac de Genève, le même fleuve franchit les chaînes du Jura dans des gorges étroites et sauvages produites par des déchirures du sol et élargies par l'érosion : c'est donc une vallée tout à fait distincte de la précédente, et par son origine et par son orientation. Au delà de Lyon, le Rhône a creusé son lit dans la dépression, d'abord étroite et accidentée, puis de plus en plus aplanie et élargie qui sépare les Cévennes des contreforts des Alpes et des montagnes de la Provence : troisième vallée bien distincte de la précédente, mais analogue à la première. Ainsi, pour le géographe, une vallée est plutôt un bassin hydrographique.

On peut établir trois catégories de vallées : les vallées orographiques, les vallées de déjection, et les vallées d'érosion.

**Vallées orographiques.** — Les *vallées orographiques* doivent leur origine à des phénomènes orographiques quelconques. Très-fréquemment elles consistent en un espace étroit et allongé, primitivement plan ou à peu près, qui se trouve plus tard intercepté entre deux chaînes de montagnes ou entre deux chaînons surgissant à sa droite et à gauche : ce sont les *vallées orographiques proprement dites*. Leur mode de formation n'est pas sans quelque analogie avec celui des vallées de déjection. Elles abondent dans toutes les grandes montagnes : le Valais, que je viens de citer ; la vallée de l'Aar, dans les Alpes bernoises ; celles de Chamonix, d'Aoste, de Viège, dans les grandes Alpes ; les vallées de l'Ariège, de la Garonne, de la Pique, de l'Adour, de l'Essera, dans les Pyrénées, en offrent de beaux exemples. Ce sont les plus profondes, les plus sauvages et les plus pittoresques de toutes les vallées, quoique les escarpements à pic ne s'y rencontrent que rarement, et qu'elles soient formées par des plans inclinés et en retrait (fig. 42).

**Vallées de ploiement.** — Une deuxième catégorie de vallées orographiques consiste dans les *vallées de ploiement*. Ce sont des dépressions rectilignes et allongées comprises entre deux chaînes parallèles, les unes et les autres formées par le plissement et les ondulations des mêmes couches de terrains sédimentaires. Elles n'existent guère que dans le Jura, et, assure-t-on, les Alleghanis. Dans la première de ces chaînes, on les désigne sous le nom de *vals*. Les plus considérables, ceux de Delémont, de Saint-Imier, de Ruz et de Travers, ont une grande profondeur, et sont bordés par des chaînes d'un aspect vraiment pittoresque ; cependant, le plus souvent, les vals longitudinaux du Jura ne consistent qu'en dépres-

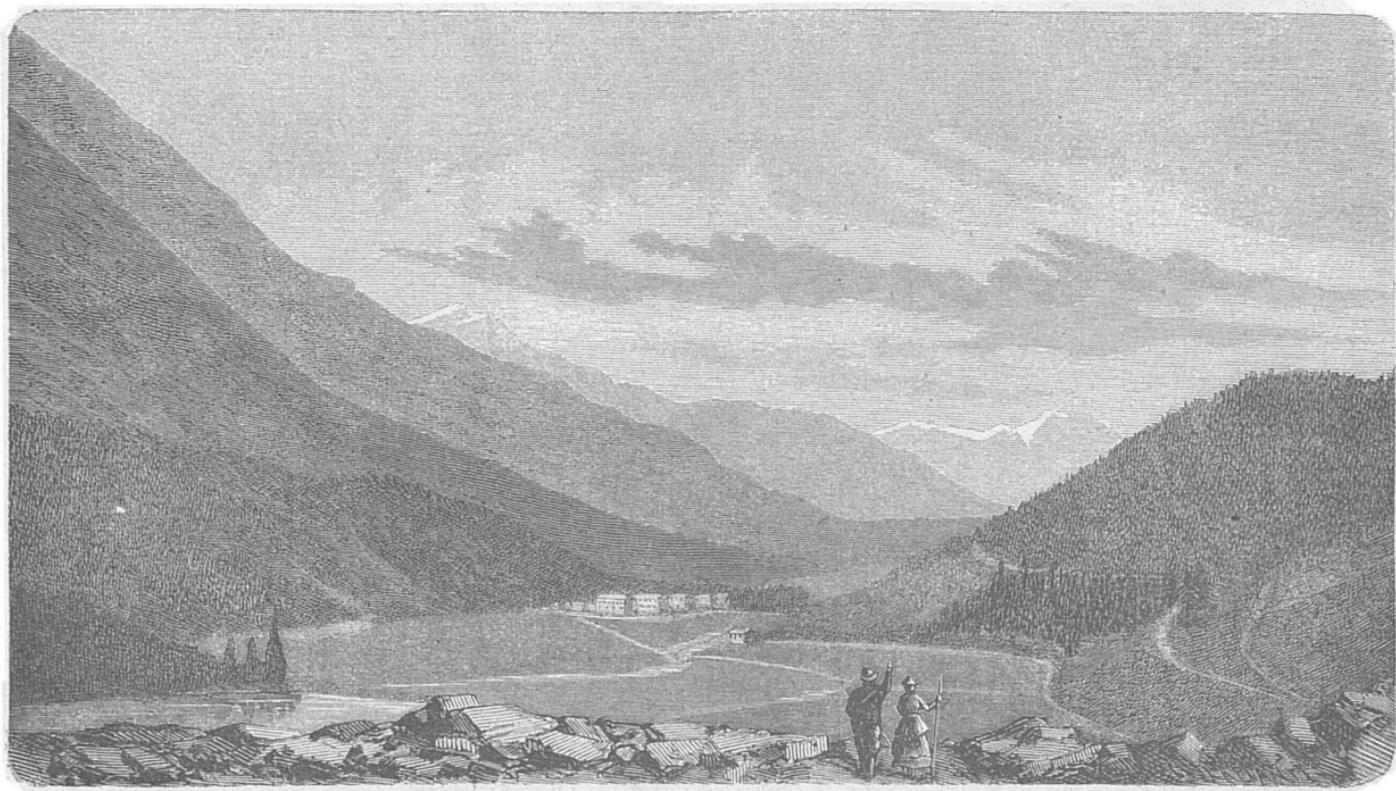


Fig. 42. — Le Valais à Saint-Maurice.

sions peu profondes et largement ouvertes, séparées par des reliefs arrondis et déprimés, qui rompent à peine la monotonie des surfaces planes. Tels sont les plissements nombreux qui sillonnent les plateaux du Russey et de la Franche-Montagne (fig. 43).



Fig. 43. — Coupe théorique des vallées de plioement du Jura.

**Vallées de rupture.** — Une troisième catégorie de vallées orographiques renferme celles qui doivent leur origine à des ruptures, à des déchirements du sol. Ce sont les plus variées de forme et d'aspect, et souvent les plus sauvages et les plus pittoresques. A cette espèce appartiennent les *combes*, si fréquentes dans le Jura. Elles ont été formées par la rupture des couches sédimentaires sur toute la longueur d'un axe de soulèvement, et consistent en dépressions rectilignes, à fond arrondi, dominées d'un côté par l'escarpement à pic d'un crêt, et de l'autre par la pente inclinée d'une *voûte* centrale (fig. 44). Les sauvages et profondes déchirures à pic qui mor-

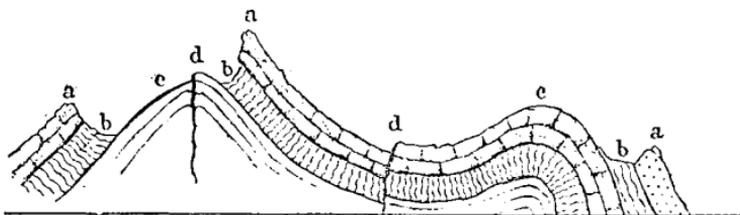


Fig. 44. — Soulèvements et plissements du Jura. — a, crêtes ; b, combes ; c, voûtes ; d, failles.

cèlent en tous sens les chaînes jurassiques, où elles sont connues sous le nom de *côtes*, de *cluses*, de *ruz*, de *gorges* ; les *cañones* et les *barrancas* encore plus grandioses de la Cordillère du Mexique, doivent sans doute leur origine première à la rupture et à l'écartement des couches ; mais elles ont été presque toujours élargies et ravinées par les cours d'eau, de sorte qu'il est souvent difficile de faire la part de l'action orographique et celle de l'érosion (fig. 45). A cet égard, la magnifique vallée des côtes du Doubs, dans le Jura de Montbéliard, offre d'intéressants problèmes à résoudre.

**Vallées de déjection.** — Les *vallées de déjection* sont formées par deux coulées de laves d'un certain relief, divergeant quelque peu



Fig. 45. — Cañones du Colorado.

à partir de la bouche volcanique d'où elles proviennent, et interceptant un espace allongé qui forme le fond de la vallée. Elles n'ont jamais ni grande étendue ni grande profondeur.

**Vallées d'érosion.** — Les *vallées d'érosion* consistent en sillons flexueux fort allongés, creusés par les eaux, et dont le fond est ordinairement occupé par une rivière, reste bien affaibli et bien diminué des anciens torrents qui leur ont donné naissance. Elles existent à tous les niveaux, dans tous les terrains ; mais c'est surtout quand elles traversent des couches de sédiment qu'on se rend compte aisément de leur mode de formation. Que ces couches soient horizontales ou inclinées, elles se correspondent rigoureusement des deux côtés de la vallée ; de sorte qu'en prolongeant par la pensée une couche quelconque, on la verra rejoindre sa pareille, qui se montre toujours dans le même plan, sur l'autre rive (fig. 46). Dans les

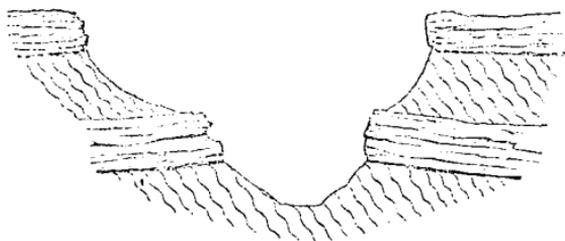


Fig. 46. — Vallée d'érosion.

montagnes, le lieu d'origine des vallées d'érosion est situé sur les versants, immédiatement au-dessous des arêtes et des sommets, et, dans les pays de plaine, sur les parties culminantes des plateaux et au point de partage des eaux. Elles commencent, soit par des dépressions presque insensibles, s'élargissant, se creusant et se dessinant peu à peu, soit par des dénivellements à pic constituant des *cirques* rocheux, connus dans le Jura sous le nom de *bouts-du-monde*. Certains géologues, étonnés de rencontrer au milieu des montagnes des accidents aussi grandioses, ne peuvent admettre leur formation par voie d'érosion, et imaginent des effondrements ayant affaissé le fond de ces vallées. Mais, s'il en était ainsi, ces affaissements laisseraient d'autres traces, et seraient décelés par la configuration orographique de la contrée et par la stratigraphie. Sans vouloir absolument révoquer en doute l'origine par effondrement de certains bouts-du-monde que je n'ai point vus, j'affirme que tous ceux que j'ai pu étudier, notamment la source de la Doue, près de Montbéliard et la source du Lizon, à Nans-sous-Sainte-Anne, sont le

produit exclusif des érosions. Je ne vois pas pourquoi il n'en serait pas de même des autres.

La largeur, la profondeur et l'aspect des vallées d'érosion dépendent de la structure et de la dureté des roches traversées, de la pente, du volume et de la rapidité du cours d'eau qui les a creusées. Dans les massifs de granite ou de schistes cristallins du Plateau central de la France, les érosions sont extrêmement flexueuses, très-profondes, et leurs pentes, plus ou moins inclinées, jamais à pic, et souvent hérissées de rocs sauvages; se rencontrent toujours sous un angle vif, de sorte que les fonds plats de quelque étendue constituent de véritables exceptions. Tel est l'aspect des parties supérieures des vallées de la Creuse, de la Loire, de l'Allier, du Lot, de l'Agout, de l'Aveyron. Elles rappellent, bien en petit sans doute, les vallées orographiques de la première catégorie. Dans les calcaires jurassiques, et, en général, dans toutes les roches sédimentaires résistantes, les vallées d'érosion consistent en un fond plat, de largeur variable, souvent nivelé par les alluvions; elles sont bordées de pentes fortement inclinées ou même tout à fait à pic, où se montre la tête des couches horizontales. Toutes les vallées des hauteurs de Langres et de la Côte-d'Or, du Poitou, des Causses du midi de la France et des bas plateaux du Jura se rapportent à ce type. Quelquefois la roche calcaire alterne avec des assises marneuses, plus détritiques; dans ce cas, la vallée présente une série de gradins, dont les couches calcaires forment les abruptes et les couches marneuses les déclivités. Tel est l'aspect des belles vallées de la Loue et du Dessoubre, dans le Jura franc comtois. Quand le sol devient tout à fait meuble, et qu'il consiste en grès sablonneux, en calcaires crayeux et friables, en graviers ou en argiles, la vallée s'élargit extrêmement, mais c'est alors aux dépens de sa profondeur. Telles sont les vallées de la Garonne et de la Loire dans les parties inférieures de leur cours, telle est encore la vallée de la Seine aux environs de Paris. Mais il arrive souvent qu'une vallée d'érosion présente une série de rétrécissements et de dilatations, suivant qu'elle traverse des terrains compactes ou des terrains détritiques. Fort large dans toute la Bourgogne, la vallée de la Saône s'encaisse et se rétrécit dans les schistes cristallins des abords de Lyon; la Loire se rétrécit de même aux environs d'Ancenis, et la Seine se resserre au-dessus de son embouchure en traversant les calcaires crétacés de la magnifique vallée de Rouen.

J'ai dit que les pentes latérales des vallées d'érosion ont des in-

clinaisons qui varient, suivant les circonstances, de la verticale à une pente presque insensible. Quelles que soient la profondeur et la largeur de la vallée, quelle que soit la nature du sol, le courant se jette toujours du côté convexe des sinuosités de l'érosion, auquel correspondent les échancrures concaves de la rive. Il en résulte que, dans les vallées sinueuses, le bord concave est beaucoup plus escarpé que le bord convexe. La différence est surtout remarquable dans les calcaires jurassiques, où la rive concave se présente souvent à pic, tandis que la rive convexe opposée s'élève en pente douce. J'ai pu constater la généralité de cette loi jusque dans l'intérieur de la Russie, où le haut Volga, qui circule dans des terrains de transport argileux et sablonneux, présente toujours, dans ses innombrables sinuosités, une de ses rives élevée en falaise dominant d'une vingtaine de mètres l'autre rive, qui se confond insensiblement avec les plaines monotones de la contrée. Une vallée d'érosion, en un mot, ressemble absolument à ces ravines qui se creusent dans les terrains meubles à la suite des pluies d'orage, et qui commencent par les mêmes dépressions insensibles ou les mêmes bouts-du-monde en miniature, qui reçoivent les mêmes affluents, qui présentent les mêmes sinuosités et qui charrient les mêmes alluvions.

Toutes les vallées d'érosion ne sont pas actuellement occupées par un cours d'eau. Il existe dans le Jura, la Lorraine, la Champagne, le Poitou, la Picardie, etc., nombre de *vallées sèches*, qui aboutissent aux côtés des vallées ordinaires, dont elles ont toutes les formes, et dont elles ne se distinguent peut-être que par une moindre profondeur et une pente généralement plus rapide. Bien différentes des vallées orographiques de ploiement, qui sont le plus souvent isolées et indépendantes, les vallées d'érosion, sèches ou arrosées, se rattachent, en effet, les unes aux autres, pour aboutir à une même vallée principale. Elles sont, en cela, comparables aux ramifications veineuses, qui convergent en augmentant peu à peu de grosseur, pour se déverser dans le tronc central; elles constituent, dans leur ensemble, les bassins hydrographiques entre lesquels se partage la surface d'une contrée.

**Vallées mixtes.** — Il arrive rarement, mais il arrive cependant que la même vallée géologique présente à la fois les caractères de plusieurs des catégories qui viennent d'être décrites. On dit alors que c'est une *vallée mixte*. Telle est la vallée du Doubs entre les bassins du Saut et le coude de Saint-Ursanne : on y observe des rup-

tures et des érosions, et la partie inférieure se trouve resserrée entre la chaîne du Clos du Doubs et celle de Saint-Braix.

**GOUFFRES ET CAVERNES.** — Ce sont des affaissements limités de toutes parts, des dépressions cratériformes, des abîmes ou des puits naturels s'enfonçant verticalement dans le sol à des profondeurs quelquefois inconnues ou s'étendant en sens horizontal. Leur nomenclature est aussi variée que leurs formes, leurs dimensions et les circonstances auxquelles on les attribue. Les *effondrements volcaniques* de Cilaos et de Salazie dans l'île Bourbon, le Val del Bove de l'Etna et les anciens cratères de l'Eifel sont les plus étendues de ces dépressions. Les *gours* de Tazanat et du lac Pavin, en Auvergne, dont le fond est occupé par des lacs limpides, constituent des effondrements circulaires dont les parois sont presque verticales, au moins au lac Pavin. Leur origine est également volcanique. Dans les contrées sédimentaires montueuses et tourmentées, comme, par exemple, le Jura, abondent les *abîmes*, les *gouffres*, les *puisards*, les *puits naturels*, les *creux*, les *trous*, les *crevasses*, les *fissures*, les *cavernes*. La plupart de ces accidents proviennent de ruptures et de dislocations agrandies quelquefois par l'action des eaux : assez habituellement les gouffres et les creux du Jura franc-comtois reçoivent celles des tourbières, qui se déversent dans ces excavations pour aboutir au Doubs ou au Dessoubre, après un parcours souterrain plus ou moins étendu. L'exemple le plus remarquable peut-être que l'on puisse citer en Europe de gouffres engloutissant des rivières, c'est le Trou du Taureau, vaste effondrement situé au pied du versant nord de la Maladetta, et dans lequel disparaît la Garonne naissante. Ses eaux vont ressortir, sur le versant français, dans le fond de la vallée d'Aran, après avoir traversé, par des canaux souterrains de plusieurs lieues de longueur, toute la base de l'arête centrale des Pyrénées. A quelques pas de là, les eaux qui découlent de la moitié occidentale du même versant de la Maladetta, se déversent dans le gouffre de la Rencluse, pour reparaitre à plusieurs kilomètres à l'ouest, et donner naissance à l'Essera, l'un des affluents de l'Èbre. Souvent aussi, à la suite des pluies d'orage, les puits et les creux rejettent par leur orifice, ordinairement à sec, des volumes d'eau considérables provenant des plateaux qui les dominent : tels sont le Creux-Genaz, près de Porrentruy, le creux de Malefosse, près de Montbéliard, et le puits de la Brème, près d'Ornans. Moins nombreux dans les pays de plaine, les puits et les crevasses n'y font pas défaut. Ils ne sont pas rares dans le Poitou, mais ils y demeurent or-

dinairement à sec, et ne représentent guère que les miniatures des gouffres dont il vient d'être question. Quelquefois des fentes de grande étendue traversent des couches alternativement calcaires et marneuses. Quand ces dernières affleurent au dehors, elles sont ordinairement délayées à la longue, puis entraînées à l'état de boue dans la fente sous-jacente, qu'elles dissimulent aux regards. Il en résulte des cavités régulièrement coniques appelées *entonnoirs*, qui marquent les points où les marnes ont coulé dans la fissure avec le plus d'abondance. On les voit souvent alignées en grand nombre le long d'une même fente, par exemple sur le versant nord du Chasseral, où elles conservent la neige pendant presque toute l'année. Ces divers accidents du sol n'ont qu'une minime importance, mais ne pouvaient être omis dans une description, même abrégée, des reliefs et des dépressions de la surface des terres fermes.

**DÉPRESSIONS CONTINENTALES.** — Pour compléter l'énumération sommaire de ces accidents, il convient de mentionner certaines dépressions, qui représentent, en petit, dans l'intérieur des continents, les dépressions beaucoup plus considérables occupées à leur extérieur par les mers. Les principales sont la dépression Aralo-Caspienne, le bassin de la mer Morte et certaines parties du Sahara. Leur origine s'explique très-naturellement par les mouvements et les ondulations de l'écorce solide du globe, qui s'élève dans un lieu pour se déprimer dans un autre; et ce qui doit étonner, c'est la rareté de semblables dépressions et non leur existence. Il est remarquable, en effet, que sauf les exemples qui viennent d'être cités, toutes les dépressions de la surface du globe se trouvent réunies en un seul tenant, occupé par les mers.

**Dépression Aralo-Caspienne.** — La dépression dans laquelle se trouvent la Caspienne et le lac d'Aral est la plus considérable de toutes. De Humboldt en évalue la surface à 18 000 lieues marines carrées. On a des preuves certaines de l'ancienne réunion en une seule mer du lac d'Aral et de la Caspienne, sans qu'on puisse en inférer que leur bassin commun, c'est-à-dire la cavité actuellement existante, fût plus étendu. Le niveau de leurs eaux demeure fixe et invariable, ce qui dénote que l'équilibre est établi entre la perte résultant de l'évaporation et l'alimentation par les pluies et les cours d'eau. Si ce niveau se trouvait autrefois plus élevé, c'est que l'alimentation était plus considérable, et ce surcroît d'abondance s'explique par l'intervention des phénomènes diluviens, dont il sera

question dans la suite de cet ouvrage. Quoi qu'il en soit, le niveau actuel de la mer Caspienne a été estimé par de Humboldt à 24<sup>m</sup>,70, par M. Struve à 30<sup>m</sup>,79, et par Hommaire de Hell à 18<sup>m</sup>,30 en contre-bas de la mer Noire. Les points du pourtour de ce vaste bassin qui se trouvent au niveau de cette dernière mer, du côté de la Russie d'Europe, sont distants de 300 à 400 kilomètres des bords de la Caspienne. Ainsi, à partir de Saratof, le Volga coule au-dessous du niveau de l'Océan jusqu'à son embouchure.

**Mer Morte.** — Le bassin de la mer Morte constitue la plus profonde de toutes les dépressions continentales. La partie la plus basse, occupée par la mer Morte ou lac Asphaltite, dont la longueur est à peu près de 100 kilomètres et la largeur de 25 kilomètres, se trouve à 430 mètres au-dessous du niveau de la Méditerranée. Ce chiffre est la moyenne d'un assez grand nombre de mesures, s'accordant toutes à quelque dix mètres près. Celles du comte de Berton donnent 419 mètres; celles de Russeyer 435 mètres; celles de M. Delcros, 427<sup>m</sup>,70; les opérations trigonométriques entreprises en 1841 par M. Symond donnent 427 mètres; enfin la température de l'ébullition de l'eau en indique 460. Toute la vallée du Jourdain participe à cet affaissement, qui n'a pas exclusivement affecté l'emplacement des villes maudites : en effet, le lac de Tibériade se trouve à 300 mètres environ au-dessous du niveau de la Méditerranée. Il est presque inutile d'ajouter que, dans toute cette dépression, le climat est exceptionnellement élevé, en raison de l'épaisseur et de la densité de l'atmosphère.

**Sahara.** — Le Sahara n'est pas une contrée absolument plane et partout sablonneuse, comme on se l'imagine volontiers. Dans le nord-ouest, sur les confins du Maroc et de l'Algérie, le sol se déprime peu à peu et finit par se trouver au-dessous du niveau de la mer. Sa dépression est occupée par des bas-fonds, où existent quelquefois des lacs salés ou de grandes efflorescences de sel. L'un d'eux, le lac Melglig, est à 93<sup>m</sup>,50 au-dessous de la Méditerranée. On signale une oasis qui se trouve à 32 mètres en contre-bas de la même mer.

## CHAPITRE V

## PYROSPHÈRE

**Pyrosphère.** — Par le mot *pyrosphère*, on entend tout ce qu'il y a dans l'intérieur du globe à partir de la couche de laves incandescentes sur laquelle repose immédiatement l'écorce solide. C'est, de beaucoup, la plus vaste des quatre parties constitutives de la planète, mais avec elle commence, ou plutôt, continue l'inconnu.

On admet cependant que la pyrosphère est plus déprimée aux pôles, et plus renflée à l'équateur que l'ensemble du globe terrestre, puisque l'écorce solide a plus d'épaisseur aux deux pôles. On admet aussi que sa couche extérieure est de même nature que les laves volcaniques actuelles; on suppose qu'elle se trouve en contact avec divers gaz, tels que l'acide carbonique rejeté par les volcans, et même qu'elle recèle de la vapeur d'eau : mais ces dernières assertions ne s'appuient sur aucune preuve solide. On pense enfin qu'à partir de la couche superficielle de la pyrosphère et jusqu'au centre du globe, toutes les roches et toutes les substances se trouvent en fusion; mais il est aussi impossible d'en déterminer la nature, la succession et l'état physique, que de savoir au juste quelle est la température des profondeurs de la planète. La seule chose qu'on puisse regarder comme probable, c'est que les roches, ou plutôt la matière incandescente qui les formera après son refroidissement, devient de plus en plus lourde et de plus en plus chargée de métaux, puisque la plus forte densité des substances pierreuses connues ne dépasse guère 3 ou 4, et que celle de la planète paraît être d'environ 5 1/2.

---

# TROISIÈME PARTIE

## PHÉNOMÈNES ACTUELS

---

**Phénomènes actuels.** — On appelle *phénomènes actuels* les actions physiques, chimiques ou physiologiques qui se passent dans chacune des quatre parties du globe précédemment décrites. Ils se manifestent, soit par des mouvements, soit par des changements d'état; ils ont pour effet de modifier d'une façon quelconque, permanente ou non, la manière d'être de la planète. Leur étude est indispensable à l'intelligence des phénomènes anciens, qui ont peu à peu amené la Terre à son état actuel, et dont ils ne sont le plus souvent que la continuation.

Il semblerait naturel de passer tous ces phénomènes en revue sous quatre titres différents, suivant qu'on les observe dans l'atmosphère, dans les mers, dans l'écorce solide ou dans la pyrosphère. Cependant une telle disposition des matières n'est peut-être pas la plus simple ni la plus logique. Pour beaucoup de phénomènes qui ont pour théâtre l'écorce solide, nous ne pouvons faire la part exacte de cette écorce et de la pyrosphère. En second lieu, cette dernière étant inaccessible, nous ne savons pas ce qui lui appartient en propre. L'étude des phénomènes actuels sera donc présentée sous les titres suivants : 1° *phénomènes atmosphériques*, 2° *phénomènes aquatiques*, 3° *phénomènes terrestres*, 4° *phénomènes physiologiques*. Une 5° catégorie comprendra les *phénomènes cosmiques*, dont l'origine est en dehors de la planète, mais qui peuvent intéresser celle-ci.

---

## CHAPITRE PREMIER

## PHÉNOMÈNES ATMOSPHÉRIQUES

**Phénomènes atmosphériques.** — Ces phénomènes ont leur cause dans l'atmosphère, et sont produits par son action directe ou par celle d'autres agents, tels que la vapeur aqueuse, dont elle est le véhicule. Ils s'exercent, soit sur l'atmosphère elle-même, soit sur les mers ou sur l'écorce solide et peut-être aussi la pyrosphère. Leur classement, ainsi que celui des phénomènes actuels, en général, n'est pas sans difficulté, car il y a peu de phénomènes remontant à une cause unique, et l'on ne distingue pas toujours aisément l'action particulière des facteurs, souvent nombreux, qui concourent à certains résultats. Comme exemple je citerai la désagrégation des roches, phénomène à la fois chimique et mécanique, produit par les actions combinées des vents, des pluies, de la gelée, et même des eaux courantes, des eaux marines et des tremblements de terre. Sans viser à une précision impossible en pareille matière et d'ailleurs médiocrement importante, je décrirai les phénomènes atmosphériques sous les titres suivants : 1° *mouvements de l'atmosphère*, 2° *circulation souterraine de l'atmosphère*, 3° *action sur les eaux*, 4° *transport de poussières*, 5° *dunes*, 6° *décomposition des roches*, 7° *dégradations du sol*, 8° *phénomènes électriques*.

**MOUVEMENTS DE L'ATMOSPHÈRE.** — Ils sont de deux natures, selon qu'ils proviennent des vents ou des marées atmosphériques.

**Vents.** — Les vents consistent dans le déplacement et le transport de l'air suivant une direction déterminée, le plus souvent horizontale, pendant un temps variable, mais toujours assez long, et avec une vitesse également variable. On admet qu'ils proviennent, soit de la dilatation par la chaleur solaire d'une certaine masse d'air, qui devient plus légère et s'élève pour faire place à de l'air plus froid, soit de la condensation de l'air ou de la vapeur d'eau, ce qui tend à déterminer un vide que viennent remplir de proche en proche les couches voisines. Dans ces deux cas, le vent se propage dans un sens contraire à sa direction : c'est un *vent d'aspiration*. D'autres fois, admet-on encore, une grande quantité d'eau qui passe à l'état de vapeur et se mêle rapidement à l'atmosphère, ou quelque brusque dilatation, en refoule les couches loin du lieu où se manifeste le phé-

nomène, et donne naissance à un *vent d'insufflation*, qui se propage dans le sens de sa direction. Il semble pourtant que, dans ce cas, le vent devrait être surtout ascendant. D'autres courants aériens ont pour cause le mouvement de rotation de la terre combiné avec la différence de la température de l'air dans les régions polaires et dans les régions équatoriales : ce sont les *vents alizés*, qui soufflent toute l'année de l'est à l'ouest près de l'équateur, et qui s'inclinent de plus en plus du nord-est au sud-ouest dans l'hémisphère Nord, et du sud-est au nord-ouest, dans l'hémisphère Sud, à mesure qu'on se rapproche des régions tempérées, où ils cessent de se faire sentir. Ils appartiennent à la catégorie des *vents constants*. D'autres fois enfin les vents sont *périodiques* et soufflent alternativement en sens opposé : tels sont les *moussons* des mers de l'Inde, qui alternent suivant les saisons; les *vents éthésiens* de la Méditerranée, et les *brises* de terre et de mer, qui soufflent sur les côtes, les unes pendant la nuit, les autres pendant le jour. Les vents constants et les vents périodiques ont été confondus sous la dénomination commune de *vents réguliers*, par opposition aux *vents irréguliers*, qui se manifestent inopinément, et dont la direction n'a rien de déterminé. Je dois me borner à ces indications sommaires, et je renverrai le lecteur, pour plus de détails, aux traités de physique et de météorologie qui sont entre les mains de tout le monde. On y trouvera, en surplus, la définition et la description des *coups de vents*, des *bourrasques*, des *tempêtes*, des *typhons*, des *cyclones*, des *trombes* et de tous les vents ou courants atmosphériques d'une origine et d'une violence exceptionnelles.

**Vitesse des vents.** — Rien de plus variable que la *vitesse* des vents. On peut l'apprécier d'après les tableaux suivants, dont l'un a été donné par l'Annuaire du bureau des longitudes, en 1817, et se trouve reproduit dans tous les livres, et dont l'autre a été établi par M. Coupvent-Desbois à la suite d'environ 12 000 observations exécutées sous toutes les latitudes.

Bureau des longitudes, 1817.

	Mètres par seconde.
Vent à peine sensible.....	0,5
— sensible.....	1
— modéré.....	2
— assez fort.....	5,5
— fort.....	10
— très-fort.....	20
Tempête.....	22,5

	Mètres par seconde.
Grande tempête.....	27
Ouragan.....	36
Ouragan qui renverse les édifices et déracine les arbres.....	45

M. Coupvent-Desbois, 1865.

	Mètres par seconde.	Pression en grammes.
Calme moyen.....	1	1/3
Faible brise.....	3	3 1/4
Petite brise.....	5	9
Jolie brise.....	8	23
Bonne brise.....	13	61
Forte brise.....	21	160
Grand frais.....	33	394
Tempête.....	50	906
Ouragan.....	73	1931

M. Coupvent-Desbois fait remarquer que la vitesse des vents est toujours plus grande qu'on ne l'admet communément, et il pense que les chiffres du bureau des longitudes sont beaucoup trop faibles. Il estime que l'intensité des vents de l'hémisphère austral est de 7<sup>m</sup>,63 par seconde, ce qui présente 21 grammes de pression et correspond à peu près à une jolie brise. D'après le même observateur, la force du vent croît, avec la latitude, du simple au double sous le méridien de l'Amérique, et du simple au triple sous celui de la Nouvelle-Hollande; sur le Pacifique et l'Atlantique elle décroît de moitié de l'est à l'ouest; enfin elle atteint son maximum vers le milieu de l'Océan Indien.

**Direction des vents.** -- Les vents n'ont une *direction* constante que dans les régions du globe où ils sont réguliers. Partout ailleurs, sauf peut-être certaines *brises de montagne* signalées par Fournet, ils peuvent souffler de tous les points de l'horizon. Il en est aussi de même, mais plus rarement, dans le domaine des vents réguliers. Le long de l'équateur, et à quelques degrés au nord et au sud, suivant la saison, s'étend, sur le pourtour du globe, une *région des calmes*, où l'air paraît souvent dans un repos absolu, parce que, sous l'influence de la chaleur solaire, il s'élève verticalement pour alimenter les *contre-alizés* supérieurs, qui ramènent aux pôles, en suivant les régions élevées de l'atmosphère, l'air chaud des contrées équatoriales. C'est donc surtout en dehors de la zone des alizés et des moussons, c'est-à-dire à partir des latitudes moyennes, que règnent presque exclusivement les vents irréguliers. Dans l'hémi-

sphère boréal dominant les vents de l'ouest, puis ceux du nord, et en Europe, les directions sud-ouest et nord-est sont les plus fréquentes. Elles se trouvent cependant modifiées par une foule de circonstances locales, de sorte que chaque contrée, on peut presque dire chaque province a ses vents particuliers. Ainsi les vents du sud-ouest dominant dans le nord de la France, les Pays-Bas, le nord-ouest de l'Allemagne; puis viennent les vents d'ouest. Dans l'intérieur de la Russie, les vents du nord-est et ceux du sud-ouest se partagent à peu près également les jours de l'année. Dans la vallée du Rhin, ce sont les vents du sud-ouest qui l'emportent, puis ceux du nord-est et enfin ceux de l'ouest et du nord-ouest. Dans la vallée du Doubs, on ne signale guère que le sud-ouest, puis le nord-est presque aussi fréquent, et très-rarement le nord-ouest. En Provence et dans la vallée du Rhône, dominant le mistral, qui souffle du nord-ouest, et le vent du sud-est. A Toulouse, on n'observe, pour ainsi dire, que deux vents : le nord-ouest ou vent de Bordeaux et le sud-est ou vent d'autan.

**Caractère propre des vents.** — Chaque vent a d'ailleurs son caractère propre et exerce sur nos organes un effet particulier. Si les poètes ont prodigué leurs plus gracieuses épithètes aux brises, aux alizés et aux vents du sud-ouest, qui étaient les zéphirs de l'antiquité, en revanche, poètes et prosateurs s'accordent pour qualifier de tout autre manière les vents (et ils forment la majorité) dont l'homme n'a pas à se louer. Ainsi le *harmattan*, qui se fait sentir deux ou trois fois par saison sur la côte de Guinée, et qui souffle de l'intérieur, brûle et détruit la végétation, disjoint et fait éclater les panneaux des meubles, et fendille la peau du visage et des mains, tant il est sec et chaud. Plus terrible encore, le *khamsin* ou *simoun* chasse devant lui des montagnes de sable et amène une chaleur intolérable; les hommes et les animaux en éprouvent un abattement extrême, qui ne pourrait se prolonger sans péril. Les vents connus en Europe sous les noms de *solano* et de *sirocco*, et qui soufflent du désert, exercent une influence analogue, mais considérablement affaiblie, et il en est de même du vent d'*autan* du bassin supérieur de la Garonne, dont l'action énervante se fait sentir jusque dans le fond des Pyrénées. D'autres vents ont un caractère tout opposé et non moins désagréable. Dans toute l'Europe, le nord-ouest est accompagné de pluies froides, et souvent de neige et de grésil. Le *mistral* du midi de la France est un vent glacial, dont la violence peut devenir extraordinaire, et dont l'effet est d'autant plus insupportable

qu'ordinairement il succède à des vents chauds. Dans le nord de l'Europe, la *bise* ou vent du nord-est, amène toujours un froid et une sécheresse désagréables; elle fait tourbillonner la neige dans les plaines glacées de la Russie, et l'accumule en véritables collines pendant les *bouranes* ou *chasse-neige*, non moins dangereux que les tempêtes du khamsin. A une autre extrémité du monde, le *pampero*, qui vient de la Patagonie, refroidit de son souffle glacial les bassins du Rio Negro et du Rio Colorado. On voit que ces divers effets résultent, en très-grande partie, de la vitesse, puis de la sécheresse ou de l'humidité relative de chaque vent, ainsi que de sa provenance. Ceux qui arrivent de l'intérieur des terres sont toujours secs, et ceux qui soufflent du large sont toujours humides, quelle que soit d'ailleurs la direction. J'ai déjà dit que les vents d'ouest ou de sud-ouest, qui dominent dans l'hémisphère boréal, sont fort humides sur les côtes de l'Europe et de la Californie, et fort secs sur les rivages de la Chine et des États-Unis. A Toulouse, c'est le nord-ouest qui amène de la pluie, mais à Marseille c'est le sud-est. Aux États-Unis et en Patagonie, les vents d'est sont les vents de pluie. Mais j'ai hâte d'abrèger ces détails, qui intéressent plus particulièrement le physicien.

**Marées atmosphériques.** — Les *marées atmosphériques* sont des augmentations et des diminutions régulières et périodiques de la hauteur de l'atmosphère, indépendantes des vents, et qui sont plutôt accusées par les oscillations du baromètre que par le mouvement apparent de l'air. C'est l'analogie de l'effet et non celle de la cause qui les a fait désigner sous le nom qu'elles portent; car, s'il est vrai que l'attraction du soleil et celle de la lune s'exercent aussi bien sur l'atmosphère que sur les mers, le résultat en est inappréciable, eu égard à la petitesse de la masse de l'enveloppe gazeuse du globe. Laplace a prouvé, en effet, que l'action lunaire fait à peine osciller le baromètre de deux centièmes de millimètre. Les marées atmosphériques se produisent, dans les contrées tropicales, à des heures fort régulières. On y observe deux maxima vers dix heures du matin et vers dix heures du soir, et deux minima vers quatre heures du matin et quatre heures du soir. Dans les zones tempérées, les oscillations diurnes du baromètre sont, en général, fort inconstantes; cependant, en prenant la moyenne d'un grand nombre d'observations, on reconnaît aussi des maxima et des minima, qui arrivent à peu près aux mêmes heures qu'entre les tropiques, seulement ces heures varient un peu avec les saisons. L'attraction lunaire n'a rien à voir dans

ces phénomènes, qui ne correspondent qu'accidentellement aux marées de l'Océan, et auxquels les physiiciens attribuent pour cause principale l'action de la chaleur solaire.

**CIRCULATION SOUTERRAINE DE L'ATMOSPHÈRE.** — Nous avons vu que l'écorce solide du globe n'est qu'un assemblage de fragments de toutes formes, de toutes dimensions, entre lesquels s'infiltrent les eaux superficielles. Ces eaux tiennent en dissolution de l'air, qu'elles conduisent dans les profondeurs souterraines. Dans une foule de circonstances, les gaz de l'atmosphère, obéissant aux lois de la pesanteur, et quelquefois entraînés par les cascades comme dans les souffleries catalanes, s'insinuent entre les interstices des roches, où ils rencontrent souvent d'autres gaz et de la vapeur d'eau. Il y a donc une véritable pénétration de l'écorce solide par l'atmosphère; il y a, en outre, une circulation souterraine de l'air, qui s'échauffe à mesure qu'il descend dans les profondeurs, se dilate et tend bientôt à remonter pour faire place à de l'air plus froid. Les gaz de l'air sont au nombre de ceux que rejettent les volcans, ce qui indique peut-être une circulation très-profonde s'étendant jusqu'au contact de la pyrosphère. Dans les pays tourmentés dont le sol est rempli de crevasses, il s'établit quelquefois une circulation assez active, mais d'ailleurs presque superficielle. Les fissures verticales conservent, pendant l'été, l'air froid de l'hiver, qui y demeure en vertu de sa plus grande pesanteur. Mais si elles sont ouvertes à leur partie inférieure, de manière à communiquer avec l'atmosphère par leurs deux extrémités, cet air est peu à peu remplacé par de plus chaud, qui se refroidit à son tour au contact des parois de la crevasse, et il se forme des courants froids appelés *sources d'air* dans les montagnes. Ces courants contribuent parfois, assure-t-on, à l'établissement et au maintien de glaciers naturels. C'est aux sources d'air de la colline de Larzac que les caves de Roquefort doivent leur juste célébrité. Dans certains lieux, des courants en sens contraire s'établissent pendant l'hiver, et amènent à la surface de l'air relativement chaud. M. Lyell signale des courants froids dans les roches volcaniques d'Olot en Catalogne, et M. Martins en indique également dans la moraine d'Ivrée, en Piémont.

**ACTION SUR LES EAUX.** — L'atmosphère exerce sur les eaux une action à la fois physique et mécanique. Elle s'y dissout, et contribue à entretenir la vie des animaux et des plantes aquatiques. D'une autre part; quand les vents acquièrent une certaine force, ils soulèvent les vagues de l'Océan, propagent les tempêtes, dirigent ou forment des

courants marins et quelquefois retardent l'écoulement des rivières. Nous n'avons pas à nous occuper davantage de la première de ces actions, dont il a déjà été parlé, et qui rentre d'ailleurs dans le domaine de la chimie et de la physiologie. Quant à l'effet mécanique de l'atmosphère sur les eaux, il sera étudié à une autre place.

**TRANSPORT DE POUSSIÈRES.** — Les vents, même modérés, transportent à des distances considérables les sables et les fines poussières, à la seule condition qu'ils soufflent pendant longtemps dans la même direction. Les faits suivants en donnent la preuve.

Les monuments de l'Égypte sont ensablés en beaucoup d'endroits, et certainement leurs constructeurs ne les ont pas élevés au milieu des déserts. En 1865, du sable fut transporté dans les Canaries, et reconnu par M. Daubrée pour provenir du Sahara. Le 24 mars 1869, M. Palmieri remarqua que la pluie qui tombait à Naples, chassée par un vent du sud-est dont la vitesse s'élevait à 800 mètres à la minute, laissait sur les fenêtres et les terrasses des traces jaunâtres formées par une argile sablonneuse très-ténue, identique avec celle du grand désert. Le 10 mars de la même année, une pluie mêlée de sable était tombée à Palerme, Naples, Rome et Subiaco. M. Denza, signale en Italie, le 13 février 1870, une bourrasque du sud-est accompagnée de pluies dans le midi et de neiges dans le nord. Les unes et les autres étaient chargées de sables, qu'on recueillit notamment à Gènes, à Mondovi, à Moncalieri, à Rome et à Subiaco. Dans l'est et le sud-est de la Russie, les neiges du printemps sont quelquefois souillées d'une poussière terreuse enlevée par les vents aux steppes de la mer Caspienne. Les cendres volcaniques sont transportées à des distances prodigieuses. D'après Procope, celles du Vésuve furent chassées jusqu'à Constantinople en l'an 472. Pendant l'éruption de 1794, elles formaient d'épais nuages en Calabre, à 200 kilomètres du volcan. On dit que les cendres de l'Etna ont été portées jusqu'aux Orcades, éloignées d'environ 1500 kilomètres. En 1812, les cendres du volcan de l'île de Saint-Vincent, dans les Antilles, produisirent une véritable obscurité à la Barbade, qui en est à plus de 150 kilomètres. En 1815 les cendres du Tamboro de Sumbava, l'une des îles de la Sonde, furent poussées jusqu'à Sumatra (1778 kilomètres) du côté de l'ouest, et plus loin encore du côté de l'est; elles firent régner une nuit profonde sur un espace de plusieurs centaines de kilomètres, dans toutes les directions autour de l'île. On a cherché à expliquer, par des transports de poussières, certains *brouillards secs* qui envahirent l'Europe

et d'autres parties du monde à diverses époques, et notamment en 1783 et en 1831. Le premier, il est vrai, correspond à une éruption de l'Hékla, mais rien ne prouve qu'elle en ait été la cause, et l'on admettrait difficilement que des poussières volcaniques eussent été transportées à la fois sur la côte d'Afrique, dans toute l'Europe et jusque dans la Sibérie, la Chine et les États-Unis. Le phénomène encore mystérieux des brouillards secs a certainement une autre origine, puisque celui de 1831 ne fut précédé d'aucune éruption.

En ce qui concerne l'état physique du globe, les poussières transportées par l'air n'ont, pour ainsi dire, aucune importance, et ne modifient la surface des terres en aucune manière, sauf dans le cas où elles édifient les dunes, puis dans certaines éruptions volcaniques.

**DUNES.** — Ce sont des monticules de sable fin élevés par les vents, qui ordinairement les démolissent pour les transporter plus loin. On les a comparées, avec assez de raison, à des vagues de sable. Elles n'ont cependant pas exactement la forme des vagues de la mer, la crête de ces dernières s'allongeant en une arête rectiligne de grande étendue. L'aspect des dunes est plutôt celui de mamelons ou de petits ballons. Néanmoins leur section transversale rappelle assez bien une vague : toutes les dunes sont inclinées en pente douce du côté du vent, et présentent, de l'autre côté, un escarpement qui s'écroule sans cesse à son sommet.

Elles se forment le long des rivages sablonneux des mers ou dans l'intérieur des déserts, de la même manière que les monticules de neige élevés par les tourmentes dans les contrées du Nord. Sous l'influence de certains vents dominants, les sables transportés horizontalement dans l'air en poussière fine, s'entassent derrière les plus faibles saillies du terrain. Une fois constitué, le monticule s'exhausse peu à peu jusqu'au niveau où le rétrécissement graduel du sommet ne permet plus au sable de se maintenir. Sans cesse surélevé par de nouvelles particules de poussière, ce sommet se démolit sans cesse, sous l'influence du vent ; de sorte que la dune, qui tend à s'accroître sur toute sa pente antérieure, est cependant peu à peu déplacée et refoulée en arrière. Si le vent affecte une direction constante ou seulement dominante, il chasse devant lui les dunes, qui cheminent dans un même sens, et présentent leurs escarpements du même côté ; si, au contraire, les vents alternent, les dunes s'avancent tantôt dans une direction, tantôt dans une autre, en modifiant leur profil.

**Distribution des dunes sur le globe.** — Les dunes sont groupées en monticules d'autant plus nombreux et plus élevés que leur alimentation est plus abondante et que les rivages qui fournissent le sable ont une largeur plus considérable. Elles existent dans tous les déserts sablonneux. On en connaît de fort grandes le long des côtes de la Patagonie et sur certaines plages de l'Afrique et de l'Océanie; mais c'est en Europe qu'elles ont été le mieux étudiées et qu'elles se rencontrent peut-être le plus fréquemment. Elles règnent, en France, depuis le phare de Biarritz jusqu'à l'embouchure de la Seudre, puis sur plusieurs points de l'Aunis de la Vendée, de la Bretagne et de l'Artois. A partir de Calais, elles s'étendent, presque sans interruption, le long des côtes et des îles des Pays-Bas et du nord-ouest de l'Allemagne, pour se terminer à la pointe de Jutland. Il en existe dans le sud-ouest de l'Angleterre. Sur les bords de la Baltique, elles forment des lignes fort étendues en Poméranie et en Courlande; mais elles sont toujours rares et de peu d'importance dans le bassin de la Méditerranée, où les plages de sable insensiblement inclinées font presque partout défaut. Une condition nécessaire à l'établissement des dunes maritimes, c'est, en effet, l'existence d'une zone sablonneuse assez large pour que le flot ne puisse la recouvrir entièrement, car le vent n'a de prise que sur le sable sec. On comprend que cette condition se trouve plus facilement réalisée sur les rivages des océans, et que les surfaces sablonneuses à découvert sont d'autant plus étendues que les marées ont elles-mêmes une amplitude plus grande. Dans les mers intérieures sans marées, il faut une configuration des côtes presque exceptionnelle pour que les dunes puissent s'édifier.

**Dimension des dunes; leur progression.** — La hauteur moyenne des dunes de l'Océan et des déserts est de 15 à 20 mètres; mais on en connaît de beaucoup plus élevées, notamment en Gascogne et dans les îles de la Hollande, où elles atteignent quelquefois, mais rarement, 80 mètres. Les dunes de la Courlande et de la Poméranie n'ont guère que 5 ou 6 mètres. Elles forment néanmoins, en certains lieux, une bande de plus d'un kilomètre de largeur, qui intercepte la vue de la mer et des navires, par exemple en Poméranie, où la route de Stettin à Dantzig côtoie, pendant une grande partie de son trajet, la Baltique toujours invisible. La largeur de la bande littorale envahie par les dunes est beaucoup plus considérable en Hollande et en Gascogne; elle atteint quelquefois 6 et même 8 kilomètres. La vitesse de leur progression dépend de la force et de la

fréquence du vent dominant, puis de diverses circonstances locales. A mesure que se forment de nouvelles dunes le long des rivages, les plus anciennes s'avancent d'une marche lente, mais continue, vers l'intérieur des terres, repoussant devant elles les lagunes et les étangs formés par l'accumulation des eaux pluviales dont elles arrêtent l'écoulement, détournant les ruisseaux, ensevelissant les terres cultivées et même les lieux habités, sans que rien, au premier abord, paraisse indiquer qu'on puisse en arrêter les ravages. En Gascogne, la progression est de 23 mètres environ par année. Beaucoup d'étangs ont été déplacés, et l'embouchure de l'Adour a été déviée de plusieurs kilomètres. Une partie de l'ancienne voie romaine de Bayonne à Bordeaux a disparu, plusieurs villages mentionnés dans les chartes du moyen âge n'existent plus, et l'on a calculé que si rien n'entrave la marche des dunes, elles seront à Bordeaux avant 2000 ans. A Saint-Pol de Léon, dans le Finistère, elles recouvrent d'une couche de 6 à 7 mètres une contrée habitée jusque vers la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, et pendant longtemps on a pu voir le faite des édifices s'élever au-dessus des sables. Dans cette localité, la progression des dunes a été de 537 mètres par an. On sait d'ailleurs que les sables des déserts ont envahi une partie de la basse Égypte; qu'ils détruisent les oasis; qu'ils rendent inhabitables, en Afrique seulement, des contrées d'une étendue trois fois égale à celle de la Méditerranée, et qu'ils ont englouti d'innombrables victimes, depuis les soldats de Cambyse jusqu'aux pèlerins et aux trafiquants de nos jours. L'homme possède cependant le moyen de conjurer le fléau toutes les fois que la sécheresse du climat ne s'oppose pas au développement de la végétation. Certaines plantes maritimes, telles que le *Psamma arenaria*, le *Carex arenaria*, le *Dianthus gallicus*, etc., étendent au loin dans les sables leurs souches traçantes ou leurs racines cespiteuses, et fixent absolument et définitivement les dunes sur lesquelles elles s'établissent. Il suffit donc de multiplier ces utiles végétaux, sans préjudice du pin maritime et du pin sylvestre, qui sont de véritables richesses, le premier pour les Landes de Gascogne, le second pour les contrées limitrophes de la Baltique.

**Ère des dunes.** — Les dunes appartiennent à l'époque contemporaine; ce qui ne veut pas dire qu'elles n'aient pas existé antérieurement, car les rivages sablonneux n'ont jamais fait défaut, et les mêmes causes ont dû amener les mêmes résultats. Mais on n'en a jamais rencontré de traces dans les terrains anciens. Sans doute elles

ont été démolies par les invasions subséquentes des mers, qui ont si fréquemment déplacé leurs rivages. On comprend, d'un autre côté, que le défaut d'alimentation et les longues intempéries auxquelles sont demeurées exposées, pendant plusieurs époques géologiques, celles qui n'ont pas été ensevelies sous les eaux, aient suffi pour en faire disparaître les derniers vestiges. Les dunes qui existent de nos jours ne peuvent donc remonter au delà de l'époque contemporaine, appelée, pour cette raison, *ère des dunes*. Je dois ajouter que leur étude est d'un intérêt purement actuel, et qu'elle ne nous donne l'explication d'aucun des phénomènes anciens qui ont contribué à l'édification des terres fermes.

**DÉCOMPOSITION DES ROCHES.** — C'est une désagrégation en petit, qui exerce, sur les roches considérées isolément et sur leurs moindres fragments, des effets analogues à ceux des dégradations à la surface des continents. Elle dissocie les éléments minéralogiques des roches, et finit par réduire ces dernières, au moins dans leurs couches superficielles, en un détritit argileux, pulvérulent ou sablonneux, selon les espèces. Souvent aussi les roches subissent de véritables dissociations chimiques ayant pour résultat d'en changer la nature minéralogique. De là une *décomposition mécanique*, une *décomposition chimique*, et souvent aussi une *décomposition mixte*, où l'action chimique et l'action physique interviennent en même temps.

**Décomposition chimique.** — Au nombre des actions purement chimiques, il faut citer principalement les *oxydations* et la *nitrification*. Les premières amènent des résultats extrêmement variables selon la nature des roches oxydées. Quelquefois ce n'est qu'une simple décoloration ou un changement de teinte, provenant de l'altération lente de carbures organiques ou du changement en sulfates des sulfures qui marbrent certains calcaires de taches bleues ou jaunâtres. L'oxydation de l'hydrogène sulfuré et sa transformation en soufre libre et en acide sulfurique produisent des effets beaucoup plus importants. Le soufre se dépose en cristaux, mais l'acide sulfurique, dissous et entraîné par l'eau, attaque toutes les roches avec lesquelles il se trouve en contact. J'ai déjà indiqué les curieuses métamorphoses qui s'opèrent, de cette manière, dans les galeries souterraines de Bagnères-de-Luchon. Il existe des amas de gypse qui ont une origine analogue, et qui sont formés par l'action directe de l'acide sulfurique sur les calcaires. M. Coquand en signale de grands gisements dans les montagnes des Zouabis, en Algérie, et il leur attribue le soulèvement et la dislocation des couches de grès

qui les recouvrent. On sait, en effet, que le gypse hydraté occupe plus d'espace que le carbonate de chaux dont il provient. Dans le voisinage des Lagoni de la Toscane, à Monte-Cerboli, à Castel-Nuovo et près des solfatares de Pereta et de Selvena, les gypses se trouvent dans les mêmes conditions, et l'on peut y suivre pas à pas la transformation de la roche calcaire. Dans l'Amérique méridionale, le *Rio-Vinagre*, qui sort du volcan de Purace, à une altitude de 3 500 mètres, contient un gramme d'acide sulfurique par litre ; ses eaux détruisent promptement les vêtements et les chaussures. En avril 1831, M. Boussingault lui trouva un débit de 34 784 mètres cubes par vingt-quatre heures, et il estime que, pendant ce temps, le ruisseau fournissait 38 611 kilogrammes d'acide sulfurique et 31 654 kilogrammes d'acide chlorhydrique. On signale, dans l'île de Java, un lac qui renferme également de l'acide sulfurique libre. Tout récemment, M. de Luca en a trouvé 1<sup>er</sup>,473 par litre dans les eaux thermales de la solfatare de Pouzzole. Il est facile de prévoir les réactions opérées par toutes ces eaux, dès qu'elles se trouvent en contact avec des carbonates et d'autres roches décomposables.

La nitrification n'est autre chose que la production de l'azotate de chaux, ou salpêtre naturel, dans les décombres, les platras, les souterrains et les lieux à la fois humides et aérés. Elle est facilitée par la présence de matières ammoniacales. Fort importante au point de vue des applications industrielles, la nitrification n'a qu'un intérêt médiocre pour le géologue.

**Actions physiques.** — Les actions plutôt physiques que chimiques sont surtout la *kaolinisation* et la *désagrégation pulvérulente*.

La kaolinisation consiste dans la décomposition des feldspaths et leur transformation en argiles. Le feldspath orthose, que je prendrai pour exemple, et qui constitue la base de toutes les roches granitiques, est un silicate double d'alumine et de potasse. Sous l'influence de l'humidité, la plupart des roches qui en renferment des quantités notables (pegmatites, granites, gneiss, porphyres, grès arkoses, etc.) se désagrègent peu à peu. Le silicate de potasse est décomposé et entraîné par les eaux pluviales, et le silicate d'alumine plus ou moins pur, plus ou moins mélangé à du quartz, à du mica et à d'autres minéraux, selon la nature de la roche, reste isolé sous la forme d'une argile blanche, qui n'est autre chose que la terre à porcelaine. Le plus souvent superficielle, la kaolinisation pénètre quelquefois à d'assez grandes profondeurs, notamment à

Saint-Yrieix et à Marcognac, dans la Haute-Vienne, où l'on exploite de vastes carrières d'argile à porcelaine.

La désagrégation pulvérulente affecte surtout les calcaires, les marnes, les argiles et certains grès; elle attaque aussi bien leurs moindres fragments que la roche massive. Elle consiste en une disjonction très-lente et ordinairement superficielle des parcelles microscopiques ou des grains de sable qui constituent ces roches. Peu apparente dans les calcaires compactes, elle ne laisse, pour ainsi dire, aucune trace, les rares détritiques qui en proviennent étant balayés par les vents ou entraînés par les pluies. Au contraire, les marnes et les argiles se réduisent, sous les influences réunies de l'air et de l'humidité, en boues plus ou moins visqueuses, plus ou moins plastiques, qui se contractent et se fendillent pendant les sécheresses. C'est donc autant une dilution qu'une désagrégation; cependant certaines assises des marnes oxfordiennes du Jura, qui finissent par couler comme de la vase, sont tellement compactes dans leurs parties non altérées, qu'on les exploite à la poudre comme les calcaires. Les grès consistent, comme on le sait, en grains de sable agglutinés par un ciment siliceux ou calcaire. La disparition de ce ciment les rend à leur nature première, et les change en sables, dont l'épaisseur varie selon le degré de résistance de la roche.

**Effets généraux de la décomposition des roches.** — Les effets généraux de la décomposition des roches sont l'isolement des individus minéralogiques, la préparation de matériaux meubles pour les dépôts d'alluvion ou de sédiment et la formation de la *terre végétale*. Cette dernière consiste en *terreau* ou *humus* provenant de la décomposition de matières organiques, plus ou moins intimement mélangé avec les détritiques pulvérulents et fragmentaires des roches sous-jacentes. Elle manque presque absolument sur les calcaires et les basaltes compactes et résistants, qui forment de véritables déserts quand ils ne sont pas recouverts de charriages diluviens.

**DÉGRADATIONS DU SOL.** — Le plus souvent précédées et facilitées par la décomposition et la désagrégation des roches sur place, les dégradations du sol superficiel sont produites par les causes les plus diverses, telles que le choc des vagues, les infiltrations des eaux pluviales ou des eaux courantes, les pluies, les gelées, les vents violents, les avalanches, les tremblements de terre, les coups de foudre, les ébranlements de l'air à la suite de détonations, enfin, le développement de grosses racines dans les interstices des roches

et l'action directe des animaux. Elles ont pour effet de modifier quelque peu les reliefs primitifs des terres fermes, par la destruction ou le tassement de quelques parties des surfaces exposées à l'air. Dans un grand nombre de cas, ces phénomènes ne dépendent pas exclusivement de l'atmosphère; mais comme ils se rattachent intimement les uns aux autres et qu'ils se passent dans l'air et à la surface du sol, j'ai mieux aimé les réunir à cette place, sous un même titre, que de les répartir en diverses catégories, qu'il eût d'ailleurs été fort difficile de classer rigoureusement. Les principaux effets des dégradations du sol superficiel sont les suivants :

1° *Corrosion et polissage des roches.* — Ce sont des actions physiques et chimiques produites par les eaux pluviales plus ou moins chargées d'acide carbonique. Elles s'exercent principalement sur les roches les plus attaquables aux acides, comme les calcaires et les dolomies, quelle qu'en soit la dureté. Les surfaces deviennent inégales et comme vermiculées; elles se remplissent de petites dépressions et de cannelures flexueuses indiquant les parties de moindre résistance et les endroits les plus directement exposés à la pluie, et sillonnés de préférence par les petits filets d'eau qui se forment à la suite des averses. Plus en grand, et lorsqu'il s'exerce sur des roches meubles et détritiques, le phénomène devient une véritable érosion, d'où peuvent résulter des ravines, des excavations ou même des éboulements considérables. Les surfaces polies et corrodées se montrent sous toutes les inclinaisons; elles abondent dans les *Causses* du midi de la France et sur tous les affleurements oolithiques, coralliens et portlandiens du Jura. Aucune roche dure n'en est absolument exempte.

2° *Fendillement et morcellement des roches.* — Un peu plus du domaine particulier de l'atmosphère, ce phénomène s'opère principalement sous l'influence des gelées et de l'humidité. A l'état solide, l'eau se dilate de  $\frac{1}{16}$  environ, et cette augmentation de volume a lieu malgré tous les obstacles, avec une force à laquelle rien ne résiste. Il est donc facile de comprendre que l'eau pluviale, ou simplement l'humidité de carrière, quand elle se trouve saisie par la gelée dans les interstices des roches, les agrandit et produit de nouvelles fêlures. Les veines ou même les parcelles argileuses contribuent au même résultat. La plupart des pierres dites *gélives* doivent leur fâcheuse propriété aux petites quantités d'argile qu'elles renferment, et qui vient en aide à la gelée,

à laquelle résistent certains calcaires poreux, mais d'ailleurs parfaitement purs. Il y a, du reste, à apprendre encore bien des choses sur cette matière.

Quoi qu'il en soit, le phénomène dont nous nous occupons a pour effet de morceler les roches superficielles. Un grand nombre cependant résistent énergiquement à la division, et, sauf les grandes fentes de stratification, de retrait ou de rupture, elles se présentent en bancs ou en massifs compactes. Tels sont certains granites, certains porphyres, certains basaltes et beaucoup de calcaires et de grès sédimentaires. Mais ils constituent plutôt l'exception que la règle, et l'on peut dire, en général, que le morcellement s'opère sur toutes les roches, même les argileuses. La forme et le volume des fragments dépendent de la nature du milieu qui les a fournis. Les calcaires et les roches stratifiées se divisent ordinairement en petits morceaux anguleux, quelquefois grossièrement cubiques, et d'un format assez constant pour la même assise. Les roches massives, au contraire, par exemple les granites et les porphyres, produisent des morceaux anguleux de toutes formes et de toutes dimensions. Les uns et les autres de ces fragments sont d'ailleurs susceptibles de subir la désagrégation pulvérulente, la kaolinisation, la décomposition chimique ; de sorte qu'il n'est pas toujours facile de faire la part de chacune de ces actions, qui, ordinairement, concourent plusieurs ensemble au résultat final. Suivant les circonstances, le volume des fragments varie de la grosseur d'un grain de sable à celle de blocs mesurant plusieurs décimètres et même plusieurs mètres dans tous les sens.

Le morcellement des roches, ne s'effectuant que sur les surfaces exposées à l'air libre, est empêché par le revêtement de la terre végétale, et s'arrête à une certaine profondeur. Il a lieu sous toutes les inclinaisons. Plus exposés à l'action des agents atmosphériques, les pics et les crêtes nues des montagnes sont plus morcelés que les roches horizontales. La plupart des arêtes et des sommets granitiques des Pyrénées, notamment le pic de Crabioules, paraissent formés de blocs juxtaposés, que l'on pourrait, en quelque sorte, édifier plus loin de la même manière, en les numérotant comme on le fait des pierres d'une maison que l'on veut transporter. Peut-être les mouvements du sol ne sont-ils pas étrangers à ces dislocations, mais peut-être aussi s'est-on trop avancé quand on a affirmé qu'ils en étaient la cause unique. Il existe, en effet, au pied des arêtes de Crabioules, des affleurements du même granite usés et

arrondis par les anciens glaciers, où la roche ne présente pas la moindre fêlure.

Quand le morcellement affecte des surfaces horizontales, les fragments restent sur place, et se cimentent quelquefois par des infiltrations : ce sont les *débris remaniés*, qu'on remarque dans toutes les tranchées, au sommet de toutes les carrières, et qui forment quelquefois une couche de plus d'un mètre d'épaisseur. Il y a d'ailleurs souvent une transition presque insensible entre les débris remaniés et la roche intacte, les premiers se trouvant d'autant plus enchevêtrés les uns dans les autres (fig. 47) qu'ils sont plus



Fig. 47. — Débris remaniés. — a, terre végétale ; b, couches remaniées ; c, couches intactes.

superficiels. Parfois l'action de nappes d'eaux torrentielles anciennes ou récentes a quelque peu déplacé tous ces débris, et les a entraînés et entassés, sans en émousser les angles vifs, dans les dépressions et au bas des pentes : ce sont les *débris des pentes*, dont les sablières des environs de Niort offrent de beaux exemples. Si la dégradation s'opère sur des parois escarpées ou verticales, les morceaux s'accumulent à leur pied en talus inclinés au plus de 35 à 40 degrés, que la végétation transforme souvent en pelouses semées de broussailles. Ce sont les *éboulis*, qui abondent dans les pays de montagne, et notamment dans le Jura, où ils fournissent des *groises* toutes préparées, quelquefois même toutes triées pour l'entretien des routes. Combiné avec la désagrégation pulvérulente et la kaolinisation, le morcellement des roches a pour effet d'adoucir les aspérités, d'émousser les arêtes, de multiplier les surfaces courbes. C'est ainsi qu'on explique la transformation en *blocs arrondis* des matériaux primitivement anguleux des anciennes moraines des Vosges ; c'est ainsi qu'on explique la forme actuelle en ballons et en mamelons de beaucoup de montagnes autrefois plus abruptes.

3° *Excavations et cannelures*. — Elles se produisent dans les roches calcaires, mais seulement sur les parois verticales où af-

fleure la tranche des assises. Ce sont des sillons, ou plutôt des cannelures larges, arrondies, parfois profondes, ordinairement creusées sur une grande étendue dans une même couche (fig. 48),

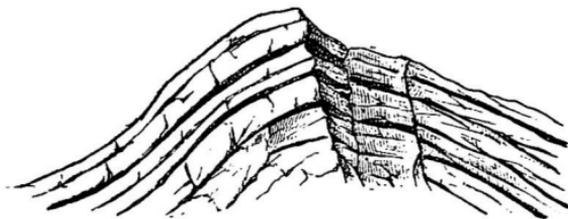


Fig. 48. — Roches cannelées, dans le Jura.

dont elles suivent toutes les inflexions. Leur largeur et leur niveau dans les bancs excavés sont ordinairement constants. Il arrive parfois néanmoins qu'elles s'élèvent et s'agrandissent brusquement pour se transformer en véritables cavernes. On peut donc observer tous les passages entre les simples cannelures et les *grottes* peu profondes. Comme elles bordent ordinairement les flancs rocheux des vallées d'érosion, on les a attribuées aux anciens courants qui ont ouvert ces vallées. Cependant, une observation un peu attentive montre qu'elles ont une origine bien différente, et le fait seul de l'inclinaison des cannelures dans les couches redressées prouve qu'elles n'ont pu être formées par les courants, qui restent toujours à peu près de niveau. Elles proviennent uniquement, comme l'a montré M. Martins, du morcellement et de la désagrégation de certaines couches, plus détritiques, ou de certaines portions de couches plus facilement attaquables par les agents atmosphériques. Les excavations profondes et les cavernes dénotent que, sur des points déterminés, et à la suite de circonstances inconnues qui se produisaient pendant le dépôt des assises sédimentaires, la pâte de la roche est demeurée moins ferme et moins tenace que dans les endroits où la désagrégation n'a pu s'opérer. C'est donc morceau par morceau, parcelle par parcelle que se détachent peu à peu les fragments dont la disparition creuse les assises à la longue : cette action se continue sous nos yeux, et chaque jour de nouveaux débris viennent s'ajouter aux éboulis rocaillieux qui s'accumulent en talus au pied des escarpements. Les cannelures et les excavations abondent dans les montagnes du Jura, où elles permettent de suivre, de fort loin, les allures des couches ; elles ne manquent pas dans les pays de plaines, et l'on en voit de beaux exemples dans les vallées qui entourent Poitiers.

Je me hâte d'ajouter que là n'est pas la seule cause du crousement des cavernes : les érosions souterraines, les suintements d'eaux acidules, les plissements et les dislocations du sol, les fissures et les éboulements qui en résultent, etc., ont eu leur part d'action isolément ou simultanément. Il est peu de cavernes étendues qui doivent leur origine à une cause unique.

4° *Blocs précipités*. — Ils ont souvent la même origine que les éboulis. Ce sont alors des masses rocheuses d'un grand volume, détachées des escarpements ou des pentes, et précipitées dans le fond des vallées par les ouragans, les avalanches, les tremblements de terre, quelquefois l'agitation communiquée à l'air par l'explosion d'une arme à feu, ou, le plus ordinairement, entraînées par la seule action de la pesanteur, dès que leur point d'appui vient à manquer. Leur chute peut causer de véritables désastres. Ils abondent dans les pays de montagne et au pied des falaises maritimes. Dans ce dernier cas, c'est presque toujours le choc des vagues, qui démolit peu à peu la base d'une falaise, dont le sommet s'écroule (fig. 49). Dans les montagnes, c'est souvent la

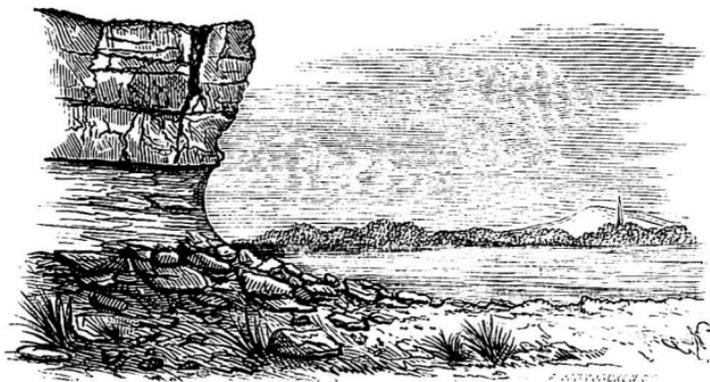


Fig. 49. — Falaise maritime.

destruction, par les pluies et les gelées, de couches marneuses sous-jacentes, qui déchausse les assises superposées et en provoque la rupture dès qu'elles surplombent. Les côtes du Dessoubre à Rosureux, dans le Jura franc-comtois, sont remplies d'énormes blocs de calcaire corallien, qui n'ont pas d'autre origine. Dans certaines parties des Alpes, notamment à la base du mont Cervin, les chutes de blocs presque continuelles rendent plusieurs passages extrêmement dangereux. On a pu dire, sans grande exagération, que les hautes montagnes sont des ruines qui s'écroulent sans cesse.

Quelquefois les blocs précipités ont une origine particulière et

exceptionnelle. Tels sont ceux de la forêt de Fontainebleau, si remarquables par leur volume, leur forme souvent bizarre et leurs prodigieuses accumulations. Ils donnent un caractère vraiment unique aux aspects de cette localité pittoresque, si chère aux paysagistes. Tels sont encore les blocs granitiques arrondis de la montagne du Sidobre, près de Castres. Les premiers ont été formés par la rupture et le morcellement d'épaisses assises de grès compactes, auxquelles l'appui a manqué dès que les anciens courants diluviens ont eu délayé et entraîné les sables meubles sur lesquels elles reposaient. C'est donc une accumulation formée sur place, comme celle des débris remaniés. Les blocs du Sidobre sont encore plus nom-

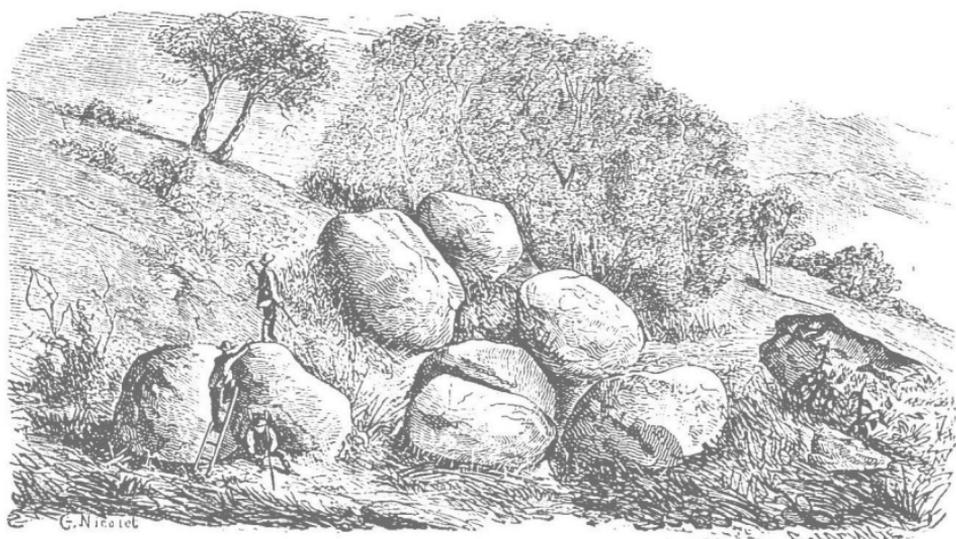


Fig. 50. — Blocs du Sidobre.

breux et plus volumineux ; ils recouvrent des pentes fort étendues ou remplissent des vallées sauvages, au fond desquelles ils sont entassés de manière à dissimuler complètement les eaux des torrents, et laissent, dans leurs intervalles, une grotte pittoresque qui a servi autrefois de lieu de refuge et de prédication. Semblables à d'énormes pachydermes pressés les uns contre les autres, ces blocs noirs, qui mesurent souvent plusieurs mètres dans toutes leurs dimensions, ont été peu à peu déchaussés et isolés par les pluies et les gelées ; ils proviennent de la désagrégation profonde de la roche granitique massive autour de noyaux arrondis et plus durs qui ont résisté à la décomposition, et qui sont les blocs eux-mêmes. Rien de plus facile, d'ailleurs, que de prendre la nature sur le fait ; car on peut observer, sur les bords du sentier qui traverse la vallée

de la grotte de Calvin, plusieurs de ces blocs en voie de formation, et en partie déchaussés. A leur surface se distingue très-bien la disposition de la roche en feuillets concentriques. Une fois libres de toute adhérence, les uns ont roulé au bas des pentes, où ils se sont entassés, les autres sont demeurés sur place, et quelques-uns, ne touchant plus le sol que par un point, oscillent sous une forte impulsion, et constituent des *pierres branlantes*. Ici, c'est donc une décomposition préalable de la roche qui a occasionné la désagrégation du sol (fig. 50).

5° *Éboulements*. — Ce sont des masses de rochers, de grandes étendues de terrain et même des portions de montagnes qui glissent et se précipitent dans les vallées. Le plus souvent ces accidents désastreux sont la conséquence des gelées et des infiltrations, qui délayent et entraînent peu à peu des couches marneuses inclinées supportant d'autres couches plus solides, lesquelles se déroberont dès que leur appui souterrain vient à manquer. On a signalé, dans les Alpes suisses, des exemples de pelouses et de prairies qui ont descendu quelque peu le long d'une pente, sans que leur surface et leur aspect se trouvassent sensiblement modifiés, et, par conséquent, sans aucun danger pour les hommes et les animaux. Mais, le plus souvent, les choses ne se passent pas aussi tranquillement. En 1618, la ville de Pleurs, en Valteline, fut détruite par un immense éboulement, et il en fut de même, en 1669, d'une partie de Salzbourg. Le 2 septembre 1806, les villages de Goldau et de Busingen, une partie du village de Lowertz et beaucoup de fermes et de hameaux furent écrasés par l'écrasement du Ruffiberg ou Rossberg, situé en face du Righi. L'énorme masse de boue et de rochers qui se précipita dans le lac de Lowert, en fit refluer les eaux jusqu'à l'autre extrémité, où le village de Seven eut à souffrir de l'inondation. On porte à 800 ou 900 le nombre des victimes. Le 26 août 1835, la Dent du Midi, dans le Valais, s'écroura avec un bruit formidable, en produisant un ébranlement comparable à un tremblement de terre. Une masse extraordinaire de pierres, de glace et de boue fut précipitée dans la vallée, et chemina ensuite vers le Rhône, en franchissant une vingtaine de kilomètres en une demi-heure, et en charriant des blocs énormes.

On a vu que les gelées prennent une part active au plus grand nombre des actions qui ont pour résultat une dégradation quelconque du sol; notamment le morcellement des roches, leur décomposition, le creusement des cannelures, l'isolement des blocs précipités

et les éboulements. Il serait intéressant de déterminer la part exacte qui leur revient dans tous ces phénomènes, et de comparer l'intensité de ceux-ci dans les contrées tropicales, où il ne gèle jamais, et dans les régions froides, où vraisemblablement les débris et détritiques de toute nature sont plus abondants. Mais, faute de renseignements, je me bornerai à appeler l'attention sur ce point. Je dois ajouter que les dégradations du sol ont été fort importantes autrefois, et qu'elles ont beaucoup contribué à abaisser certaines chaînes de montagnes et à en modifier les formes. Quand on voit les immenses alluvions qui entourent les Vosges et le Plateau central de la France, on arrive presque à doubler la hauteur de ces montagnes, si l'on suppose, par la pensée, tous les matériaux qui en proviennent rétablis à leur ancienne place.

**PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES.** — Peu importants et longtemps inaperçus et négligés, ils consistent surtout dans l'altération ou la fusion et dans la rupture des roches par les coups de foudre. De Saussure signale dans le massif du mont Blanc des roches superficiellement vitrifiées par le tonnerre. Dans les dunes sablonneuses du nord de l'Allemagne, et ailleurs, on a trouvé des *fulgurites*, sortes de tubes vitreux lisses en dedans et recouverts à l'extérieur de grains de sable agglutinés. Ils sont formés par l'action de la foudre, qui a fondu le sable sur le trajet souterrain de l'étincelle. Ces fulgurites sont ordinairement flexueuses; assez souvent inégal, leur diamètre intérieur varie de 1 à 50 millimètres; leur longueur peut atteindre 8 et même 10 mètres. On a obtenu de semblables tubes au moyen de fortes batteries électriques, ce qui ne laisse pas de doute sur leur origine. Les fulgurites se produisent quelquefois dans les montagnes. D'après M. Abich, tout le massif de l'Ararat est couvert de cannelures et de tubes vitrifiés, tellement nombreux et rapprochés qu'au sommet du Petit-Ararat, la roche, originairement compacte et cristalline, a pris l'aspect d'une masse caverneuse imparfaitement fondue, perforée comme les pièces de bois attaquées par les tarets. Le mont Ararat paraît être, en effet, le point du globe le plus souvent frappé par la foudre.

**ACTION GÉNÉRALE DE L'ATMOSPHÈRE.** — On peut résumer brièvement les actions diverses des phénomènes atmosphériques, en disant qu'elles sont toujours superficielles, qu'elles n'exercent qu'une très-faible influence sur le modelé actuel de la planète, et qu'à part l'édification des dunes, leur effet est plutôt d'émousser les aspérités, de combler les dépressions, en un mot de niveler, que de creuser la

surface terrestre et d'en augmenter les reliefs et les inégalités. Il faut ajouter que ces phénomènes méritent essentiellement la qualification de contemporains, parce que, bien qu'ils se soient manifestés à toutes les époques, les traces en ont presque toujours disparu à la suite des changements survenus à la surface du globe.

## CHAPITRE II

### PHÉNOMÈNES AQUATIQUES

Il y aurait à distinguer les actions de l'eau à l'état solide, à l'état liquide et à l'état gazeux. Mais la vapeur aqueuse n'intervenant que dans les phénomènes éruptifs, qui appartiennent à la catégorie des phénomènes terrestres, nous n'avons pas à nous en occuper ici, et nous examinerons seulement l'action de l'eau solide et celle de l'eau liquide.

#### § 1. — EAU SOLIDE.

Sous ce titre, nous étudierons les principaux effets de la neige, puis les glaciers et les glaces polaires, qui lui doivent, en grande partie, leur origine.

**NEIGE.** — C'est de l'eau en vapeur, qui se condense et cristallise sans passer par l'état liquide, si non molécule par molécule, si l'on peut ainsi s'exprimer. Les cristaux sont groupés, comme on le sait, de manière à constituer de petites étoiles à six rayons extrêmement élégantes ; souvent aussi la neige tombe en gros flocons, formés de cristaux irrégulièrement enchevêtrés. C'est vers la température de 0, et un peu au-dessus, que les chutes de neige sont le plus abondantes et qu'elles donnent les plus gros flocons ; à 5 ou 6 degrés au-dessus de zéro la neige se transforme en pluie et en grésil ; elle est plus rare par les grands froids et ne tombe plus guère dès que le thermomètre descend à 18 ou 20 degrés au-dessous de zéro.

On voit que l'abondance de la neige dépend en grande partie de la température. Elle est donc plus fréquente dans les montagnes et dans les contrées septentrionales, et la durée de son séjour sur le sol augmente avec la latitude et avec l'élévation au-dessus du niveau de la

mer. J. Thurmann a reconnu que, dans le Jura, il y a en moyenne vingt jours de chute de neige par année à 270 mètres d'altitude, trente-trois jours à 700 mètres, cinquante et un jours à 1300 mètres, soixante-sept jours à 1700 mètres; ce qui donne trois jours de plus pour une augmentation d'altitude de 100 mètres. D'après le même observateur, la neige séjourne pendant un mois sur le sol aux niveaux compris entre 270 et 400 mètres, deux mois entre 400 et 700 mètres, trois mois entre 700 et 1000 mètres, quatre mois entre 1000 et 1300, cinq mois entre 1300 et 1600 mètres et six mois au-dessus de 1600. On observe les mêmes gradations quand on se rapproche des pôles.

**Effets de la neige sur les roches.** — Les effets de la neige sont assez variés. Pendant qu'elle recouvre le sol, elle le préserve de la gelée et de la dégradation; mais par sa fusion, elle contribue au morcellement des roches, dans les interstices desquelles s'infiltré l'eau liquide. Quand la neige est fort abondante ou que les tourbillons en ont amoncelé une grande quantité dans les bas-fonds, un dégel subit peut amener des débâcles, qui bouleversent et ravinent les terres. Dans les hautes montagnes, les *avalanches* contribuent beaucoup à la dénudation des pentes et au déplacement des blocs de rochers. Elles sont peu dangereuses pendant l'hiver, parce que la neige gelée se précipite en une poussière fine incohérente; mais les avalanches de l'automne et du printemps remplissent quelquefois le fond des vallées de masses énormes de neige compacte, de boue et de débris rocailleux, et ravagent tout sur leur passage, presque aussi dangereuses et infiniment plus fréquentes que les écroulements des montagnes. Ce sont les avalanches qui produisirent la terrible débâcle de 1818 dans la vallée de Bagnes, en Valais. Le torrent de la Dranse, qui la traverse, est fort resserré près de Mauvoisin. Une ravine y fait descendre les blocs de glace et les avalanches qui se détachent du glacier de Gétroz. En temps ordinaire le courant en a facilement raison. Néanmoins, durant les années froides qui précédèrent 1818, le lit de la Dranse commença à s'obstruer, et peu à peu il se trouva complètement barré. Les eaux se frayèrent cependant une issue jusqu'au mois d'avril; mais, à partir de cette époque, elles s'accumulèrent au-dessus de leur barrage improvisé, et formèrent un lac profond, de plusieurs kilomètres de longueur. On essaya de prévenir le danger en creusant une galerie d'écoulement; mais l'issue s'agrandit rapidement, le barrage fut emporté, et les eaux, longtemps contenues, se précipitèrent dans la vallée avec une

force irrésistible. Le lac fut vidé en une demi-heure. D'après M. Escher de la Linth, les eaux parcoururent d'abord 30 mètres par seconde jusqu'au Chable, puis 6 mètres seulement du Chable à Martigny, un peu moins de 4 mètres de Martigny à Saint-Maurice, enfin 2 mètres de cette dernière localité au Rhône. On est encore étonné en contemplant les blocs énormes entraînés dans cette débâcle : la plupart ont leurs angles émoussés ; plusieurs mesurent une soixantaine de pas de circonférence, et des carrières sont ouvertes dans quelques-uns.

**GLACIÈRES NATURELLES.** — Dans les pays de montagne et dans les contrées boréales, la neige se conserve quelquefois pendant toute l'année dans certaines cavités ouvertes au nord. Rien de plus fréquent que les *creux de neige* et les *creux de glace* dans les hautes montagnes du Jura. La neige se conserve de même dans les pays du Nord : j'en ai vu en juillet 1845 des plaques assez étendues, dans les forêts de sapins de la partie septentrionale du gouvernement de Novgorod. Elle passe toujours à l'état de glace dans les cavités où elle persiste jusqu'aux neiges suivantes ; ces cavités sont les *glacières naturelles*. Est-il besoin de dire qu'elles n'existent que dans les lieux froids mais non glacés, et toujours en deçà et au-dessous de la limite des neiges éternelles, aussi bien dans les contrées boréales que dans les pays de montagnes ? Le préjugé populaire suppose que la glace des cavités souterraines s'y forme pendant l'été. C'est là une grossière erreur. Il est facile, au contraire, de se convaincre qu'elle diminue beaucoup durant la saison chaude, et que la glace de l'été n'est que le résidu de celle qui s'est établie en hiver. Une belle glacière naturelle est celle de la Grâce-Dieu, près de Besançon ; il y en a quelques-unes dans la cheire de Côme, en Auvergne, mais elles sont infiniment moins importantes, et plusieurs ne conservent pas leur glace tous les étés. Les sources d'air ne paraissent pas étrangères à la formation de ces dernières.

**GLACIERS.** — Les glacières naturelles nous font passer naturellement de la neige aux *glaciers*. Ceux-ci n'existent que dans les hautes montagnes et dans les terres polaires ; et si leur extrémité inférieure descend au-dessous des neiges éternelles, ils ont toujours leur origine dans la région occupée par ces dernières. Ce sont des amas de neige et de glace fort importants, fort étendus, et qui laissent des traces plus durables que tous les phénomènes jusqu'ici passés en revue. Nous étudierons d'abord les *glaciers alpins*, ou des hautes montagnes.

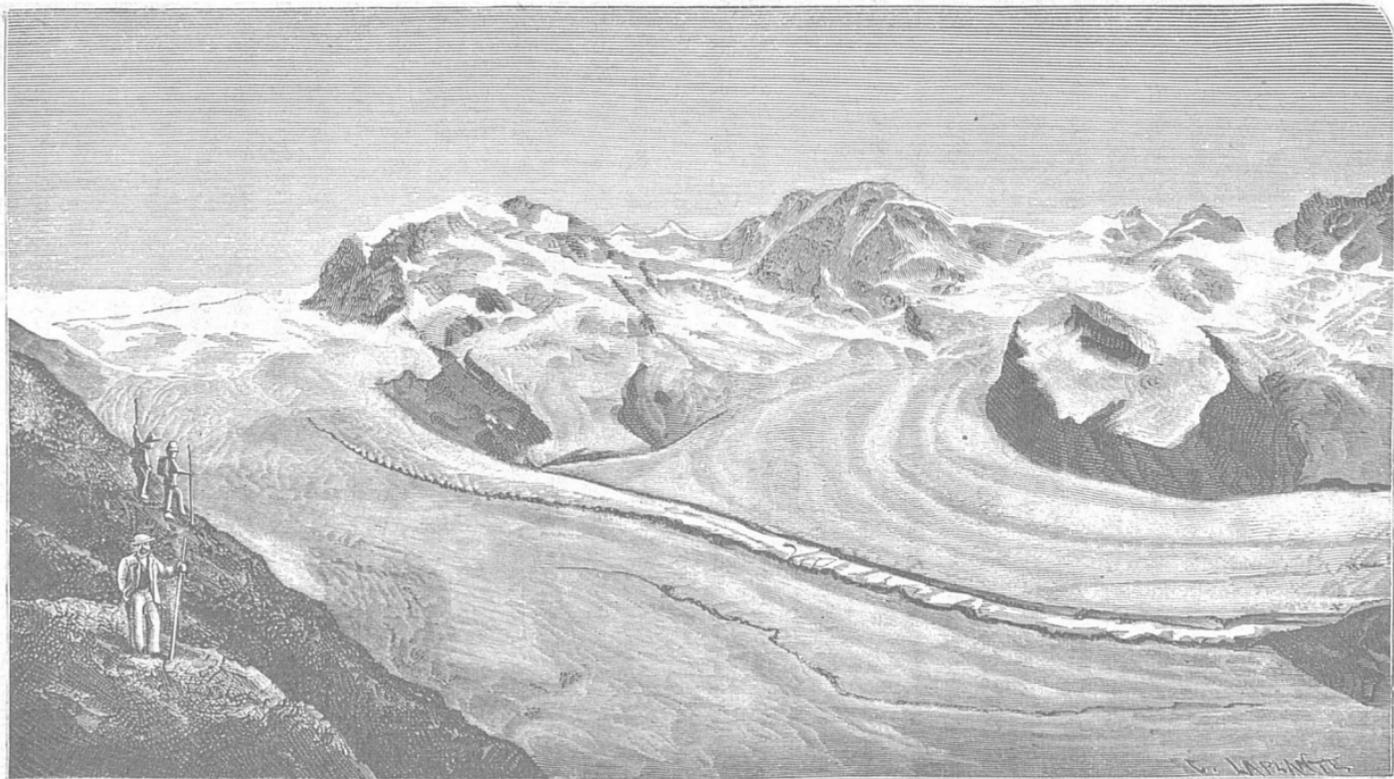


Fig. 51. — Glacier de Zermatt à son origine.

**Glaciers alpins.** — Un glacier est une énorme masse de neige et de glace qui remplit certaines vallées ou qui recouvre le flanc des montagnes. On a souvent comparé un glacier à un fleuve congelé. Il s'alimente, en effet, se déplace, coule entre ses rives, reçoit des affluents, présente des remous et même des cascades, comme un cours d'eau. Il s'alimente par les neiges qui tombent dans les cirques rocheux où il prend naissance. Une des conditions nécessaires à l'existence d'un glacier, c'est qu'il y ait à son origine de vastes dépressions, appelées cirques, où les vents puissent entraîner et accumuler les neiges (fig. 51). C'est donc avec raison qu'on a comparé les glaciers aux fleuves sortant d'un lac, comme le Nil, par exemple. A leur extrémité inférieure, les glaciers se terminent par un escarpement appelé *front du glacier*, d'où s'échappe un torrent provenant de la fusion de la glace. Le Rhin, le Rhône, la Garonne et un grand nombre de cours d'eau n'ont pas d'autre origine. Toutes ces rivières grossissent en été.

**Formation de la glace.** — La neige qui entretient les glaciers se tasse peu à peu et descend le long des pentes, cédant à la pesanteur, ou précipitée par les avalanches. Elle passe de proche en proche à l'état de glace; mais elle se renouvelle sans cesse dans les hautes régions, par des chutes presque quotidiennes. Voici ce que l'observation nous apprend sur la formation de la glace : Quand la température est assez élevée, en été par exemple, la neige se ramollit à la surface et éprouve un commencement de fusion. L'eau qui en provient s'infiltré à l'état liquide dans les couches profondes, et les convertit en une masse granuleuse composée de petits glaçons sans adhérence. C'est le *névé* des physiciens. Assez fin dans le voisinage des neiges éternelles, le névé devient de plus en plus grossier, par l'augmentation du volume des glaçons dont il est formé. Ceux-ci finissent par se souder entre eux, et donnent naissance à une glace, d'abord bulleuse et remplie de petites cavités, puis compacte, et présentant, dans les crevasses, cette merveilleuse coloration bleue que l'œil ne peut se lasser d'admirer. Tous ces effets sont dus aux alternances de fusion et de congélation qu'éprouvent chaque jour les glaciers; car, même aux époques les plus chaudes de l'année, le thermomètre descend toutes les nuits au-dessous de zéro dans les hautes montagnes. Il en résulte que les infiltrations du jour et la gelée des nuits tendent à agglutiner de plus en plus les éléments des névés pour les transformer en glace, et que l'eau qui pénètre à l'état liquide dans les pores de la glace

bulleuse finit par s'y congeler et par en faire disparaître les cavités. Aussi, loin de présenter un tout homogène, les glaciers varient dans leur composition, suivant qu'on s'éloigne du cirque où ils commencent, pour se rapprocher de leur extrémité opposée. Ils sont d'abord formés de neige, puis de névé et de glace bulleuse, enfin de glace compacte. Cette diversité de composition est d'ailleurs décelée par l'analyse physique. En étudiant au polariscope la structure de certains glaciers des Alpes, M. Bertin a reconnu qu'à l'extrémité inférieure et au front même des glaciers de quelque étendue les cristaux sont orientés comme dans la glace des rivières, et présentent leur grand axe perpendiculairement aux surfaces; au contraire, à mesure qu'on remonte le glacier et qu'on se rapproche de la glace bulleuse et des névés, l'orientation devient de plus en plus confuse et irrégulière. Disons aussi que la limite entre la glace et le névé est oblique à l'axe du glacier, toutes les fois que ce dernier ne reçoit pas également des deux côtés les rayons du soleil.

**Fusion des glaciers.** — En même temps qu'ils s'alimentent par les neiges, les glaciers diminuent par la fusion. Celle-ci a lieu principalement à leur surface et à leur extrémité inférieure; elle est d'autant plus active qu'on l'observe sur des points de plus en plus éloignés du cirque d'origine, puisque, au fur et à mesure que le glacier pénètre dans les régions basses, il y rencontre une température plus élevée.

Dans les Alpes, la fusion superficielle enlève chaque année une couche d'environ 3 mètres d'épaisseur. Un de ses effets les plus remarquables, c'est de mettre à découvert les objets enfouis dans les parties profondes. Les glaciers rejettent toute impureté, disent les montagnards. Quelquefois d'énormes blocs de rochers, ainsi rendus à la lumière, préservent de la fusion les couches sur lesquelles ils reposent, tandis que la glace s'abaisse autour d'eux; ils finissent par se trouver supportés à une certaine hauteur sur des espèces de colonnes, et constituent ce qu'on a appelé les *tables des glaciers*.

**Marche des glaciers.** — La fusion du front du glacier est la plus importante à considérer, car c'est celle qui en arrête les progrès vers les régions basses. Aussi les glaciers sont-ils en équilibre instable. Un été sec et chaud les fait reculer vers les hauts sommets, un été froid et humide leur permet de s'étendre dans les vallées. Quand il arrive une suite d'années pluvieuses, la marche du glacier peut devenir inquiétante pour les hameaux rapprochés. En 1818,

plusieurs communes du Valais craignirent de se voir envahies. De 1846 à 1854, les glaciers du massif du mont Blanc firent de tels progrès, que les habitants des Bossons, près de Chamonix, délibérèrent pour savoir s'ils n'abandonneraient pas leurs demeures, sérieusement menacées. Heureusement une série d'étés secs et chauds vint ramener les choses dans leur ancien état. Depuis douze ans le glacier des Bossons a reculé de 332 mètres; il se trouve actuellement à plus d'un demi-kilomètre du hameau.

**Conditions nécessaires à l'extension des glaciers.** — On voit que l'existence et l'extension d'un glacier dépendent à la fois de son alimentation par les neiges et de ses pertes par la fusion. Si la première devient prépondérante, le glacier progresse, si c'est la seconde, il recule. Pour qu'un glacier prenne de l'extension, il faut et il suffit que son alimentation l'emporte sur ses pertes. L'établissement d'un glacier n'implique donc pas du tout, comme condition indispensable, l'existence d'une très-basse température. Je dois insister dès à présent sur ces propositions, fort importantes au point de vue de la géologie générale, et dont l'idée première revient à Lecoq.

**Progression des glaciers.** — Les glaciers ne restent donc pas tout à fait immobiles, comme le serait un fleuve congelé. Ils cheminent, fort lentement, il est vrai, du côté des vallées, où ils s'étendraient indéfiniment, si, comme on l'a vu, ils n'étaient arrêtés par la fusion de leur extrémité frontale. Le mouvement de progression est facile à constater, même à l'observation la plus superficielle. Depuis longtemps on a remarqué que les blocs de rochers précipités en si grand nombre à la surface des glaciers par les gelées et les infiltrations ne restent pas au pied des escarpements qui les ont fournis, et que tel fragment granitique provenant du cirque où commence le glacier peut se trouver amené en face d'autres roches, de schistes, par exemple, entre lesquels le fleuve de glace se trouve encaissé dans la partie inférieure de son cours. Divers objets abandonnés, à des époques connues, vers le haut des glaciers, ont fini par reparaitre plus loin et par être rejetés. On cite notamment une échelle laissée au pied de l'aiguille noire du mont Blanc par les guides de de Saussure, le 19 juillet 1788, et dont les fragments furent revus en 1832 sur la Mer de glace par M. Forbes, à 4050 mètres plus bas. M. Martins retrouva, le 18 août 1845, le pied gauche de cette même échelle à 4420 mètres de son point de départ : elle avait ainsi parcouru 87 mètres par an. M. Hugi avait fait con-

struire en 1827, au confluent des glaciers du Finsteraar et du Lauteraar, une cabane, qui était, en 1843, à 1340 mètres plus bas, ce qui indique un mouvement de 96 mètres par année.

Des mesures exactes montrent que la progression des glaciers s'accomplit d'une manière continue et sans saccades; qu'elle est plus rapide en été qu'en hiver; qu'elle varie suivant l'étendue des cirques, l'inclinaison et la configuration de la vallée; qu'elle n'est pas toujours en rapport avec la pente; enfin qu'elle se ralentit à mesure qu'on descend le glacier. Ainsi, la partie supérieure du glacier de l'Aar chemine de 75 mètres par an, la partie moyenne de 71 mètres, et la partie inférieure de 39 mètres seulement. Quant à la vitesse moyenne, elle ne peut être appréciée fort exactement, car la différence est souvent considérable entre deux glaciers voisins et même entre les divers affluents d'un glacier. Tandis que celui de l'Aar, déjà nommé, progresse de 70 mètres par an, la Mer de glace de Chamoniix se déplace en raison de 147 mètres dans le même espace de temps. On ne s'écarte pas beaucoup de la vérité en admettant, pour les Alpes suisses, une vitesse annuelle de 50 à 120 mètres; estimation qui n'a rien de compromettant en raison même de son élasticité. Sans doute le ralentissement de la progression dans le bas des glaciers provient, en grande partie, de la diminution de leur masse par la fusion.

Non-seulement la progression est inégale dans le sens de la longueur, mais elle l'est aussi dans le sens de la largeur. Des jalons plantés en ligne droite d'un bord à l'autre d'un glacier, perpendiculairement à son axe, ne tardent pas à se déplacer, et à présenter à l'œil une courbe dont la convexité est dirigée dans le sens de la pente. Le mouvement est donc plus rapide au centre du glacier que sur ses rives. M. Tyndall a en outre reconnu que, dans le cas où il se présente des courbes et des sinuosités, la ligne qu'on ferait passer par tous les points de la surface où le mouvement est le plus rapide, ne suit pas le centre du glacier, mais se rapproche de la rive concave et s'éloigne de la rive convexe. Enfin, pour achever de justifier cette assimilation qu'on a proposée de la marche d'un glacier à celle d'un cours d'eau, j'ajouterai que le premier contourne les obstacles qui peuvent obstruer son lit, de la même manière qu'une rivière; qu'il éprouve des refoulements comparables aux remous des eaux, et que, dans certains cas, il a ses rapides et ses chutes. Ainsi, dans les Alpes bernoises, le glacier de Schwartzwald se précipite en cascade solide d'un escarpement des Wetterhoerner,

au pied duquel la glace brisée se ressoude pour continuer de s'écouler.

**Cause de la progression des glaciers.** — La cause de la progression des glaciers a été longtemps un problème qui n'a reçu que depuis peu d'années une solution satisfaisante. Je me bornerai à rappeler, sans les discuter, les principales opinions émises à cet égard. Pour de Saussure, c'était le poids du glacier qui l'entraînait vers les régions inférieures. Pour M. Agassiz, dont la manière de voir a été longtemps admise, la dilatation de l'eau qui se congèle chaque nuit dans les fissures occasionnait le mouvement. Rendu, puis Forbes, considéraient la glace comme une sorte de matière visqueuse, qui s'écoule lentement, sollicitée par son poids et obéissant à la pente. Toutes ces hypothèses ont quelque chose de vrai, mais chacune d'elles, étant trop exclusive, n'expliquait qu'un des côtés du phénomène. Forbes se rapproche surtout de la réalité ; mais il restait à montrer que la glace est une matière plastique. C'est ce qu'a fait M. Tyndall, en s'appuyant sur des expériences qu'on répète maintenant dans tous les cours de physique, et dont j'indiquerai les résultats sans entrer dans des explications théoriques. Deux morceaux de glace fondante pressés l'un contre l'autre se soudent et se réunissent en un seul glaçon. Comprimée dans un moule par une presse hydraulique, une masse de glace ou de neige fondante prend toutes les figures qu'on veut lui donner, et se transforme, suivant le cas, en un disque, un vase, un anneau de glace solide et compacte. C'est ce qu'on appelle en physique le phénomène du regel. La glace est donc une matière plastique susceptible de prendre toutes les formes, de garder toutes les empreintes. On comprend maintenant que le glacier, poussé en avant par la masse des neiges et des névés de ses parties supérieures, obéissant d'ailleurs à la pente de son lit, glisse entre les parois rocheuses qui l'encaissent, se moule en quelque sorte sur elles, surmonte ou contourne les obstacles, puisque, sous l'influence de l'énorme pression qu'elle subit, la glace, à chaque instant brisée et morcelée, conserve la propriété de se réunir en un tout homogène. Sans le regel, les glaciers se réduiraient en poussière. A toutes ces causes, M. Moseley ajoute enfin la dilatation produite par les rayons solaires, sans laquelle, au dire de cet auteur, les agents de propulsion indiqués par M. Tyndall ne produiraient ordinairement qu'un résultat insignifiant.

**Crevasse.** — Mais ces divers mouvements ne s'accomplissent

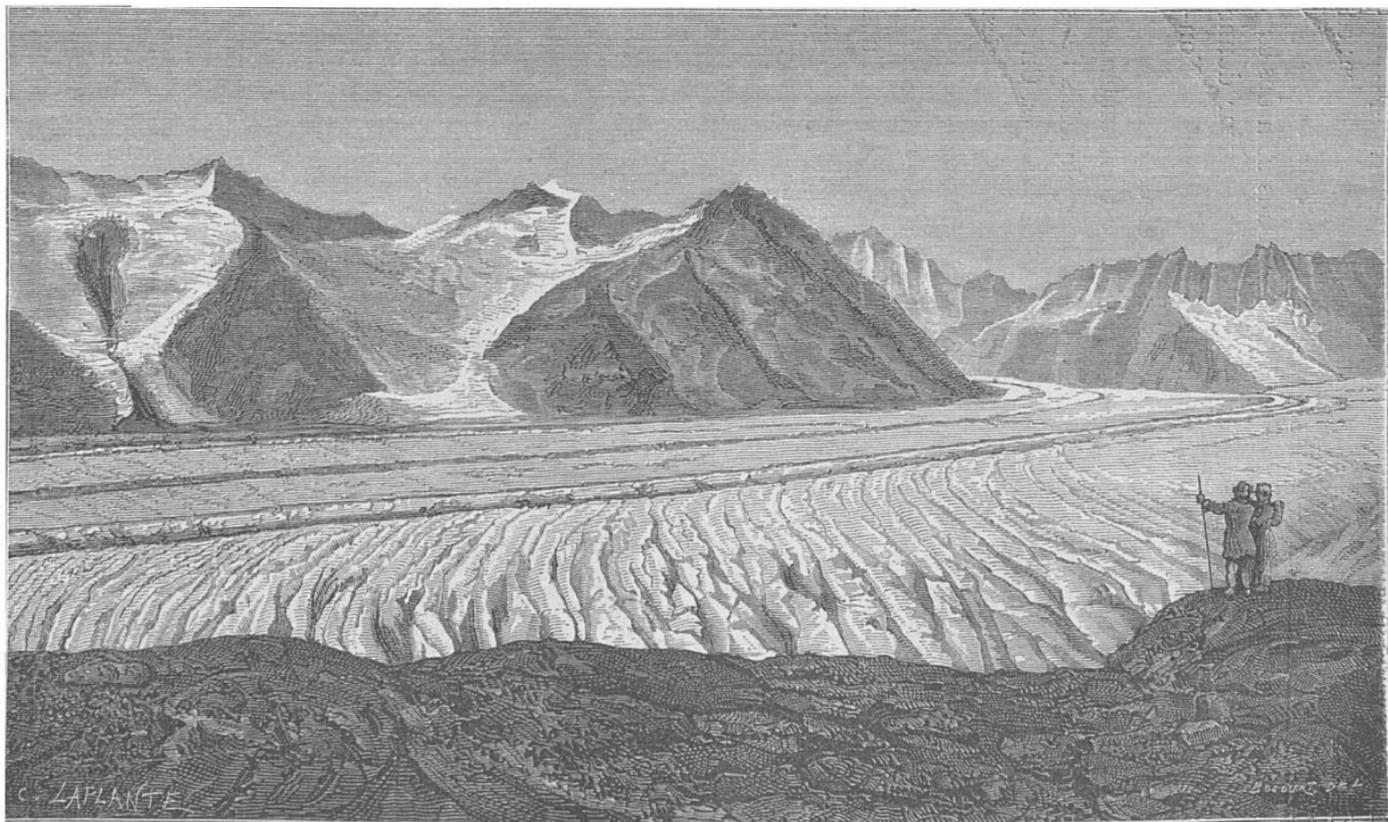


Fig. 52. — Crevasses marginales du glacier de Zermatt et moraines superficielles.

pas sans amener des perturbations profondes et des dislocations innombrables dans le corps même du glacier. A l'examen superficiel ce dernier paraît un amas compacte de neige, de névé et de glace; en réalité c'est un assemblage de fragments en contact de toutes dimensions, une masse poreuse imprégnée d'eau. Dans bien des cas, une entaille superficielle de quelques mètres de longueur donne naissance à un véritable ruisseau, qui persiste un jour entier. Non-seulement la glace en apparence la plus solide renferme une multitude de petites fentes, mais le glacier lui-même est profondément morcelé par de grandes fissures, qui le traversent quelquefois dans son épaisseur. Ces *crevasses* ont reçu le nom de *rimayes*. On en distingue de trois espèces. Ce sont d'abord les *crevasses marginales*, qui n'existent que sur les bords du glacier. Leur direction est toujours plus ou moins oblique et curviligne, et la convexité de la courbe regarde le haut du glacier. Elles résultent évidemment d'une traction provenant de ce que le mouvement est plus rapide au centre que sur les bords (fig. 52). Il y a ensuite les *crevasses transversales*, qui coupent le glacier dans toute sa largeur et le divisent ordinairement dans toute son épaisseur. Elles sont occasionnées par une saillie du sol sous-jacent relevant le glacier et lui faisant éprouver un ploiement qui le force à se rompre (fig. 53). On connaît enfin des *crevasses longitudinales*, qui se forment toutes les fois que la glace vient buter contre un obstacle situé en avant.

Dans les hautes montagnes, il peut neiger tous les jours de l'année. Les chutes ont souvent une telle abondance, qu'en peu d'heures une couche de neige de plusieurs décimètres d'épaisseur recouvre le sol. Alors tout se confond, et les crevasses disparaissent sous un blanc linceul. Quelquefois elles sont entièrement comblées par les tourbillons, mais le plus ordinairement c'est un simple pont de neige qui les dissimule aux regards. Quand ce pont n'a pas acquis la solidité suffisante, malheur à l'imprudent voyageur qui vient à y poser le pied. Il n'est pas de glacier qui n'ait dévoré ses victimes. Les récits des guides sont remplis de lamentables histoires. Il y a quelques années, un jeune Russe attaché d'ambassade était parti de Zermatt pour visiter les immenses et magnifiques glaciers du mont Rose. Il précédait de quelques pas son guide, lorsque soudain il disparaît dans une crevasse. Le malheureux jeune homme était tombé la tête en bas. Pressé entre deux murailles de glace, et à moitié enseveli dans la neige, il conserva cependant sa présence d'esprit, et ordonna au guide d'aller chercher du



Fig. 53. — Crevasses transversales de la Mer de glace, près Chamonix.

secours. Ce dernier mit beaucoup de temps à se rendre au hameau le plus voisin, où il se munit de cordes dont la longueur fut reconnue insuffisante. Toujours rempli de courage, le jeune voyageur lui donna de nouvelles instructions, mais quand les montagnards revinrent en nombre, ils ne retirèrent plus qu'un cadavre. Le corps du malheureux étranger, dont l'agonie dura cinq heures, avait laissé son empreinte dans la glace, qui s'était fondue autour de lui.

**Bruits des glaciers.** — Ces mouvements intestins, ces déchirements, ces dislocations incessantes des glaciers sont accompagnés de bruits divers dont il est facile de reconnaître la cause. Tantôt une détonation formidable annonce qu'une grande crevasse vient de s'ouvrir subitement; tantôt un grondement plus sourd indique la démolition d'une partie du front du glacier ou la chute de quelque avalanche. Les innombrables tiraillements de la masse produisent des craquements presque continuels : le glacier cède en gémissant à sa destinée, a pu dire avec raison M. Forbes.

**La vie sur les glaciers.** — C'est donc à tort qu'on se représenterait les champs de glace comme le domaine du silence et de l'immobilité. Dans un beau jour d'été, rien n'est au contraire plus animé que leur surface, pour qui sait observer. Dès le matin, la chaleur fait fondre la pellicule solide formée pendant la nuit, et bientôt circulent une multitude de petits filets d'eau, qui s'écoulent en murmurant, se réunissent et s'anastomosent de mille manières pour constituer des ruisseaux, qui se précipitent en cascades dans les crevasses, et se joignent au torrent sortant du front du glacier. Parfois la neige est colorée en rouge par un végétal microscopique presque réduit à une simple cellule, le *Protococcus nivalis*, qu'on a observé dans les glaces du pôle aussi bien que dans celles des montagnes. Des îlots rocheux, connus sous le nom de jardins des chamois, percent les névés des cirques et se revêtent d'une charmante parure de mousses, de saxifrages, d'androsaces et d'autres plantes alpines, fort recherchées des collectionneurs. Il arrive aussi que de grands blocs précipités par les avalanches amènent jusqu'à la surface du glacier cette végétation aux vives couleurs. Le règne animal ne fait pas non plus défaut. A des hauteurs prodigieuses plane le gypaète barbu, ou vautour des agneaux, sur le compte duquel circulent tant de fables. La corneille des Alpes fait retentir de son cri rauque les basses vallées, où elle se précipite en tournoyant. La perdrix des frimas, ou lagopède, établit son nid dans le voisinage des neiges éternelles. L'ours, le chamois, le bouquetin, fréquentent ces

régions désolées, de plus en plus rares et méfiantes. Fort nombreuses, au contraire, les marmottes font entendre à chaque instant leur sifflement aigu, et courent à leur terrier à la moindre alarme. Les voyageurs qui passent la nuit dans les hautes régions reçoivent souvent la visite indiscreète et intéressée d'autres rongeurs particuliers aux montagnes glacées. Il n'est pas jusqu'aux insectes qui n'aient leurs représentants. Pendant le séjour que fit, en 1840, sur le glacier de l'Aar, la jeune phalange des naturalistes neuchâtelois, ils trouvèrent en grande abondance un petit animal agile et bondissant, la puce des glaciers puisqu'il faut l'appeler par son nom. Cet insecte, découvert l'année précédente, par M. Desor, dans les glaciers du mont Rose, appartient à la famille des Podurelles. De tous les habitants des neiges, c'est sans contredit le plus curieux à observer, car il pénètre dans l'intérieur de la glace en apparence la plus compacte, et y circule avec une grande rapidité; ce qui prouve bien que les blocs qui nous paraissent les plus homogènes sont remplis de fissures que l'œil ne distingue pas aisément.

**Étendue et volume des glaciers.** — La masse et l'étendue d'un glacier dépendent surtout de circonstances locales, telles que la surface plus ou moins grande du cirque d'alimentation, le nombre des affluents, l'orientation par rapport à de hauts sommets, l'altitude, l'abondance des neiges, etc. Les amas plutôt formés de neige que de vraie glace qu'on rencontre çà et là dans les Pyrénées, méritent à peine le nom de glaciers. Ces derniers sont au contraire fort nombreux dans les Alpes, et contribuent surtout à leur donner l'incomparable beauté qui les distingue parmi toutes les montagnes. Voici les dimensions de quelques glaciers. Le plus grand de la péninsule scandinave a 9 kilomètres de longueur sur 700 à 800 mètres de largeur. Le glacier de l'Aar, dans les Alpes bernoises, a 8 kilomètres de long sur 1450 mètres de large; son volume est estimé deux milliards et demi de mètres cubes. Celui d'Aletsch, le plus étendu de la chaîne, a 24 kilomètres, et son volume est de 22 à 24 milliards de mètres cubes. Dans l'Himalaya, où tout est gigantesque, le glacier de Baltoro a une longueur de 58 kilomètres sur une largeur de 3 à 4 kilomètres; enfin le glacier le plus considérable du globe, appelé glacier de Humboldt, s'étend au nord de la baie de Baffin, du 79° au 80° degré de latitude septentrionale, sur une longueur de 111 kilomètres. En Suisse, l'épaisseur ordinaire des glaciers est de 10 à 25 mètres dans la partie inférieure de leur cours, où la fusion a toujours le plus d'activité; elle atteint 40 à 60 mètres vers

leur milieu, et dépasse quelquefois 100 mètres dans la région des névés et des glaces bulleuses.

**Structure d'un glacier.** — Il est peu de spectacle aussi saisissant et aussi grandiose que celui d'un glacier à vol d'oiseau. L'immense fleuve immobile serpente dans le fond de la vallée sauvage où il est profondément encaissé, et reçoit à droite et à gauche ses tributaires. A sa surface, les débris rocheux précipités des pentes dessinent des lignes sombres d'une grande régularité. Les grands blocs à moitié enfouis, les tables élevées sur leur frêle support, les crevasses, les puits, les ruisseaux, attirent et captivent tour à tour l'attention. A chaque sinuosité, à chaque rétrécissement, les fentes se multiplient, la surface se soulève, et de véritables vagues se pressent contre les promontoires. Dans les brusques déclivités surgissent des dents, des aiguilles, des arêtes déchirées qui forment un inextricable chaos (fig. 54). Rien de plus inégal et de plus irrégulier que la surface d'un glacier. Néanmoins on peut dire qu'en général cette surface est concave dans la région des névés, à cause du tassement et de l'affaissement de la masse glaciaire encore incohérente, et convexe dans tout le reste du parcours. Elle se soulève, et la convexité augmente à tous les rétrécissements, où l'on aperçoit encore des ondulations transversales, et où se forment les dents et les aiguilles. Dans son intérieur, le glacier présente la même variété. Outre les différentes espèces de glaces dont il a été question, on y remarque une stratification plus ou moins régulière dans les régions supérieures. Des alternances de glaces, de texture et de coloration différentes, y indiquent les principales chutes de neige. Souvent aussi les lits sont accusés par de minces couches de matières terreuses et pulvérulentes éparpillées sur le glacier pendant la belle saison. Mais ces diverses apparences s'effacent peu à peu à mesure que l'on passe de la glace bulleuse à la glace compacte, et celle-ci devient tout à fait homogène vers le front des glaciers de quelque étendue.

— Les détails qui précèdent sont relatifs à la constitution intime, à la vie des glaciers, si j'osais ainsi m'exprimer. Il est temps d'appeler l'attention sur d'autres particularités, qui intéressent surtout le géologue.

**Moraines; roches striées.** — La surface d'un glacier est couverte de fragments rocheux de tout format, de toute dimension, depuis le volume du grain de sable à celui de blocs de plusieurs centaines de mètres cubes. Ces matériaux, arrachés par les infiltrations et les gelées aux pentes qui dominent le glacier, ne sont pas



Fig. 54. — Glacier de l'Arveiron au mauvais pas du Chapeau.

disséminés au hasard. Ils affectent, au contraire, certaines dispositions, constituent des groupements, des accumulations qui ont reçu le nom de *moraines*. Celles-ci n'existent que sur la glace solide et manquent dans la région des neiges et des névés, où les blocs précipités s'engloutissent dans les profondeurs du glacier qui n'offre pas assez de consistance pour les retenir à sa surface. On distingue les moraines superficielles et les moraines profondes, et parmi les premières, les moraines latérales, les moraines médianes et la moraine frontale.

**Moraines latérales ou marginales.** — Les moraines *latérales* ou *marginales* proviennent des éboulements qui arrivent le long du glacier. Ce sont des traînées de blocs et de débris rocheux formant des lignes continues sur les deux bords. A la jonction d'un affluent qui vient déboucher à gauche, par exemple, la moraine latérale droite du glacier tributaire se réunit à la moraine latérale gauche du glacier principal (fig. 55) ; mais, entraînés par la progression de la glace, les matériaux des deux moraines, désormais confondues, s'avancent peu à peu vers le milieu du glacier, où ils dessinent une ligne partout à égale distance des deux bords. Telle est l'origine des moraines *médianes*, dont le nombre est égal à celui des affluents du glacier principal. Continuant d'obéir au mouvement qui les transporte, les matériaux des moraines latérales et des moraines médianes, ainsi que les blocs et les débris enfouis dans la profondeur de la glace, arrivent tôt ou tard et successivement au front du glacier, d'où ils sont précipités pour constituer un barrage transversal appelé moraine *frontale* ou *terminale*. Cette dernière, qui s'étend d'un bord à l'autre de la vallée, en avant du glacier, reçoit à chaque instant de nouveaux blocs, et, par conséquent, s'accroît sans cesse. Elle a quelquefois une hauteur et une épaisseur considérables, et se présente de loin comme un rempart élevé qui intercepte la vallée. Si le glacier progresse, il pousse devant lui sa moraine frontale ; s'il recule, celle-ci ne peut le suivre dans son retrait, et demeure à une certaine distance, en avant, comme un index gigantesque au moyen duquel on peut mesurer la limite extrême de la dilatation du glacier.

Les moraines qui viennent d'être décrites sont appelées *superficielles*, car elles n'existent qu'à la surface et à l'extérieur du glacier. La moraine *profonde* est formée de tous les matériaux qui se trouvent sous le glacier et sur ses côtés entre la glace et le sol. On distingue du premier coup d'œil les blocs et les cailloux qui appar-

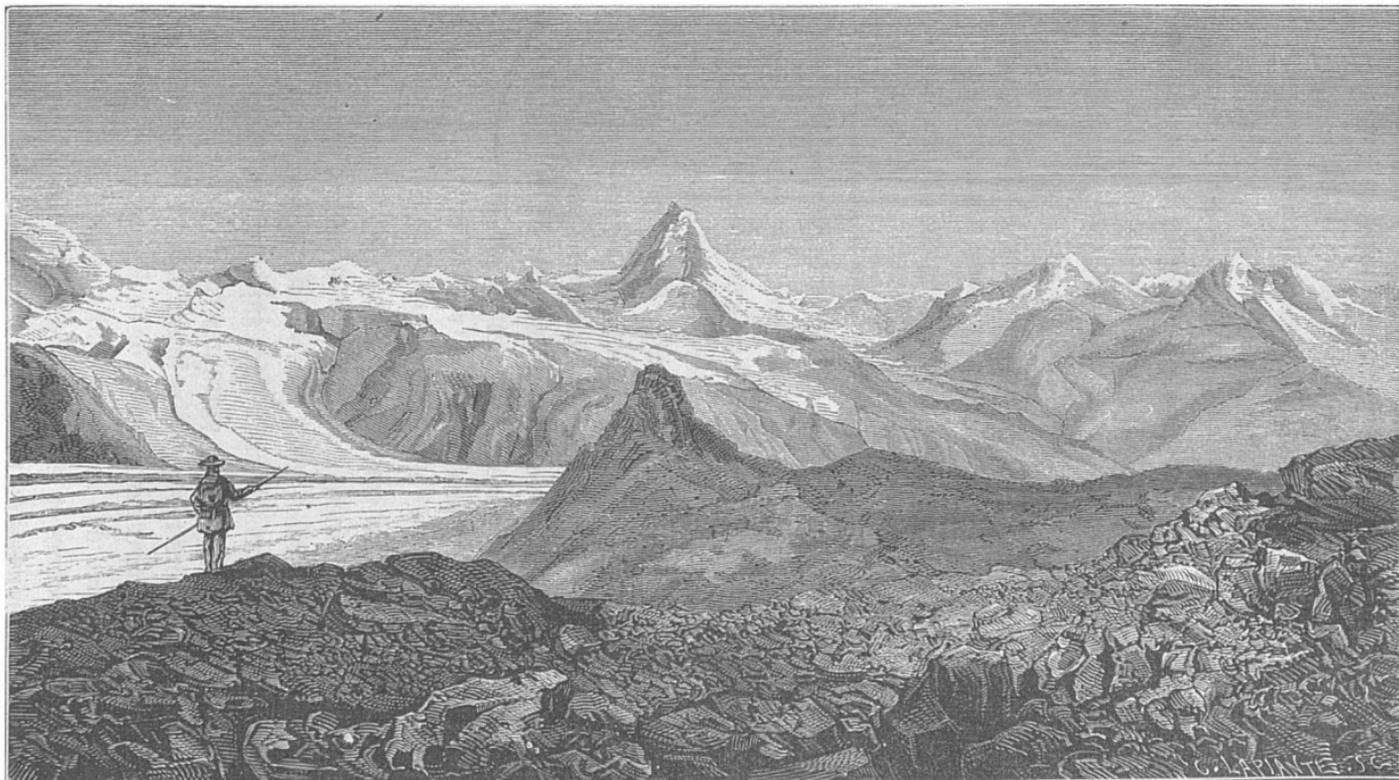


Fig. 55. — Moraines et affluents du glacier du mont Cervin.<sup>2</sup>

tiement aux moraines superficielles de ceux qui proviennent de la moraine profonde. Les premiers, en effet, ne sont jamais usés ni rayés, et conservent tous leurs angles vifs, à moins que la désagrégation naturelle de la roche ne les ait émoussés, ce qui n'arrive que dans des cas assez rares. Au contraire, les matériaux des moraines profondes, surchargés d'un poids énorme, éprouvent contre les surfaces rocheuses encaissantes des frottements énergiques qui les couvrent de stries, en émoussent les aspérités, les usent, les atténuent, au point de convertir les moins résistants en sables et en boues qui rendent trouble et laiteuse l'eau des torrents. D'un autre côté, ces cailloux, solidement enchâssés dans la glace, et entraînés par son mouvement, agissent contre les roches en contact comme le feraient autant de burins, usent et polissent les surfaces, et les couvrent de stries et de camelures, toutes dirigées dans le sens de la progression.

**Traces laissées par les glaciers; roches moutonnées; blocs erratiques.** — Si, maintenant, nous imaginons par la pensée qu'un glacier vienne à disparaître en se fondant peu à peu, nous saurons retrouver, à la place qu'il occupait, d'irrécusables témoins de son ancienne existence. Un rempart transversal de blocs anguleux de tout format en fera reconnaître la moraine frontale. Deux lignes de blocs également anguleux, qui dessinent une pente assez uniforme le long des flancs de la vallée, indiquent le niveau des moraines latérales. Le lit du glacier demeurera couvert de débris anguleux provenant des moraines superficielles et de cailloux usés et rayés provenant de la moraine profonde; les roches qui le constituent seront elles-mêmes polies, striées, arrondies et *moutonnées*, pour me servir de l'expression consacrée. Quelquefois tous ces indices n'existent pas simultanément : les moraines latérales, abandonnées sur des pentes trop rapides, n'ont pu s'y maintenir partout; la moraine frontale et les débris des moraines superficielles et de la moraine profonde ont été souvent entraînés par d'énergiques actions torrentielles; mais alors restent le poli glaciaire et les stries, ou si ces dernières ont disparu par les effets de la désagrégation, la forme arrondie et moutonnée des roches. J'ajouterai qu'il est impossible de confondre les rochers et les cailloux usés par les glaciers avec ceux qui ont été émoussés ou roulés par les torrents; car les formes ne sont pas les mêmes, et les cailloux roulés ne présentent jamais de stries. On appelle *débris erratiques* les blocs et les matériaux transportés et disséminés par les glaciers, et, sous le nom de *terrain*

*erratique*, on désigne l'ensemble des vestiges laissés par les glaciers à l'époque de leur plus grande extension.

**Ancienne extension des glaciers.** — De nos jours les glaciers ne sont connus qu'au voisinage des pôles et dans les hautes montagnes ; car il faut que leur cirque d'alimentation se trouve dans la région des neiges éternelles, et, d'un autre côté, leur front s'arrête à des niveaux où la température moyenne de l'année ne dépasse pas de beaucoup celle de la glace fondante. Mais il y eut une époque géologique assez rapprochée de nous où les glaciers avaient pris une extension énorme. Non-seulement ils recouvraient le nord des continents et envahissaient les plaines dans des contrées où ils n'existent plus depuis longtemps, mais ils occupaient encore la plupart des montagnes de l'Europe centrale. Les glaciers des Alpes ne s'arrêtaient, au midi, que dans la vallée du Pô, dépassant les emplacements du lac Majeur, du lac de Côme et du lac de Garde. Au nord, ils recouvraient presque toute la Suisse et venaient buter à droite contre l'alpe de Wurtemberg, et à gauche contre le Jura. Le plus considérable de tous, le glacier du Rhône, emplissait le Valais, comblait le lac de Genève, et s'étendait des environs de Lyon à Olten, dans le canton de Soleure. Il déposait les blocs alpins de ses moraines jusqu'à une altitude de 1000 mètres, environ, sur les flancs du Colombier et du Chasseron, les disséminait dans les vals intérieurs du Jura, et les étendait au pied de la chaîne jusqu'au delà de Soleure. Ces blocs, appelés *erratiques*, ont quelquefois des dimensions énormes, témoin la Pierre à Bot, de Neuchâtel. Dans le Valais, le bloc monstre de Charpentier mesure 17 mètres de longueur sur 16 de largeur et 20 de hauteur, ce qui représente une masse de 5522 mètres cubes. D'ailleurs tout était prodigieux à cette époque. Tandis que l'épaisseur des glaciers actuels des Alpes ne dépasse guère 50 à 60 mètres, en moyenne, le gigantesque glacier du Rhône s'élevait à plus de 600 mètres au-dessus de la plaine suisse.

**Anciens glaciers des Vosges, du Jura et des Pyrénées.** — Les Vosges et le Jura avaient aussi leurs glaciers particuliers, et les Pyrénées se trouvaient largement envahies. C'est peut-être dans cette dernière chaîne qu'ils ont laissé les traces les plus manifestes. Ainsi, toutes les vallées qui débouchent dans celle de la Pique, aux environs de Bagnères de Luchon, sont remplies d'anciennes moraines, de débris et de roches moutonnées. Les schistes du port de Vénasque sont fréquemment striés. La sauvage et profonde valléc

qui sépare le massif de la Maladetta de l'arête centrale de la chaîne, est bordée, à une grande hauteur, de moraines latérales fort étendues. Dans le val d'Oo, on rencontre à chaque pas des stries glaciaires, notamment sur les schistes que côtoie le sentier entre le village d'Oo et les Granges d'Astau. Plus haut, un peu au-dessous du lac du Portillon, on remarque, à une altitude de 2200 mètres, environ, de vastes affleurements granitiques usés, arrondis et moutonnés, mais non rayés, la désagrégation ayant effacé les stries. La parfaite conservation, je dirai même la fraîcheur de toutes ces traces, pourrait faire supposer que les glaciers ont disparu d'hier. Plus haut encore, mais toujours en deçà des neiges éternelles, le fond de certaines dépressions étroites est rempli de petits blocs granitiques juxtaposés, de grandeur à peu près semblable, comprimés et nivelés au point de ressembler, à s'y méprendre, aux chemins pavés par les Romains. Ces *chaussées* ou *voies glaciaires*, car on pourrait leur donner ce nom, ont été aussi observées par M. Lézat sur le revers méridional de la Maladetta. Je m'arrête avec quelque complaisance sur ces détails, parce que l'extension des glaciers pyrénéens a été niée par certains géologues, et ensuite parce que je n'ai jamais vu, même dans les Alpes, les anciennes actions glaciaires plus nettement représentées.

**Anciens glaciers du Plateau central de la France.** — Longtemps on a pensé que les montagnes du centre de la France étaient demeurées en dehors du phénomène, dont on ne trouve pas de traces manifestes dans les massifs du Mézenc, du Cantal et des monts Dore. On expliquait cette anomalie par la nature même des roches volcaniques de ces massifs, qui se désagrègent aisément et ne gardent aucune empreinte. Il serait, en effet, difficile à comprendre que des montagnes plus élevées que les Vosges et la forêt Noire, et qui conservent au moins aussi longtemps leurs neiges d'hiver, malgré leur latitude plus méridionale, eussent été exceptées. Une heureuse et récente découverte de M. Martins les fait rentrer dans la loi commune. Ce n'est pas dans les massifs volcaniques, mais bien dans les massifs granitiques qu'ont été dirigées ses recherches. Il a signalé, en 1868, un glacier de second ordre, avec ses moraines latérales, sa moraine frontale et quelques roches moutonnées, mais non striées, dans le haut de la vallée de Palhères, qui fait partie du massif granitique de la Lozère.

**Anciens glaciers en général.** — D'ailleurs les anciens glaciers ne sont pas connus seulement en Europe; ils ont laissé des vestiges

dans tout le nord des continents et dans les montagnes les plus élevées des deux hémisphères : partout des roches striées et moutonnées, des moraines, des blocs erratiques, sont des témoins irrécusables de leur présence. La cause de cette immense invasion est donc générale et s'est étendue à toute la terre. Dans la suite de cet ouvrage, je montrerai que l'époque de l'extension des glaciers correspond à celle du creusement des vallées d'érosion, et que ces deux ordres de phénomènes sont la conséquence de pluies et de neiges d'une abondance désormais sans exemple.

**Glaciers des vallées et glaciers des pentes.** — Tout ce qui précède a rapport aux *glaciers des vallées*. Ils diffèrent surtout des *glaciers des pentes*, par leur forme, leurs sinuosités, leur encaissement dans une véritable vallée, où ils s'allongent à la manière d'un fleuve, leurs affluents, et la netteté des caractères de leurs moraines, qui se distinguent facilement les unes des autres. Les glaciers des pentes, dont le versant nord de la Maladetta offre un magnifique exemple, sont toujours plus rares dans les montagnes que les glaciers des vallées ; mais, en compensation, ils existent presque seuls dans les régions polaires, où ils trouvent une assiette qu'offrent rarement les montagnes, savoir de vastes surfaces planes et inclinées. Leur origine est d'ailleurs celle des autres glaciers ; ils présentent la même structure, les mêmes variétés de glace, les mêmes accidents. Comme leur développement n'est gêné dans aucun sens, on comprend qu'ils ne reçoivent point d'affluents, ou, si l'on veut, qu'ils se fondent complètement avec leurs affluents. Ils s'étendent donc à leur aise dans toutes les directions, et prennent une forme arrondie, souvent plus large que longue. Les moraines ont peu d'importance, le glacier n'étant dominé que par l'arête au bas de laquelle il se forme, et ne recevant ainsi que peu de débris. Elles bordent le glacier d'une ceinture continue, où il est impossible de distinguer la part qui revient à la moraine frontale et celle qu'on doit attribuer aux moraines latérales. Il n'y a donc le plus souvent qu'une vaste moraine frontale semi-circulaire.

**Glaciers polaires.** — La plupart des caractères des glaciers des pentes se retrouvent dans les *glaciers polaires*. Ceux-ci s'en distinguent cependant par leurs dimensions infiniment plus considérables, leur étendue n'ayant souvent d'autres limites que celles des terres qu'ils recouvrent, et leur épaisseur dépassant quelquefois 300 ou 400 mètres, par exemple dans la Terre-Adélie. Ils diffèrent

encore des glaciers des montagnes par certaines particularités qui doivent être signalées.

Leur constitution intime n'est plus la même. Sur les limites méridionales des glaciers polaires, où la fusion de l'été peut s'exercer comme dans les montagnes, il sont composés de neige, de névé, de glace bulleuse et de glace compacte. Mais au fur et à mesure qu'on se rapproche des pôles, et que la chaleur des étés diminue, la glace est peu à peu remplacée par le névé, et celui-ci par la neige, qui règne seule aux latitudes extrêmes. La glace, quand elle existe, n'occupe que les bords inférieurs du glacier ; d'où résulte une réduction des moraines encore plus grande que dans les glaciers des pentes. Il n'y a jamais de moraines médianes, non plus que des moraines profondes, le glacier reposant sur un sol gelé avec lequel il fait corps. La progression ne peut s'exercer que près de la surface, et par le glissement des couches supérieures sur les couches profondes : il n'y a donc ni stries, ni polissage de roches, ni galets rayés, ni surfaces moutonnées ; de sorte que les moraines seulement décèleraient l'existence des glaciers polaires, s'ils venaient à disparaître. Les crevasses sont peu nombreuses ; les cavernes manquent ; la circulation des eaux demeure tout à fait superficielle, la masse du glacier restant éternellement congelée dans la plus grande partie de son épaisseur. La plupart des glaciers polaires aboutissent à la mer, qui en arrête le développement. Au fur et à mesure qu'ils envahissent le domaine des eaux, leurs fronts, ne reposant plus sur un appui solide, se brisent et se démolissent avec un bruit formidable. De cette manière, ils présentent constamment des abrupts verticaux ou surplombants appelés *banquises*, dont la hauteur varie de 30 à 120 mètres et davantage. Entraînés au loin par les vents et les courants, les débris des banquises ne sont autre chose que les *montagnes de glaces*, si redoutées des navigateurs.

**GLACES POLAIRES.** — Elles se forment dans les mers par l'agglomération et la soudure, sous l'influence du froid, des petites aiguilles de glace qui apparaissent à la surface des eaux, dont elles calment la houle, dit-on, comme le ferait une couche d'huile. Ces cristaux se réunissent en morceaux de pareil format, appelés *pavés*, lesquels se soudent entre eux pour constituer des glaçons plus volumineux, qui finissent par recouvrir la mer d'une couche solide. Une fois constituée, la couche de glace augmente en épaisseur de haut en bas par les progrès de la congélation, de bas en haut par les chutes

de neige. Celle-ci se transforme d'abord en névé, soit à la suite de fusions et de congélations successives, soit par la compression, soit enfin par l'infiltration, de bas en haut, de l'eau de la mer, qui s'introduit par les fentes et les ruptures accidentelles de la glace sous-jacente. De là, une stratification plus ou moins grossière, qui permet de distinguer quelquefois les couches et les alternances de la glace, de la neige et du névé. Telle est l'origine des *champs de glace* qui envahissent toutes les mers polaires dans la saison rigoureuse.

Leur épaisseur augmente avec l'intensité du froid, sans devenir jamais illimitée, parce que la glace conduit mal la chaleur, et que les chutes de neiges cessent presque absolument quand le thermomètre descend au-dessous de  $-20^{\circ}$ . On a pu constater que, par un froid de  $-47^{\circ}$ , la glace n'avait que  $3^{\text{m}},40$  d'épaisseur. Ce chiffre ne représente cependant pas un maximum. C'est plutôt la durée que l'intensité du froid qui épaisit les champs de glace, et souvent les neiges contribuent à ce résultat plus encore que la gelée. La plus grande épaisseur que l'on ait mesurée, en deçà du  $75^{\circ}$  degré de latitude septentrionale, ne dépasse pas 5 mètres. Dans ces parages, la température moyenne est à peu près de  $-18^{\circ}$ , et le maximum du froid peut atteindre  $-47^{\circ}$  au-dessous de zéro.

L'étendue des champs de glace augmente par le froid, et diminue par le dégel et l'agitation de la mer, qui les démolit peu à peu et les transforme en glaces flottantes. Dans l'océan Arctique, les plus vastes ont 400 et même 500 kilomètres dans toutes les directions. Plus étendues et plus épaisses, les glaces du pôle antarctique opposent une barrière infranchissable aux tentatives des explorateurs ; tandis que celles du pôle arctique, souvent rompues ou séparées par des espaces libres et des passages navigables, seront peut-être franchies quelque jour. Il est permis d'espérer qu'on parviendra jusqu'au pôle nord, où, selon toute vraisemblance, la mer reste libre une partie de l'année. Dans l'hémisphère septentrional, les champs de glace ne commencent guère qu'à partir du  $78^{\circ}$  degré de latitude, et dans l'hémisphère opposé, ils s'avancent de 10 à 12 degrés de plus vers l'équateur.

**GLACES FLOTTANTES.** — Elles ont deux origines, et proviennent de la rupture des banquises des glaciers ou du morcellement des champs de glace. Dans le premier cas, elles constituent les *montagnes de glace* ; dans le second, les *îles de glace*. Une fois libres, les unes et les autres obéissent aux vents et aux courants, qui les diri-

gent, en général, du côté de l'équateur. Elles se brisent, s'éparpillent et se fondent peu à peu dans leur trajet. Leurs principaux courants sont : dans l'hémisphère nord, celui qui arrive de la mer de Baffin et qui charrie les glaces polaires jusque dans les parages de Terre-Neuve ; dans l'hémisphère sud, celui qui amène directement ces glaces dans les mers du cap de Bonne-Espérance. Le 40° degré de latitude nord et le 36° de latitude sud sont les limites que ne franchissent jamais les glaces flottantes, et qu'elles n'atteignent qu'exceptionnellement.

Les montagnes de glace acquièrent parfois des dimensions extraordinaires. On en a mesuré qui s'élevaient de 40 à 50 mètres au-dessus du niveau des eaux ; ce qui donnerait, pour la partie submergée, une épaisseur de 280 à 300 mètres (fig. 56). Elles fondent et se démolissent par leur base ; aussi affectent-elles souvent la forme de champignons supportés par des pédicules graduellement amincis. Incessamment battus par le flot et rongés par le dégel, ces pédicules finissent par se rompre ; alors la partie aérienne de la montagne s'écroule avec un grand fracas. Souvent aussi la fusion de la partie immergée détermine des déplacements dans le centre de gravité de la masse, qui bascule et chavire en soulevant des vagues énormes. Les traces de ces déplacements sont parfois marquées par des plans de stratification discordants, ou, en d'autres termes, dirigés en sens divers ; ce qui prouve que des neiges se sont ajoutées à la montagne flottante après un ou plusieurs chavirements de celle-ci. Quant aux îles de glace, on en a vu qui dépassaient 150 et même 200 mètres carrés.

**ACTION GÉNÉRALE DE L'EAU SOLIDE.** — Toujours peu importante, cette action laisse pourtant des traces plus marquées et plus durables que celles des phénomènes atmosphériques. On comprend que les débris précipités par les avalanches, les stries glaciaires, le polissage des roches, l'élévation des moraines, la dissémination des blocs erratiques et l'accumulation, dans certains parages, des boues et des fragments rocheux transportés par les glaces flottantes, ne peuvent altérer que d'une manière infiniment petite le modelé actuel des terres fermes. Cependant, à l'époque de la grande extension des glaciers, des collines assez élevées ont été formées dans le pourtour des grandes montagnes par l'entassement des débris glaciaires, et, dans le nord des deux continents, certaines régions sont restées largement parsemées de blocs erratiques, qui constituent même des accumulations assez importantes dans les provinces russes de

la Baltique et ailleurs. Mais, à un autre point de vue, les moindres vestiges glaciaires ont un très-grand intérêt, car ce sont eux surtout qui ont permis de reconstituer une des périodes les plus curieuses de l'histoire de la terre.

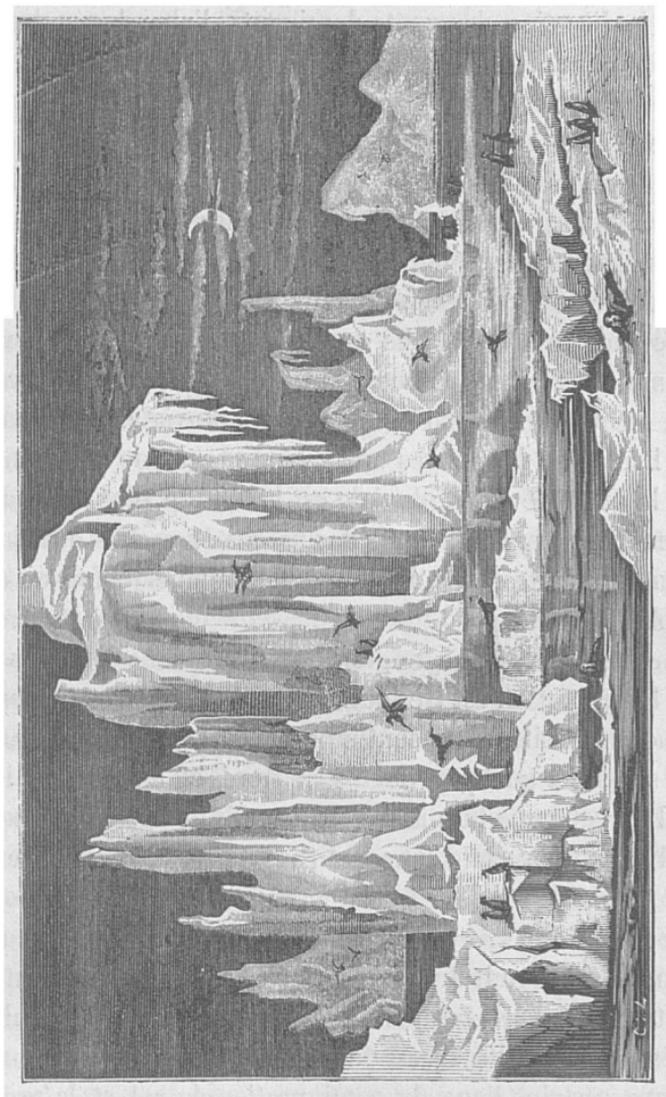


Fig. 56. — Montagnes de glace.

## § 2. — EAU LIQUIDE.

Nous étudierons l'action de l'eau liquide sous les titres suivants :  
 1° pluie, 2° eaux souterraines, 3° eaux courantes, 4° eaux lacustres,  
 5° eaux marines.

**PLUIE.** — On sait que la pluie est formée par la condensation de

la vapeur d'eau atmosphérique, qui passe à l'état liquide, et se résout en gouttelettes, dès que le point de saturation de l'air est atteint. Très-variable suivant une foule de circonstances, au nombre desquelles figure en première ligne la température de l'air, puis la topographie, la situation maritime ou continentale des lieux considérés et la direction des vents dominants, l'abondance des pluies augmente, absolument parlant, en sens inverse de la latitude et de l'altitude. Cela ne veut pas dire, cependant, que la quantité d'eau qui tombe des nuages soit proportionnelle à celle de la pluie. Dans les régions polaires, en effet, et dans les hautes montagnes, la neige remplace la pluie, et sa fusion peut donner souvent une couche d'eau plus épaisse que celle qui arrive sur le sol à l'état liquide, dans des contrées plus basses ou plus méridionales. Ainsi, M. Martins a reconnu qu'il est tombé au Grimsel, du mois de novembre 1845 au mois d'avril 1846, une couche de neige de 16 mètres d'épaisseur, ce qui correspond à 1<sup>m</sup>,50 d'eau pluviale. Dans certaines contrées boréales, les neiges ont presque la même abondance. En général, la quantité d'eau pluviale est beaucoup plus considérable dans les montagnes, au-dessous des neiges éternelles, que dans les plaines environnantes, et la différence s'élève quelquefois au double et au triple.

**Régime des pluies sur le globe.** — C'est dans les pays tropicaux, où l'évaporation est très-active, que les pluies acquièrent leur plus grande intensité. Elles sont à peu près quotidiennes dans une zone qui s'étend à quelques degrés au nord et au sud de l'équateur, et il y règne une humidité extrême. Uniformément répandues sur le sol dans toute cette zone, les eaux pluviales formeraient une couche de 4 à 5 mètres de hauteur, et quelquefois davantage. Les averses y sont subites et torrentielles. A Cayenne, Roussin a constaté, dans la seule nuit du 14 au 15 février 1820, une hauteur de pluie de 0<sup>m</sup>,280, ce qui fait juste la moitié de celle qui tombe annuellement à Paris. Du 1<sup>er</sup> au 24 février, il en mesura plus d'un mètre. Dans certains lieux, la configuration du sol et la prédominance des vents de mer provoquent des averses tout à fait extraordinaires. A Gènes, où la hauteur annuelle de l'eau pluviale est de 1<sup>m</sup>,345, les annales météorologiques ont enregistré une chute de 0<sup>m</sup>,247, en moins de dix heures, le 25 août 1842, et la chute encore plus remarquable du 25 octobre 1822, dans laquelle la quantité d'eau pluviale s'éleva à 0<sup>m</sup>,820, d'après M. Boccardo. Le vent du sud-est déverse sur les pentes méridionales des Cévennes des pluies

d'une telle abondance qu'on connaît des vallons où la hauteur annuelle dépasse 2 mètres. Entre les tropiques, la mousson du sud-ouest inonde la chaîne des Ghattes de véritables déluges; et, s'il faut en croire les relations, la vallée de Kérapondji, située sur le versant indien de l'Himalaya, reçoit jusqu'à 17 mètres de pluie, année moyenne. En admettant, comme il est infiniment probable, qu'il y ait une exagération considérable dans ce dernier chiffre, il n'est pas moins certain que cette contrée reçoit une quantité d'eau pluviale extraordinaire et exceptionnelle. En revanche, on connaît des parties du globe où il ne pleut jamais. Tel est le littoral du Grand Océan à l'ouest des Cordillères, du 6° au 30° degré de latitude sud; tels sont les déserts du Sahara et du centre de l'Asie, formant une immense contrée, presque d'un seul tenant, de 15 à 20 degrés de largeur nord-sud, et de 120 degrés de longueur est-ouest. Sur certaines parties des côtes orientales du Brésil et dans les déserts du Mexique, les pluies sont aussi, pour ainsi dire, inconnues.

**Fréquence et abondance des pluies.** — Si les contrées maritimes et celles où dominent les vents du large ont un hiver plus humide que l'intérieur des continents, et si, en général, le ciel y est nébuleux et la pluie très-fréquente, c'est une erreur de croire qu'elle y soit plus abondante. Dans l'ouest de l'Europe, et surtout en Bretagne et dans les îles Britanniques, rien de plus ordinaire que les pluies et les grains, mais souvent la terre en est à peine mouillée. Il tombe plus d'eau dans les vallées des Alpes et du Jura, en quelques heures, qu'à Paris ou à Londres en plusieurs mois; et les localités où la hauteur moyenne annuelle dépasse 0<sup>m</sup>,700, comme, par exemple, Nantes, Manchester et le Westmoreland, sont tout à fait exceptionnelles dans l'ouest de l'Europe. Un hiver humide et pluvieux peut donc indiquer souvent la fréquence, et non l'intensité des pluies. Très-variable en raison des circonstances locales, le nombre annuel des jours de pluie diminue dans la zone tempérée de l'ancien continent à mesure qu'on s'avance vers l'est, abstraction faite d'ailleurs des contrées montagneuses. Il est à peu près de 152 dans l'ouest et de 117 dans le centre de la France; il descend à 141 dans l'Allemagne centrale, et n'est plus que de 90 à Casan, et de 60 dans la Sibérie. Le tableau ci-dessous vient à l'appui de tout ce qui précède, en ce qui concerne la quantité d'eau pluviale. Je dois faire remarquer cependant que tous les chiffres ne sont peut-être pas comparables, les observations ayant été faites dans des conditions

très-variables, suivant les procédés particuliers des observateurs; ils représentent plutôt de minima que des maxima.

	m.		m.
Breslau. . . . .	0,353	Nantes. . . . .	1,303
Orenbourg. . . . .	0,432	Gènes. . . . .	1,345
Saint-Pétersbourg. . . . .	0,440	Saint-Cergue (Vaud). . . . .	1,560
Londres. . . . .	0,489	Vallerange (Céven-	
Marseille. . . . .	0,512	nes), environ. . . . .	2,06
Berlin. . . . .	0,522	Bengale, — . . . . .	3
Paris. . . . .	0,538	Antilles. — . . . . .	3 — 4
Toulouse. . . . .	0,626	Saint-Benoît (île Bour-	
Édimbourg. . . . .	0,632	bon), environ. . . . .	4 — 5
Lisbonne. . . . .	0,683	Himalaya (versant in-	
Dublin. . . . .	0,740	dien), environ. . . . .	5 — 6
Genève. . . . .	0,821	Continents, en général,	
Manchester. . . . .	0,902	d'après Cor-	
Besançon. . . . .	1,163	dier . . . . .	1

**Répartition des pluies suivant les saisons.** — Rien de plus variable, également, que la répartition des pluies suivant les saisons. Dans la zone torride, où elles sont périodiques, l'année se divise en deux saisons, une sèche et une pluvieuse, et celle-ci arrive quand le soleil est vertical, c'est-à-dire en été. Dans le voisinage de l'équateur, la saison pluvieuse s'étend à presque toute l'année. En dehors des tropiques, les pluies tombent de préférence à certaines époques. Ainsi les *pluies d'hiver* règnent dans le sud et dans l'est de la Méditerranée, à l'est de la Caspienne, au Kamtchatca, aux États-Unis et à l'ouest de la Patagonie; les *pluies de printemps*, dans le bassin de la Garonne et dans le nord-ouest de la Méditerranée; les *pluies d'été*, dans le Plateau central de la France, le nord de l'Allemagne, le centre de la Russie, le midi de la Sibérie et le long des côtes orientales des États-Unis et de la Patagonie; les *pluies d'automne*, sur tout le littoral occidental de l'Europe, du Portugal à la Norvège, dans le midi de la Russie et dans la ci-devant Amérique russe; les *pluies d'automne et d'hiver*, au cap de Bonne-Espérance et dans toute l'Australie.

**Abondance des pluies dans le passé et dans l'avenir.** — Absolument constante à l'époque actuelle, la quantité d'eau pluviale qui tombe sur le globe ne peut varier que si les conditions climatiques de la planète viennent à changer. Les déboisements, l'extension des cultures, le dessèchement des marais ont plutôt pour résultat de modifier le régime des pluies que d'en diminuer l'abon-

dance ; et si les averses sont plus rares dans les pays découverts, elles y répandent des masses d'eau plus considérables. Sans doute, les pluies étaient plus intenses et plus fréquentes dans les temps reculés où la terre jouissait d'un climat tropical ; sans doute aussi elles diminueront insensiblement d'abondance à mesure que le globe se refroidira. Mais ces questions ont été déjà examinées à l'occasion de la vapeur d'eau atmosphérique.

**Composition de l'eau de pluie.** — Moins chargée de sels que les eaux courantes, et se rapprochant de l'eau distillée par ses propriétés chimiques, la pluie renferme cependant toutes les poussières en suspension dans l'air. Elle tient également en dissolution les gaz de l'atmosphère, savoir : l'oxygène à tous ses états, l'azote et l'acide carbonique. Pendant les orages, elle se charge quelquefois d'une proportion fort minime d'azotate d'ammoniaque ; enfin, au milieu des mers et pendant les bourrasques et les coups de vents, elle peut retenir du sel marin projeté par l'écume des vagues.

**L'eau pluviale à la surface du sol.** — Une fois sur le sol, l'eau pluviale y circule sous la forme de nappes et de filets, qui se réunissent de proche en proche et finissent par aboutir aux rivières. Cependant une grande partie est absorbée par la végétation, une autre est évaporée dans l'atmosphère, une autre s'infiltré dans la terre pour alimenter les sources. Cordier estimait que les deux tiers des eaux pluviales sont enlevés aux rivières par ces diverses causes, et que les sources n'en reçoivent que le trentième.

**Actions des eaux pluviales.** — Il nous reste à passer en revue les actions les plus importantes produites par les eaux pluviales. Ce sont surtout des dissolutions, des corrosions, des dégradations et des atterrissements ou alluvions.

1<sup>o</sup> *Dissolutions.* — La pluie se charge de toutes les matières solubles qu'elle rencontre dans l'air ou à la surface du sol, et qui sont principalement les azotates de potasse, de soude, de chaux et d'ammoniaque ; les sulfates de soude, de chaux, de magnésie et de fer ; les carbonates de potasse, de soude et d'ammoniaque ; le chlorure de sodium et le chlorhydrate d'ammoniaque. Le tout est entraîné par les courants superficiels. Ces diverses substances se mêlent aux ruisseaux ou pénètrent dans les sources, d'où peuvent résulter diverses combinaisons, divers précipités. Mais ces actions n'ont qu'une bien faible importance ; et ce n'est que dans des cas tout à fait exceptionnels, que la pluie rencontre des substances solubles en quantité suffisante pour qu'elle puisse en retenir des traces appréciables. A Car-

done, en Catalogne, où la moyenne annuelle des eaux pluviales s'élève au moins à 0<sup>m</sup>,80, il existe une véritable colline de sel gemme, exposée, sans aucun abri, à toutes les intempéries. Cependant le ruisseau qui en découle après les averses est à peine salé; les formes de la montagne ne s'altèrent point, et, suivant Cordier, elle perd au plus une couche de 1<sup>m</sup>,50 dans un siècle; de sorte qu'il s'écoulerait 30 000 ans avant qu'elle fût diminuée de 100 mètres.

2° *Corrosions*. — C'est la conséquence des dissolutions. On les observe seulement dans les roches solubles : sels gemmes, gypses et calcaires. Ce qui a été dit à cet égard dans le paragraphe consacré aux phénomènes atmosphériques me dispense d'entrer ici dans de plus grands détails.

3° *Dégradations*. — Même observation. Les effets de l'atmosphère et ceux des eaux pluviales se combinent tellement dans la plupart des actions de ce genre, qu'il est impossible de distinguer les uns des autres. C'est donc encore au chapitre consacré aux phénomènes atmosphériques que je renverrai le lecteur. En ce qui concerne particulièrement les pluies, je dois ajouter que, sur des surfaces horizontales ou peu inclinées, les nappes d'eau enlèvent à peine la terre végétale, mais y creusent des ravines absolument comparables en petit aux vallées d'érosion. La pluie n'exerce aucune action sur le sol boisé ou gazonné, même en pente; mais les averses extraordinaires, si fréquentes dans les pays de montagnes, amènent peu à peu la dégradation des pentes nues, entraînent la terre végétale et laissent le roc à découvert. C'est ainsi que, dans les Alpes françaises, d'immenses surfaces ont été enlevées à l'agriculture ou à la production forestière, sans qu'il soit permis d'espérer qu'on arrive jamais, dans l'avenir, à réparer complètement le mal causé par l'imprévoyance actuelle.

4° *Atterrissements*. — Je me borne à mentionner, sous ce titre, les accumulations de sables ou de vases entraînées dans les lieux bas par les averses et les pluies d'orage, leur origine et leur disposition étant en tout point identiques avec celles des alluvions fluviales, dont nous nous occuperons ci-après.

**EAUX SOUTERRAINES ET SOURCES.** — Une partie de l'eau liquide qui pénètre dans le sol circule dans les couches superficielles seulement, d'où elle ressort le plus souvent pour former les *sources* qui alimentent les cours d'eau; une autre s'infiltré dans les profondeurs de l'écorce solide, s'y échauffe et finit par être rejetée au dehors à l'état de vapeur par les geysers et les éruptions volca-

niques, ou à l'état liquide par les sources thermales. Il y a donc une *circulation superficielle* et une *circulation profonde* des eaux souterraines. Nous ne nous occuperons ici que des eaux superficielles, la circulation profonde se rattachant aux phénomènes volcaniques.

**Leur origine.** — Les eaux qui alimentent la circulation souterraine superficielle proviennent surtout de la pluie, de la neige, de la rosée et quelquefois aussi, assure-t-on, des brumes et des nuages. On cite, en effet, des montagnes, et même des dunes sablonneuses sur lesquelles il ne pleut que rarement, mais dont les sommets, fréquemment environnés de brouillards, soutirent la vapeur d'eau, qui se résout en sources abondantes. Les eaux souterraines profondes sont plutôt fournies par les mers, les lacs et les rivières.

**Action du sol.** — Les eaux pénètrent et circulent dans le sol de diverses manières, suivant l'état d'agrégation et la perméabilité des roches sous-jacentes. A cet égard, ces dernières forment trois catégories distinctes :

1° *Roches imperméables* (argiles et marnes). — Les eaux ne peuvent que s'étendre, à leur surface, en nappes et en filets qui y creusent des ravines très-nombreuses et très-rapprochées, et y entretiennent des mares stagnantes. Il n'y a donc pas de pénétration. Pendant la pluie, le sol superficiel se détrempe et se transforme en vase ; pendant la sécheresse, il se durcit, se fendille et s'écaille.

2° *Roches perméables en petit* (sables, grès, schistes, roches ignées et roches éruptives en général). — Remplies de pores ou de fissures nombreuses mais peu profondes, ces roches s'imbibent facilement, mais ne se laissent pénétrer que dans leurs parties superficielles, la circulation intérieure étant bientôt arrêtée par l'état compacte du sous-sol. Les eaux souterraines se tiennent donc à une faible profondeur ; et dès qu'elles rencontrent la roche non désagrégée, où elles ne peuvent s'introduire (il n'est pas question ici de l'imbibition ni de la porosité), elle glissent à sa surface, et s'écoulent en suivant les déclivités, pour ressortir, au pied ou sur le flanc des pentes et des vallées, en sources nombreuses, mais, en général, peu abondantes. Les eaux de ces sources, qui tarissent facilement, s'écoulent en innombrables filets, qui se réunissent peu à peu en un ruisseau dont le débit varie suivant les saisons. Il en résulte que le sol superficiel est frais, humide, profond, bien arrosé, mais souvent marécageux. Les montagnes des Vosges, de la forêt Noire, de la Bretagne, la Vendée, le Plateau central de la France, et en général toutes les

contrées granitiques ou formées de roches anciennes appartiennent à cette catégorie de sols.

3° *Roches perméables en grand* (calcaires, surtout jurassiques, puis certaines nappes basaltiques, certaines laves). — Généralement stratifiées en banes, traversées dans toute leur épaisseur par un grand nombre de fentes provenant, soit de retrait, soit de rupture, ces roches sont tout à fait imperméables en petit. Les eaux pluviales glissent à leur surface, s'écoulent dans les fissures, où elles pénètrent jusqu'à la rencontre d'une de ces assises marneuses ou imperméables, si fréquentes dans les sols de cette catégorie. Alors elles s'étendent en nappes ou en ruisseaux souterrains à la surface de cette assise, qu'elles ne peuvent traverser, se réunissent en suivant les pentes, augmentent de volume par le concours de divers affluents, et se transforment en rivières souterraines, qui viennent jaillir dans le fond des vallées, au niveau où affleure la couche imperméable. Il en résulte que le sol superficiel est aride au plus haut degré, et qu'il n'a, pour ainsi dire, aucune profondeur, la roche se montrant partout à nu. A cet égard, le contraste est frappant entre les vallons si frais et si bien arrosés des Vosges et de la Bretagne, et les *causses* désertes et rocailleuses du midi de la France, ou même les plateaux du Jura, sur lesquels on peut voyager pendant bien des heures sans rencontrer une seule fontaine.

Mais si les sources sont rares dans les sols perméables en grand, en revanche elles ont une abondance extraordinaire. Ce ne sont plus de minces filets d'eau, mais bien de véritables rivières, qui s'échappent du fond des vallées. Dans la plupart des cas, en effet, la source n'est que le lieu où un ruisseau, déjà constitué sous terre, apparaît à la lumière. Une foule de cours d'eau du Jura, et même du Poitou, de la Bourgogne et, en général, des contrées calcaires, ont presque autant d'importance à leur source qu'à leur embouchure, et fournissent immédiatement une force motrice considérable. Telles sont, dans le Jura, les rivières du Lizon, de la Loue, du Dessoubre, de la Doue, de la Barbèche : telles sont la source du Sirod (Ain), qui débite 37 mètres cubes d'eau à la minute ; la source du Loiret, qui en débite 33, et la célèbre fontaine de Vaucluse, qui en fournit quelquefois, assure-t-on, jusqu'à 780. Le régime de ces sources est, en général, assez constant, car les ruisseaux souterrains qui les alimentent circulent à une grande profondeur et reçoivent les eaux de vastes surfaces de plateaux. Elles ne tarissent jamais par les sécheresses ; mais les pluies d'orage peuvent les grossir et les faire

déborder, plus rapidement peut-être que les sources des contrées granitiques. Souvent fort grands et fort étendus, leurs canaux souterrains s'élèvent et s'élargissent quelquefois en grottes spacieuses, qui renferment des lacs, dans quelques-uns desquels on a trouvé des animaux particuliers, par exemple, en Carinthie et dans le Kentucky. Les gouffres, les puits, les entonnoirs dont il a déjà été question, communiquent avec les canaux des rivières souterraines et y déversent les ruisseaux superficiels.

**Gisement des sources; leur régime, etc.** — Les sources ne peuvent donc exister que dans les terrains perméables en grand ou en petit; elles manquent dans les terrains imperméables. Elles font habituellement défaut dans les roches très-meubles, telles que sables, cendres et scories volcaniques, où les eaux pluviales imbibent promptement toute la masse, et s'y maintiennent fort longtemps, sans se répandre au dehors, à moins qu'elles n'y tombent avec une abondance exceptionnelle. Dans la région des puy de l'Auvergne, uniquement formés de cendres et de scories, il est impossible de trouver une goutte d'eau en temps ordinaire. En général les sources sont d'autant plus stables, d'autant plus constantes, que leur origine souterraine est plus profonde, leur bassin hydrographique plus étendu. Le couvert des forêts, ou simplement de la végétation herbacée, en favorise le maintien, et en rend le régime plus égal, de même qu'il protège les glaciers naturelles. On voit, à chaque instant, les ruisseaux diminuer d'abondance, et même disparaître à la suite des déboisements, pour se reformer quand le sol est envahi de nouveau par la végétation forestière. Voici un curieux exemple de l'influence des bois sur le régime des eaux. M. Boussingault rapporte que la ville de Nueva-Valencia, bâtie en 1765, à une demi-lieue du lac de Tacarigua, dans le Vénézuëla, s'en trouvait à plus de 5 kilomètres en 1800, à la suite des défrichements; mais les guerres civiles ayant désolé ce pays durant une longue suite d'années, les eaux du lac s'étaient peu à peu rapprochées de la ville, à mesure que la végétation forestière avait remplacé les cultures abandonnées.

Après tout ce qui vient d'être dit, il est presque inutile d'ajouter que l'abondance des sources dépend de l'étendue du bassin d'alimentation, du degré d'imperméabilité de leur lit, du nombre et de la profondeur des fissures ou des couches absorbantes sur lesquelles elles circulent, de l'abondance des eaux pluviales. Les marées exercent quelquefois leur effet sur les sources et les

eaux souterraines des contrées littorales : les puits de Londres et même ceux de Lille se ressentent de cette influence ; seulement, dans cette dernière localité, l'exhaussement de la marée met huit heures à se transmettre. On cite des sources et des puits artésiens dont le niveau s'élève et s'abaisse avec celui des marées.

**Altitude des sources.** — Rien de plus variable que le niveau des sources relativement au relief de la contrée. Dans les sols perméables en petit, on les observe à toutes les hauteurs, sauf les sommets extrêmes ; mais le volume de leurs eaux diminue ordinairement à mesure qu'augmente la hauteur. Dans les sols perméables en grand, les sources ne jaillissent guère qu'au pied des escarpements et dans le fond des vallées, quoiqu'il y ait des exceptions. On connaît même des sources sous-marines. Elles existent en assez grand nombre, assure-t-on, sur le bord de la Méditerranée, depuis Collioure jusqu'à Gênes et la Spezzia, et déversent dans la mer jusqu'à 50 mètres cubes d'eau douce par seconde. De Humboldt en mentionne plusieurs à 10 ou 12 kilomètres au large de l'île de Cuba. On cite le fait, presque aussi surprenant, d'une source alimentée sur le continent, et jaillissant dans l'ilot de Carava, près de la côte de Caramanie.

**Recherche des sources.** — C'est donc une chose assez difficile et assez délicate que la recherche des sources. Elle doit être préparée par une étude minutieuse de la topographie, de la stratigraphie, de la nature des roches et même de la végétation de la contrée. Les gisements argileux et les couches imperméables qui arrêtent les nappes souterraines, sont décelés par une flore de joncs, de laïches et de saules particuliers à ces sortes de terrains. Si le sous-sol est massif et d'origine ignée, c'est dans le creux des vallons et à la rencontre de leurs versants qu'il faut chercher les eaux ; si les roches sont stratifiées et perméables en grand, c'est au niveau des assises marneuses, et au lieu où convergent leurs pentes principales qu'on a le plus de chances de les rencontrer. Mais le géologue doit se borner à indiquer les règles générales ; car il y a à se préoccuper d'une foule d'accidents locaux, tels que rupture, amincissement et même disparition de couches, crevasses dissimulées, etc., qui rendent quelquefois le succès très-problématique. Rien ne peut donc remplacer le coup d'œil et l'habitude du terrain ; cependant le *sourcier* moderne se trouvera bien de laisser au sorcier du moyen âge, dont il descend en droite ligne, sa baguette divinatoire oscillant sous l'influence de la vapeur des eaux cachées, et

d'échanger ses pratiques surannées contre des notions précises de géologie.

**Classification des sources.** — On peut classer les sources de la manière suivante :

1° *Sources permanentes.* — Ce sont les plus communes : elles existent partout, ne tarissent jamais et varient seulement dans leur débit.

2° *Sources temporaires.* — Elles se forment sous l'influence de circonstances particulières, par exemple, à la suite d'orages et de pluies prolongées, et tarissent quand disparaît la cause à laquelle elles doivent leur existence. De ce nombre sont les creux, les puits, les gouffres du Jura, dont j'ai déjà cité des exemples, et la plupart des filets d'eau superficiels des terrains massifs, lesquels se trouvent aussi secs en été qu'ils sont inondés et ruisselants en hiver.

3° *Sources intermittentes.* — Bien distinctes des sources temporaires, elles appartiennent plutôt à la catégorie des sources permanentes, mais elles ne laissent échapper leurs eaux qu'à des intervalles plus ou moins réguliers. A tort ou à raison on en explique le jeu en imaginant une cavité, ou réservoir souterrain, qui se déverse par un canal replié en siphon suivant un plan vertical. Le siphon s'ouvre dans le fond du réservoir ; son canal, d'abord ascendant, s'infléchit ensuite en formant un coude dont la hauteur arrive au niveau où peuvent monter les eaux dans le bassin, puis il s'abaisse jusqu'à l'orifice extérieur de la source. Quand les eaux souterraines atteignent le niveau du coude du siphon, celui-ci se trouve amorcé naturellement, le réservoir s'épuise et la source jaillit. Dès que les eaux ont baissé de manière à laisser à sec l'ouverture intérieure du siphon, l'écoulement s'arrête, et la source tarit pendant le temps nécessaire au remplissage de la cavité. Comme exemple de source intermittente on peut citer la Fontaine-Ronde, près de Pontarlier.

4° *Sources jaillissantes et puits artésiens.* — Ce sont des jets d'eau ascendants, qui s'élèvent au-dessus du sol toutes les fois que la nappe souterraine où ils s'alimentent est située à un niveau supérieur à celui de leur orifice. Si, par une cause ou par une autre, le niveau de cette nappe vient à baisser, le jet ascendant se déprime d'une quantité proportionnelle, et un moment peut arriver où il ne parvienne plus jusqu'au sol. Alors on a un *puits intarissable*. Les sources jaillissantes sont le plus souvent amenées à la surface par un forage vertical, pénétrant jusqu'à la couche imperméable qui retient les eaux. On les appelle alors *puits artésiens*, parce que ceux

de l'Artois sont les plus anciens en France, sinon en Europe. Depuis longtemps, en effet, de semblables forages avaient été pratiqués en Italie, où existent encore les puits de Parme et de Modène ; et les Italiens avaient été précédés par les Chinois, et peut-être par les Arabes des oasis du Sahara.

La condition indispensable à la réussite d'un forage artésien, c'est qu'il y ait au-dessous du point attaqué une couche imperméable, d'une grande étendue, qui se relève peu à peu de toutes parts, de manière à venir affleurer à la surface du sol à un niveau supérieur à celui du forage. De cette façon, l'assise imperméable ressemble à un verre de montre reposant sur son côté convexe. C'est un fond de bassin, dans lequel s'accumulent les eaux de la pluie et des rivières qui s'infiltrent dans les couches perméables reposant sur cette assise. Pour que le jet s'élève dans l'air, il est nécessaire que les couches absorbantes immédiatement superposées à l'assise imperméable, et sur lesquelles passent les rivières qui alimentent le bassin, se trouvent, au moins sur le pourtour, à un niveau supérieur à celui du lieu où s'opère le forage (fig. 57).

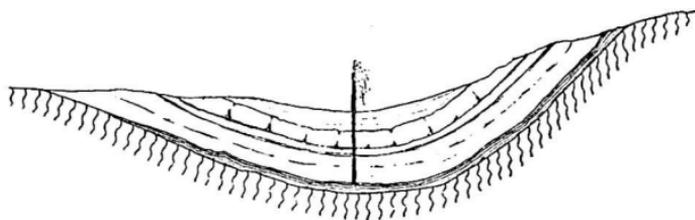


Fig. 57. — Coupe théorique d'un puits artésien.

En effet, un puits artésien n'est autre chose qu'un vaste niveau d'eau, où les choses se passent comme dans des vases communicants. Le bassin parisien est peut-être l'exemple le mieux caractérisé que l'on puisse fournir à l'appui de la théorie ci-dessus esquissée. Sous le sol même de Paris, les forages artésiens rencontrent, à plus de 500 mètres de profondeur, une couche aquifère reposant sur un fond imperméable. Elle s'alimente, à des niveaux supérieurs, dans le pourtour du bassin, en Champagne et en Bourgogne, où elle est traversée par l'Aisne, la Marne, l'Aube, la Seine, l'Yonne et beaucoup d'autres rivières. Si l'on se rapproche de la ceinture du bassin, les forages trouvent l'eau à une profondeur de plus en plus faible. On voit encore, par ce qui précède, que les puits artésiens n'offrent aucune chance de réussite dans les terrains ignés et massifs, non plus que dans les terrains sédimentaires où

les couches sont brisées et tourmentées, quoique tous les bassins ne montrent pas, il s'en faut de beaucoup, la régularité théorique de celui de Paris.

Le débit des puits artésiens est constant, et ne reçoit, pour ainsi dire, aucune modification des averses les plus prolongées, non plus quedes débordements de rivières. Il est en rapport avec le diamètre du forage, l'étendue de la couche aquifère et l'abondance des eaux dont elle est imbibée. Des puits trop rapprochés se nuisent réciproquement, en partageant entre eux les eaux ambiantes. C'est ainsi qu'on a vu le débit du puits de Grenelle diminuer après l'ouverture du puits de Passy, qui n'en est éloigné que de quelques kilomètres. Si l'on maintient au-dessus du sol, dans un tube vertical, le jet ascendant, le débit se trouve également affaibli, parce que l'accroissement de la pression favorise les infiltrations et les pertes sur le trajet du forage. On en a vu un exemple dans le puits de Grenelle, dont les eaux ont diminué d'abondance à mesure qu'on en élevait le niveau à leur sortie de terre.

Quoique les nappes artésiennes séjournent fréquemment à des profondeurs assez grandes pour arriver encore tièdes à la surface du sol, et qu'elles paraissent ainsi constituer un moyen terme entre les eaux souterraines superficielles et les eaux thermales profondes, elles appartiennent cependant à la première catégorie, plus encore peut-être que les infiltrations qui alimentent les sources ordinaires. Ces dernières, en effet, ne reçoivent qu'une partie des eaux qui tombent ou qui circulent à la surface du sol, une autre partie s'insinuant dans l'écorce solide pour se réunir aux eaux profondes. Au contraire, les nappes artésiennes, maintenues par la couche imperméable, ne laissent rien échapper, sinon du côté de la surface du sol. On peut donc définir la *circulation superficielle des eaux souterraines* en disant qu'elle s'opère, soit dans les massifs et les plateaux qui séparent les vallées, soit dans les bassins artésiens. Dans le premier cas, elle ne descend pas sensiblement au-dessous du niveau des cours d'eau; dans le second cas, elle s'arrête toujours à la couche imperméable du fond du bassin.

**Puits absorbants.** — Les *puits absorbants* sont la contre-partie des puits artésiens. Ils consistent en forages pénétrant dans des couches qui absorbent les liquides dont on veut se débarrasser.

**Composition des eaux souterraines superficielles.** — La composition chimique des eaux souterraines superficielles varie suivant la nature des terrains qu'elles traversent, car elles leur enlèvent

toutes les substances solubles. Les plus communes de celles-ci sont l'oxygène, l'azote, l'acide carbonique, le carbonate et le sulfate de chaux, les chlorures de sodium, de calcium et de magnésium, et souvent des matières organiques. Quand les sources renferment d'autres principes, ou que l'une quelconque des substances ci-dessus énumérées vient à y dominer de manière à leur communiquer des propriétés particulières, elles entrent dans la catégorie des *eaux minérales*. La plupart de ces dernières appartiennent à la circulation profonde ; cependant il en existe quelquefois, mais exceptionnellement, dans la zone de la circulation souterraine superficielle : telles sont les eaux d'Enghien, près de Paris.

**Qualités des eaux des sources.** — L'eau des sources n'est jamais chimiquement pure ; néanmoins, dans les contrées granitiques, elle trouble à peine les réactifs. L'eau granitique est infiniment préférable à toute autre pour les usages économiques et comme boisson : pour qui est habitué aux eaux des puits et même des sources des terrains calcaires, les eaux si fraîches et si limpides des Vosges et du Plateau central constituent une véritable friandise. Sensiblement plus chargées de sels, les eaux des contrées calcaires ne deviennent désagréables que lorsque le sulfate de chaux y domine. Alors on les dit *séléniteuses* ; elles ne dissolvent plus le savon, et sont impropres à la plupart des usages domestiques. Dans le voisinage des mers, les sources des plages basses et horizontales deviennent quelquefois saumâtres, c'est-à-dire plus ou moins chargées de sel marin. Les eaux des Landes et même de la ville de Bayonne, et beaucoup de celles de la Courlande et du nord de la Prusse présentent cet inconvénient.

**Température des sources.** — La *température des sources* ordinaires s'élève toujours un peu au-dessus de la moyenne du lieu, quand elles ne reçoivent pas les eaux des glaciers. Elle est d'autant plus constante, que les canaux souterrains d'alimentation amènent des eaux plus abondantes, et ont un gisement plus profond. La nature du sol paraît exercer une certaine influence, qui semble en grande partie provenir du mode de circulation des eaux. Les sources des terrains massifs et des sols meubles et perméables, ordinairement alimentées par des nappes moins profondes, subissent davantage l'influence des saisons et sont plus froides, à pareille altitude, que celles des terrains calcaires. Telle est, du moins, la conclusion à laquelle arrive J. Turmann, après une comparaison et une étude consciencieuse des sources des Vosges, du Jura et des

régions voisines. La température des sources abondantes à débit constant peut renseigner également sur la moyenne de la contrée, dont elle ne s'écarte le plus souvent que de quelques dixièmes de degré.

**Action des eaux souterraines superficielles.** — Les principales actions des eaux souterraines superficielles peuvent être énumérées ainsi qu'il suit :

1° *Réactions chimiques.* — Elles consistent, soit en corrosions s'exerçant sur les parois des canaux souterrains, soit en décompositions qui peuvent changer l'espèce minéralogique des couches attaquées, soit en précipités qui incrustent les surfaces sur lesquelles ils se déposent. Dans les conditions ordinaires, ces diverses réactions ne peuvent guère être produites que par l'acide carbonique en dissolution; elles ne prennent de l'importance que dans le cas où les eaux souterraines rencontrent, sur leur trajet, des matières solubles qui n'entrent pas habituellement dans leur composition. Mais alors elles deviennent des sources minérales.

2° *Minéralisation des fossiles.* — Dans certains cas, les parties solides des animaux et des végétaux, enfouis dans le sol, et recouverts d'incrustations par les eaux souterraines, changent de nature, et sont remplacées, molécule par molécule, par du calcaire ou de la silice ou de l'oxyde de fer. Je reviendrai plus tard sur ces *pétrifications*, autrefois si nombreuses, et qui ne se forment, à notre époque, que dans des circonstances exceptionnelles.

3° *Érosions souterraines.* — Comparables en petit aux érosions des fleuves, elles proviennent de corrosions par l'acide carbonique dissous, et de l'action mécanique des eaux et des matières solides qu'elles charrient. C'est donc un phénomène à la fois physique et chimique. On ne rencontre guère ces érosions que dans les régions calcaires, où elles ont pour effet d'agrandir les canaux souterrains, les gouffres, les crevasses, et d'y laisser divers sillons, diverses cavités. Plus énergiques autrefois, et venant en aide aux actions atmosphériques, elles ont beaucoup contribué à la formation de certaines cavernes, notamment dans le Poitou et dans la Franche-Comté. Elles provoquent souvent des éboulements et des effondrements.

4° *Dissolutions.* — Les eaux souterraines, avons-nous dit, se chargent de toutes les matières solubles qu'elles rencontrent. C'est ainsi que, d'après Cordier, elles ont peu à peu dessalé les roches sédimentaires d'origine marine, tandis que, suivant d'autres géolo-

gues, ces roches se sont constituées sans retenir de sel dans leur intérieur. Quand les eaux circulent sur des bancs de sel gemme, elles les dissolvent peu à peu, laissant à la place de vastes cavités, qui s'effondrent quelquefois, au grand détriment des habitations construites au-dessus de ces emplacements. L'exploitation des salines par injection d'eau douce provoque des affaissements analogues : on en cite plusieurs exemples dans le département du Jura, notamment à Lons-le-Saulnier.

5° *Cristallisations*. — La plupart des cristaux qu'on rencontre dans les petites cavités, ou *géodes*, des roches ignées, et tous ceux que renferment les roches sédimentaires ont une origine aqueuse. Les eaux souterraines, plus ou moins chargées de principes minéraux, les déposent, molécule par molécule, dans les fentes et les creux, où elles parviennent, tantôt par voie de suintement et de capillarité, tantôt par l'effet de la circulation souterraine. Quoique les substances minérales en dissolution se trouvent le plus souvent en proportion extrêmement minime dans ces eaux, la continuité de l'action et la longueur du temps amènent des résultats quelquefois surprenants. C'est ainsi qu'on explique la formation des agates, dont on peut suivre l'accroissement couche par couche dans les vacuoles de certaines roches trachytiques ; c'est ainsi que se sont constitués les cristaux de quartz, de pyrite, et surtout de calcaire et d'aragonite, si fréquents dans les terrains jurassiques. Autrefois ces actions étaient beaucoup plus énergiques, mais elles provenaient surtout des sources minérales. De nos jours encore, ces dernières fournissent des cristaux plus variés que les eaux ordinaires : je n'en veux pour preuve que les zéolithes trouvées par M. Daubrée dans les bétons romains des sources de Plombières.

6° *Incrustations et concrétions*. — Elles sont presque toujours calcaires, ferrugineuses ou siliceuses ; mais je ne m'occuperai ici que des premières, de beaucoup les plus répandues, et dont la formation explique celle des autres. On les trouve, le plus souvent, dans les grottes et dans les grandes fissures des roches calcaires ; mais on les voit aussi se produire sous les voûtes nouvellement construites, et, en général, dans tous les lieux où des eaux, tenant du calcaire en dissolution, à la faveur d'un excès d'acide carbonique, viennent à se répandre au dehors. Au contact de l'air, ces eaux, qui se sont chargées de carbonate de chaux pendant leur trajet souterrain, perdent une partie de leur acide, et alors le calcaire se dépose sous la forme de minces pellicules. Dans les grottes et sous les voûtes humides,

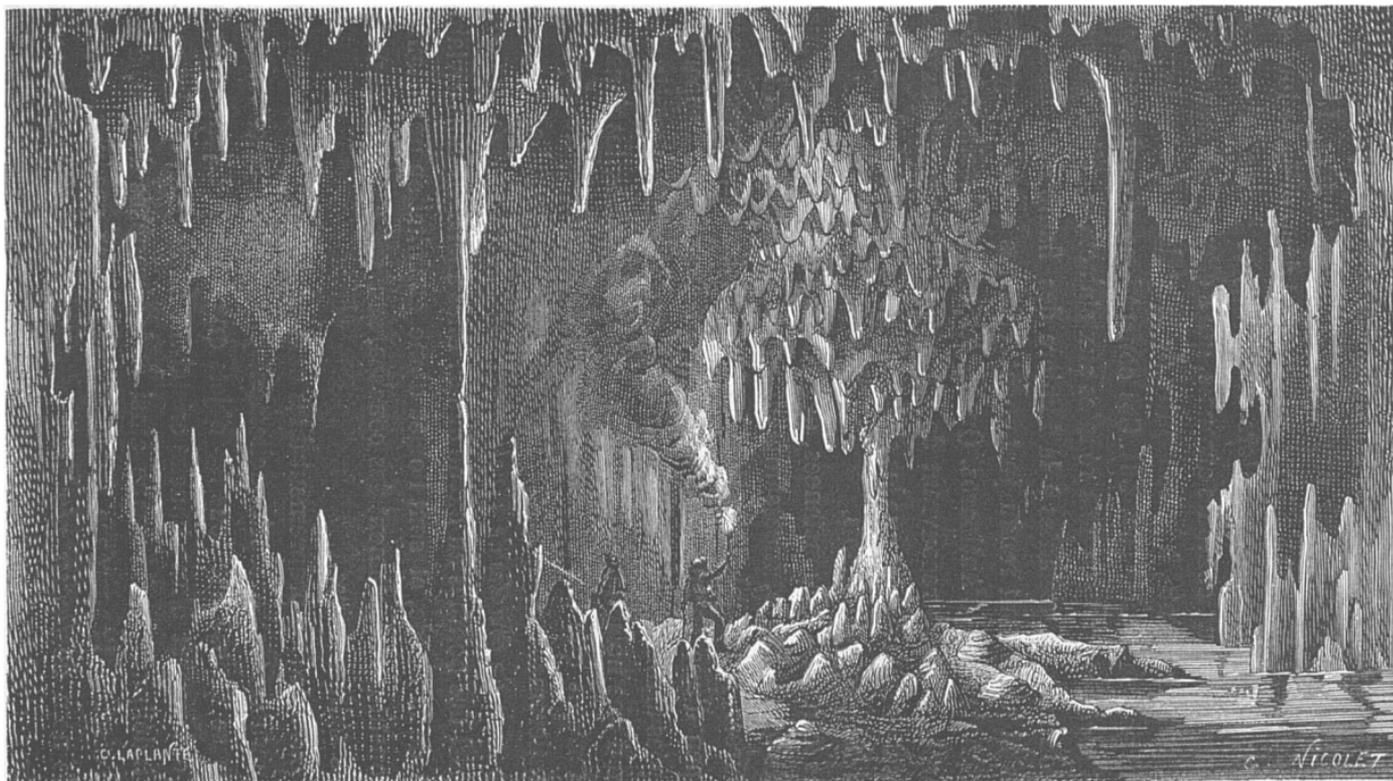


Fig. 58. — Stalactites et stalagmites.

les mêmes eaux, tombant goutte à goutte en un même point, forment, à la longue, des concrétions coniques cristallines semblables aux glaçons suspendus à nos toits. Ces concrétions, qui s'accroissent lentement, couche par couche, sont les *stalactites*. L'eau qui tombe des stalactites ne s'est pas entièrement dépouillée de tout son calcaire ; celui-ci se dépose alors sur le sol, et donne naissance à une concrétion aux contours arrondis, qui s'élève peu à peu en mamelon, puis en pointe, à la rencontre de la stalactite, avec laquelle elle finit par se souder (fig. 58). Ces concrétions ascendantes s'appellent *stalagmites*. Une fois réunies aux stalactites, elles forment ces colonnades étincelantes à la lumière des flambeaux, dont les aspects si variés ont rendu justement célèbres certaines grottes, par exemple celle d'Antiparos. Quand les eaux ruissellent le long des parois, elles les recouvrent de *placages* et d'incrustations cristallines de même nature que les stalagmites, sous le nom desquelles on les désigne quelquefois.

Dans certaines circonstances, des grains de sable et des corpuscules de toute nature, incessamment agités et ballottés par les jets des sources, et retombant ensuite au fond du bassin, se recouvrent peu à peu d'une incrustation calcaire, qui leur donne l'apparence de dragées arrondies, de la grosseur d'un grain de millet à celle d'un pois ou d'une noisette. Ce sont les *oolithes*, si abondantes dans certains terrains que des couches épaisses de calcaire jurassique en sont entièrement composées. Les concrétions arrondies connues sous le nom de *dragées de Tivoli* n'ont pas d'autre origine. On connaît aussi des oolithes en oxyde de fer. Elles abondent dans certains marais de la Suède, et sont l'objet d'une exploitation importante ; elles constituent également des couches, souvent épaisses, dans les terrains sédimentaires.

Les *incrustations* proprement dites sont produites par des sources dites incrustantes, exceptionnellement chargées de calcaire. Cette matière se dépose sur tous les objets qu'on laisse séjourner dans l'eau, et les revêt d'une couche cristalline homogène, qui les conserve indéfiniment. On donne ainsi à des branches d'arbre, à des nids d'oiseaux l'apparence de la pierre, et ces produits, connus sous le nom de *fausses pétrifications*, sont l'objet d'un commerce assez important en Auvergne, où existent les célèbres sources incrustantes de Saint-Allyre, à Clermont-Ferrand, et de Saint-Nectaire. Dans cette dernière localité, les incrustations calcaires revêtent la plupart des pentes granitiques de la vallée d'un placage épais de

plusieurs mètres, dans lequel sont enveloppés une foule de débris de plantes et de petits animaux de notre époque, qui deviendront des fossiles pour les générations à venir. Les sources incrustantes de l'Auvergne proviennent de la circulation souterraine profonde, et sont de véritables eaux minérales ; au contraire celles des montagnes du Jura, et notamment du val de Travers, dans le canton de Neuchâtel, sont des eaux superficielles. Il n'est d'ailleurs pas toujours facile de distinguer les effets des deux circulations ; aussi, sans viser à une précision impossible en pareille matière, continuerai-je de décrire à cette place toutes les actions qui leur sont communes.

7° *Formation de roches.* — Nous venons de voir que les incrustations prennent quelquefois l'importance de véritables roches. Elles nous conduisent naturellement à ces dernières, dont elles se rapprochent beaucoup dans certaines circonstances. Les *tufs*, en effet, ne sont que des incrustations qui se forment le plus souvent autour des mousses, et finissent par s'élever peu à peu en massifs d'une grande épaisseur. On les exploite dans une foule de lieux, car ils donnent une pierre poreuse et légère très-solide. Dans presque tout le Jura, les cheminées et les voûtes sont construites en tuf, et cette matière abonde dans les ruines romaines de Mandeuve. Les tufs qui remplissent le fond de la vallée du Dessoubre, à Consolation, ont une telle importance, qu'une route passe en tranchée, puis en souterrain dans leur massif. On connaît aussi des tufs siliceux et des incrustations de même nature qui se forment autour des geysers de l'Islande et des eaux chaudes chargées de silice ; ils renferment également les débris des coquilles terrestres et des plantes de notre époque.

Les *travertins*, qui constituent des couches si épaisses dans certaines contrées de l'Italie, et auxquels Rome a emprunté les matériaux de ses monuments, ont une origine analogue à celle des tufs, et proviennent de sources calcaires. Beaucoup plus lourds et plus compactes que les tufs, ils fournissent des blocs plus volumineux, et sont criblés de vermiculations quelquefois microscopiques, dues au dégagement de l'acide carbonique. Quand les sources se déversent dans la mer, la roche prend le nom de *panchina* : c'est un travertin mêlé de sable et de fragments de coquilles. De même que les tufs, les travertins s'épaississent chaque jour sur le trajet des sources calcarifères.

8° *Cimentation des roches meubles.* — En s'infiltrant dans les débris

remaniés qui recouvrent la plupart des bancs calcaires superficiels, les eaux pluviales, toujours quelque peu chargées d'acide carbonique, dissolvent du carbonate de chaux, quoique leur trajet souterrain ne soit souvent que de quelques décimètres. Elles l'abandonnent bientôt dans les interstices de ces débris, qui se trouvent ainsi soudés, et se transforment en une brèche plus ou moins résistante. Il est bien peu de tranchées et de carrières à la partie supérieure desquelles on ne remarque çà et là de semblables consolidations. Dans des circonstances analogues, le calcaire abandonné par les eaux revêt les débris cimentés ou incohérents d'une fine poussière blanchâtre connue sous le nom de *farine fossile*, et qu'il ne faut pas confondre avec une poussière de même aspect, qui se forme autour de silex décomposés, ou qui provient des débris d'infusoires. Si les eaux incrustantes se déversent dans des sables, elles les agglutinent et les transforment en *grès*, dont le ciment est calcaire ou siliceux suivant la nature des substances abandonnées par les eaux. On connaît aussi des incrustations ferrugineuses, et celles-ci ne sont pas les moins solides. Toutes ces actions avaient autrefois une bien plus grande énergie : témoin les énormes assises de poudingues, de grès, de calcaires et même de fers oolitiques qui se sont formés à presque toutes les époques. Pour avoir été le plus souvent sous-marins, ces phénomènes de cimentation et d'agglutination ne rentrent pas moins dans notre cadre. Nous voyons encore aujourd'hui des calcaires oolitiques se former au Moule de la Guadeloupe par l'action des sources.

9° *Dépôts meubles*. — Les canaux des sources et leurs bassins souterrains se remplissent souvent de cailloux, de sables, de graviers, de limons qui peuvent former, isolément ou mélangés, de petites alluvions comparables à celles des rivières. Ces dépôts, en général peu consistants, sont charriés par les courants souterrains. Ils recouvrent et salissent la surface des roches, et s'introduisent dans les fentes et les crevasses, qu'ils finissent quelquefois par obstruer.

**EAUX COURANTES.** — Après une circulation souterraine plus ou moins étendue, les eaux météoriques ressortent au dehors par les sources. Alors commence la circulation extérieure, les eaux des sources s'écoulant en filets ou en ruisseaux qui se réunissent de proche en proche pour constituer les rivières et les fleuves. Telle est l'origine des *eaux courantes*, qu'on désigne encore sous le nom d'*eaux fluviales*. Les rivières sont aussi alimentées directement par les

pluies, la fonte des neiges et les glaciers. Elles reçoivent le tribut des sources minérales et des eaux profondes qui arrivent à la surface.

**Fleuves, rivières, bassins, etc.** — Il est inutile de définir les expressions si usitées de *fleuve*, *rivière*, *ruisseau*, *torrent*, par lesquelles on désigne les eaux courantes ; d'autant plus que cette nomenclature ne peut aspirer à un plus haut degré de précision que toutes les autres. S'il est vrai qu'un fleuve se jette directement dans la mer, et une rivière dans un fleuve ou dans une autre rivière, on répugne à employer ce dernier terme pour désigner des cours d'eaux tels que le Missouri ou l'Arkansas, et l'on peut hésiter à qualifier de fleuves le torrent du Var ou le paisible ruisseau de la Sèvre-Niortaise. Il n'existe certainement pas, sur le globe, de cours d'eau qui se rende directement à la mer ou dans un fleuve sans recevoir lui-même, à droite et à gauche, des *affluents*, ne fût-ce que de simples ravines. La conséquence est que chaque rivière recueille les eaux pluviales de surfaces plus ou moins étendues. Ces surfaces constituent le *bassin hydrographique* du fleuve ou de la rivière qui les traverse. Elles sont séparées les unes des autres par des reliefs plus ou moins accusés, qui forment des *lignes de partage des eaux*. Toutes les eaux qui tombent dans un bassin finissent donc par se réunir en un seul tronc. Comparables aux ramifications des veines, qui se déversent à la fin dans un seul canal, elles constituent dans leur ensemble un *système hydrographique*. En général indépendants, les bassins et les systèmes hydrographiques communiquent cependant quelquefois les uns avec les autres : tels sont ceux de l'Orénoque et de l'Amazone, réunis par le Rio-Negro et le Cassiquiare ; tels sont encore le Gange et le Bramapoutre, qui confondent leurs eaux à leur embouchure.

**Surface de quelques bassins hydrographiques.** — Voici l'étendue, en myriamètres carrés, de quelques-uns des principaux bassins du globe, d'après la 5<sup>e</sup> édition de la géographie de Malte-Brun.

	Myriam. carrés.		Myriam. carrés.
Amazone.....	48 354	Don.....	3 343
Plata.....	39 354	Rhin.....	1 976
Obi.....	35 022	Loire.....	1 311
Saint-Laurent.....	34 227	Garonne.....	792
Amour.....	29 411	Pô.....	774
Volga.....	16 558	Tage.....	745
Danube.....	7 916	Seine.....	679

**Longueur des principaux fleuves.** — Voici maintenant, en kilomètres, la longueur des fleuves les plus connus. De même que,

dans le tableau précédent, les chiffres ne donnent souvent que des approximations :

	Kilom.	
Nil, au moins.....	6000	
Mississipi, compté à partir de la source du Missouri.	5600	
Yan-tsé-kiang.....	5330	
Yénisseï.....	5180	
Léna.....	4440	
Amour.....	4380	
Obi.....	4300	
Hoang-ho.....	4220	
Iraouady	} environ.....	4000
Niger		
Mackensie		
Plata.....	3650	
Volga.....	3340	
Saint-Laurent.....	3300	
Indus	} environ.....	3000
Gange		
Euphrate.....	2760	
Danube.....	2750	
Orénoque.....	2250	
Dniéper	} environ.....	2000
Sénégal		
Don.....	1780	
Rivière Murray (Australie), environ.....	1500	
Rhin.....	1320	
Elbe	} environ.....	1000
Vistule		
Tagé		
Loire		
Rhône.....	840	
Seine.....	770	
Pô.....	750	
Garonne.....	650	
Doubs.....	430	

Il est souvent difficile de distinguer le cours d'eau principal d'un de ses affluents, quelquefois aussi considérable que lui-même, par exemple le Mississipi et le Missouri. Quand deux affluents de pareille étendue se réunissent en un seul cours avant d'aboutir à la mer, on peut donc hésiter à désigner le fleuve et la rivière : tel est le cas pour le Chat-el-Arab, formé par la jonction du Tigre et de l'Euphrate. Enfin, la difficulté se trouve encore augmentée lorsqu'un grand nombre de cours d'eau, d'importance à peu près pareille, convergent de toutes les directions, vers un fleuve, à l'ori-

gine de son bassin, comme les tributaires de l'Amazone. Dans tous ces cas difficiles, on se laisse guider par divers indices, tels que la direction plus ou moins oblique habituelle aux affluents, la couleur et le volume des eaux, etc.; mais il n'est pas toujours possible de se diriger sûrement dans les pays inconnus : plus d'un tributaire a reçu le nom du fleuve principal, et cette usurpation a été consacrée par l'habitude.

**Circonstances influant sur les dimensions des cours d'eau. —**

La *longueur* d'un cours d'eau dépend uniquement du relief et du modelé de la surface terrestre, c'est-à-dire de l'étendue du bassin. Sa *largeur* dépend du relief et du modelé de ce bassin, ou, en d'autres termes, de la configuration de la vallée occupée par le fleuve. Viennent ensuite la nature du sol traversé et l'abondance des eaux. A ce dernier point de vue, la largeur d'un fleuve se trouve en rapport avec la surface de son bassin et le régime des pluies. La Néva n'a que quelques lieues de longueur entre le lac Ladoga et la mer Baltique, mais elle reçoit les eaux d'un bassin fort étendu ; aussi est-ce une des rivières les plus larges et les plus profondes de l'Europe. Par opposition, le Nil, qui est certainement le plus grand fleuve du monde, et dont les sources véritables seront trouvées, selon toute probabilité, à 10 degrés environ au sud de l'Équateur, n'a qu'une largeur et un débit fort modérés, en dehors de ses crues périodiques, parce qu'il ne reçoit pas d'affluents dans la partie inférieure de son cours, et parce qu'il diminue beaucoup par évaporation. La largeur d'un cours d'eau n'augmente d'ailleurs pas toujours régulièrement à mesure qu'il s'éloigne de sa source. Quelquefois il traverse des lacs, puis des gorges resserrées, auxquelles succèdent des plaines où il peut se dilater à son aise. Le lit des rivières est toujours plus étroit dans les roches dures et compactes que dans les roches détritiques. Le Saint-Laurent, qui alimente les plus grands lacs du monde, consiste en une série de dilatations et d'étranglements, et se jette dans la mer par une embouchure très-large. Fort encaissé dans les montagnes de Grisons, le Rhin forme bientôt le lac de Constance, à la sortie duquel il est resserré entre des collines assez élevées jusqu'au coude de Bâle. Il circule ensuite librement dans les alluvions meubles de la vallée d'Alsace et du pays de Bade, où il se divise en bras nombreux, puis il s'encaisse dans les montagnes entre Mayence et Dusseldorf, et se divise en branches fort larges dans les plaines de la Hollande. Torrentueux, mais cependant assez libre dans le Valais, le Rhône se dilate ensuite dans le

lac de Genève, et se resserre assez brusquement en franchissant le Jura dans les gorges sauvages, où il disparaît à peu près au rétrécissement appelé la Perte du Rhône. Dans la partie inférieure de son cours, il s'élargit beaucoup au delà de Lyon, en conservant toujours une grande rapidité, et se termine par un delta. Fort large dans les plaines de la Bourgogne, la Saône se resserre et s'encaisse au-dessus de Lyon, à son embouchure dans le Rhône. Si donc, en général, la largeur d'un cours d'eau est proportionnelle à son étendue et à la distance de la source, cette règle admet de nombreuses exceptions.

**Profondeur des cours d'eau.** — La *profondeur* varie également en raison du volume des eaux et des accidents topographiques. On ne peut rien formuler de précis à cet égard, sinon cette loi générale que, pour une pareille masse d'eau, la profondeur est en raison inverse de la largeur. Dans les montagnes, le fond des rivières présente les plus grandes inégalités. Ainsi, le Doubs n'est pas navigable dans toute la moitié supérieure de son cours, parce qu'il se trouve à chaque instant barré par des rapides rocheux, entre lesquels existent des gouffres ou des bassins d'une grande profondeur. Une autre règle qui souffre peu d'exceptions est la suivante : dans un pays plat, et même toutes les fois qu'une rivière ne coule pas sur des roches dures, la plus grande profondeur existe toujours du côté convexe des sinuosités par rapport au cours d'eau, et du côté concave par rapport à la rive.

**Pente des cours d'eau.** — La *pente* des cours d'eau varie autant, pour le moins, que la profondeur ; et l'on peut observer tous les intermédiaires entre les cascades verticales et les bassins ou les lacs presque de niveau. Ordinairement rapides et torrentueuses à leur début, les rivières qui descendent des montagnes se ralentissent plus tard, quand elles traversent des contrées unies ; d'autres cours d'eau, au contraire, originaires des pays de plaine, ont des allures assez tranquilles et assez uniformes sur tout leur parcours. Tels sont, par exemple, le Don, le Volga et la plupart des grands fleuves de la Russie d'Europe. En général, la pente des eaux courantes, même rapides, est extrêmement faible, sauf dans les montagnes. Le Mississipi, la Seine et le Nil, qui sont au nombre des rivières lentes, ont une pente respective de 9", 20" et 22". Le Rhin, qui figure au nombre des rivières rapides, a 4',22" à sa sortie de France, et le Rhône, plus rapide encore, a 4',24" à Avignon et 4',54" à Arles. Au delà, les rivières deviennent torrentielles : telle est l'Arve, dont

la pente atteint 5', 33" à Chamonix ; telle est encore la Durance, dont la pente varie de 7', 19" à 16', 22". La pente d'une rivière navigable ne doit pas dépasser 3', 26", c'est-à-dire 1 millimètre par mètre.

**Vitesse des cours d'eau.** — La vitesse d'un cours d'eau dépend au moins autant de son volume que de la pente elle-même. Elle peut, en effet, doubler et tripler dans les crues, sans que la pente subisse le moindre changement. Beaucoup de rivières à pente très-faible ont un cours rapide, grâce au volume de leurs eaux, la Néva, par exemple.

Une vitesse de 2 kilomètres à l'heure est modérée ; dans ses plus forts débordements, la Seine ne dépasse guère 6 à 7 kilomètres ; enfin la vitesse extrême des torrents peut aller à 10 et même à 12 mètres par seconde, ou 32 kilomètres par heure. La rapidité du courant est toujours plus considérable au milieu du lit, et près de la surface, que dans le fond et près des bords ; cependant, à toutes les sinuosités le courant se porte sur la rive concave et s'éloigne de la rive convexe, et, dans ce cas, il se trouve en relation avec la profondeur.

**Cours des fleuves.** — Si maintenant nous considérons le cours des fleuves d'une manière plus générale, nous reconnaitrons qu'on peut le diviser ordinairement en trois régions : une supérieure, une moyenne, une inférieure. Renfermé dans les montagnes, rapide et torrentueux, le *cours supérieur des fleuves* abonde en obstacles et en accidents de toute nature, tels que *barrages, rapides, cascades, rétrécissements, petits lacs* et même *perles et disparitions* momentanées dans les rochers. Le *cours moyen* commence à la sortie des montagnes, et s'arrête aux plages basses voisines de l'embouchure. C'est ordinairement la partie la plus longue et la plus importante du cours d'eau ; c'est là que le fleuve présente sa physionomie la plus habituelle. En général, le lit est plus élargi et plus profond, le courant plus tranquille ; cependant, pour se présenter rarement, les accidents ne font pas défaut. Si le cours supérieur est la région des cascades et des rapides, le cours moyen est celle des *cataractes* : les chutes si célèbres du Niagara et du Rhin, les rapides du Nil improprement appelés *cataractes*, les treize *porogs* du Dniester, les *portages* des fleuves de l'Amérique du Nord, la *perle* du Rhône, les rétrécissements ou *portes* du Danube existent dans la région moyenne. C'est là également que les îles commencent à se multiplier. Encore plus large et plus tranquille, le *cours inférieur* se

divise souvent en bras plus ou moins nombreux, qui constituent des *deltas*. Le Rhône, le Pô, le Nil, le Gange, le Mississipi, en offrent des exemples bien connus. D'autres fois, le lit s'élargit assez brusquement près de l'embouchure, de manière à former un petit *golfe* ou *estuaire*, plus ou moins profond et sinueux : tel est le cas de la Seine, de la Gironde, du Tage, de la Plata. Ce dernier fleuve a 200 kilomètres à son embouchure, et l'Amazonc 40 à 50, du Rio-Branco à Sainte-Isabelle. Les dimensions de nos rivières de l'Europe sont plus modérées ; cependant la Gironde a 8 ou 10 kilomètres, et la Seine s'élargit encore davantage entre le Havre et Honfleur. Il arrive aussi que l'embouchure d'un fleuve se trouve obstruée par des vases ou des sables refoulés par la mer. Les eaux s'accumulent alors au-dessus de l'obstacle, empiétant dans les terres basses à droite et à gauche, et forment des *lagunes*, ordinairement marécageuses, entre-coupées de bas-fonds. Quelquefois encore le fleuve se déverse, pendant ses crues, dans des canaux latéraux, qu'il abandonne ensuite, et qui n'en élargissent le lit que momentanément. Tels sont les *marigots* du Sénégal et les *bayous* du Mississipi. Chacune des régions d'un cours d'eau offre donc des accidents particuliers ; et c'est surtout à la partie supérieure et à la partie inférieure qu'ils deviennent nombreux et caractéristiques. Il y a cependant beaucoup de rivières, comme la Seine, l'Escaut, le Volga, dont le cours presque entier, sauf l'embouchure, représente la région moyenne ; et la plupart des cours d'eau qui ne prennent pas leur source dans les montagnes se trouvent dans ce cas.

**Volume des fleuves.** — Le *volume des eaux* dépend surtout de l'étendue du bassin et de la quantité d'eau pluviale. A cet égard, l'Amazonc est privilégié sur tous les fleuves de la terre, car il déverse les eaux d'un immense bassin, où les pluies ont une abondance extrême, même pour les régions équatoriales. Aussi les grands navires peuvent-ils le remonter fort haut, et, dans les parties inférieures de son cours, ressemble-t-il plutôt à une mer qu'à un fleuve. Au contraire, l'évaporation et les infiltrations réduisent le volume des eaux courantes. Comme exemple, on peut citer le Nil, la Seine, le Mississipi et le Rhin. On sait que la branche de ce dernier fleuve qui aboutit le plus directement à la mer, se perd misérablement dans les sables près de Leyde. Le Nil est loin d'avoir un débit proportionnel à son étendue. On estime que le huitième de la pluie qui tombe dans le bassin de la Seine, et le dixième seulement de celle qui tombe dans le bassin du Mississipi, parviennent jusqu'à

la mer. On assure même qu'il y a de telles absorptions souterraines et de telles déviations des eaux de ce dernier fleuve, que les inondations arrivant dans la partie moyenne de son cours, ne se font presque jamais sentir jusqu'à la Nouvelle-Orléans. D'après Hall, en effet, la hauteur des crues, qui dépasse 16 mètres à Natchez, s'élève à peine à 4 mètres dans le bas du fleuve. Voici, à propos du sujet qui nous occupe, quelques chiffres, donnés cependant sous toutes réserves. A l'étiage du Pont-Royal, d'après Dausse, la Seine débite 74 mètres cubes d'eau en moyenne, et pendant les grandes crues, elle en fournit dix-huit fois plus, ou 1384 mètres cubes. Si toutes les eaux courantes de l'Europe étaient représentées par 1000, celles du Volga entreraient dans ce chiffre pour 0,144, celles du Danube pour 0,124, celles du Rhin pour 0,030 et celles de la Seine pour 0,009 seulement.

**Régime des fleuves.** — Le régime des eaux courantes varie avec les saisons, la durée et l'abondance des pluies; la fonte des neiges, la direction des vents, la hauteur des marées et peut-être l'état des cultures et de la végétation forestière. Il est parfaitement inutile d'insister sur l'influence bien connue de plusieurs de ces facteurs. Je dirai cependant que les fleuves qui descendent des glaciers, comme le Rhin et le Rhône, grossissent en été, quand la fonte de la glace est le plus active. Je rappellerai aussi que les inondations périodiques du Nil, occasionnées par les pluies équatoriales des régions supérieures de son bassin, mettent un certain temps à parvenir dans la Basse-Égypte, où les grandes crues, qui s'élèvent à 8 ou 9 mètres, ne se manifestent que dans le mois d'août. L'influence des marées ne se fait sentir que dans le cours inférieur des fleuves, mais, sur les plages basses, elle se transmet fort avant dans les terres. Bien au delà de Bordeaux, la Garonne s'exhausse ou s'abaisse avec la marée; et rien n'est plus surprenant, pour un observateur pris à l'improviste, que de voir, à l'heure du flot, le fleuve remonter rapidement vers sa source. Quand ils acquièrent une certaine violence, les vents du large soufflant plusieurs jours dans la même direction, refoulent les eaux de la mer sur les rivages, en exhaussant le niveau des rivières. Dans le fond du golfe de Finlande, le vent d'ouest, qui empêche l'écoulement de la Néva, a été trop souvent, pour la ville de Saint-Pétersbourg, la cause d'inondations désastreuses, dont les niveaux ont été marqués aux coins des rues. Au mois d'août 1844, j'ai vu les eaux de la Vindau s'élever de plus de 2 mètres, inonder les quais du port de même nom et refluer

dans les bas quartiers de la ville par un violent coup de vent d'ouest. Cependant, à l'embouchure de cette rivière, la côte de Courlande ne présente pas le moindre enfoncement. La question de savoir si les déboisements provoquent les inondations a été soutenue et niée tour à tour. Il semble que la végétation absorbe une partie des eaux pluviales et ralentisse les nappes torrentielles qui se rendent dans les fleuves. De cette manière, ceux-ci reçoivent moins d'eau à la fois, et ils ont plus de temps pour écouler l'excédant fourni par les averses. Cependant, des mesures et des observations précises, ainsi que la comparaison de vallées d'égale étendue, les unes boisées et les autres dénudées, semblent prouver que le tapis végétal et le couvert des forêts n'exercent point l'influence bienfaisante qu'on leur attribue.

**Actions des eaux courantes.** — Les *actions des eaux courantes* consistent surtout en érosions et en atterrissements ou alluvions ; elles seront énumérées sous les titres suivants :

1<sup>o</sup> *Érosions.* — C'est le substantif qui correspond au verbe *ronger*. Une érosion est donc un creusement, un affouillement. Les rivières creusent et rongent le terrain sur leur passage, et le sillon qui en résulte est précisément le lit du cours d'eau. L'énergie des érosions dépend de la vitesse et du volume des eaux, de la nature et de l'abondance des corps solides qu'elles charrient, enfin de la nature des sols qu'elles traversent. D'après Cordier, la puissance érosive augmente comme le carré de la vitesse, et celle-ci s'accroît avec le volume des eaux : c'est donc pendant les inondations que les fleuves attaquent leurs rives avec le plus d'énergie. Les cailloux et les débris solides sont toujours entraînés en plus grande abondance pendant les crues, et leur action s'ajoute à celle de l'eau. Il est presque inutile de faire observer que les alluvions sablonneuses, les argiles et en général les terrains meubles, sont plus facilement et plus profondément attaqués que les roches solides et résistantes. Dans les parties où il est rectiligne, un cours d'eau ronge plutôt son lit que ses rives ; mais la profondeur moyenne reste cependant à peu près la même, parce que les matériaux enlevés sont remplacés par d'autres débris venus de plus haut. Dans les sinuosités, au contraire, le courant, qui se jette toujours presque normalement sur le bord concave, attaque et démolit cette rive, dont les matériaux sont reportés plus loin sur les rives convexes. Celles-ci s'abaissent en pente insensible et s'enfoncent sous les eaux avec la même inclinaison, toujours très-faible, de sorte qu'il faut s'éloigner beaucoup du bord pour

rencontrer de la profondeur. Par opposition, les rives concaves sont presque toujours à pic, ou au moins très-escarpées, et la plus grande profondeur se trouve à leur pied. Tous les fleuves au cours flexueux, toutes les rivières des pays de plaine, comme la Seine et le Volga, tous les ruisseaux qui serpentent dans les prairies, offrent à chaque instant des exemples de ce mode d'érosion.

Telle est la faiblesse actuelle des cours d'eau, que leur action paraît absolument insensible, à notre époque, sur les roches dures, granitiques ou calcaires. Au contraire, elle s'exerce avec une grande énergie dans les alluvions argileuses et sablonneuses. Quand les eaux ne sont pas endiguées, les rivières qui traversent de semblables terrains déplacent leur lit presque à chaque crue, rejetant d'un côté ce qu'elles ont enlevé de l'autre, et modifient sensiblement l'étendue des propriétés riveraines. Souvent on peut reconnaître les emplacements des anciens lits, qui constituent des bas-fonds marécageux connus sous le nom de *laisses* ou de *mortes*. Souvent aussi les îles sont enlevées et rétablies plus loin, ou réunies aux rivages par parcelle par parcelle. Des canaux latéraux, d'une existence plus ou moins éphémère, sont ouverts, pendant que d'autres se remplissent. Dans la plaine d'Alsace, le Rhin transporte ainsi fréquemment son courant principal au milieu des innombrables îles qui l'obstruent.

**Démantèlement des falaises, recul des cataractes, etc.** — Un autre effet des érosions, c'est le *démantèlement des falaises* formées par des assises horizontales. Il se produit dans le cas où les bancs situés au niveau de l'eau sont meubles et peu cohérents, et se trouvent peu à peu minés et affouillés par le courant, tandis que les parties supérieures, privées de leur appui, glissent ou s'écroutent dans le fleuve. Comme exemple, je citerai la colline du Pech-David, près de Toulouse, qui est incessamment démolie par la Garonne au-dessous du confluent de l'Ariège. Un autre effet analogue est le *recul des cataractes*. Le rocher du Belvédère, qui s'élève au milieu de la chute du Rhin, à Schaffhouse, subsiste comme un témoin de l'ancienne extension des assises que les eaux ont peu à peu emportées à droite ou à gauche. Un exemple souvent cité est le recul de la cataracte du Niagara. Elle se trouve actuellement enfoncée de 7 milles dans le plateau du haut duquel se précipite le fleuve; et le chenal ainsi creusé s'avance incessamment vers le lac Érié, dont il n'était séparé que par un espace de 18 milles environ, il y a une quarantaine d'années. Les causes du recul du Niagara sont l'affouillement incessant

par les eaux, les tourbillons d'air chargé de gouttelettes liquides et par les gelées, d'une assise schisteuse et friable qui règne au pied de l'escarpement, et qui est recouverte par des bancs calcaires en surplomb. Au contraire, le Rhin démolit la partie supérieure de son escarpement, et roule ainsi sur un plan incliné.

**Chaudières.** — J'ai dit que l'action érosive des eaux est aidée par le frottement des corps durs qu'elles charrient. Comme preuve, on peut citer les *chaudières*, ou cavités hémisphériques plus ou moins régulières, creusées dans les roches solides du lit des cours d'eau par des cailloux qu'on retourne toujours dans ces creux. Elles n'existent d'ailleurs que dans les endroits rapides, où le tourbillonnement des eaux communique aux matières solides entraînées un mouvement circulaire. On en voit plusieurs dans le Tarn en amont d'Albi, ainsi que dans la Vienne au-dessous de Limoges, de l'île Jourdain et ailleurs ; elles abondent dans les rapides du Doubs, notamment à Pont-de-Raide, où l'on en compte une trentaine au moins.

**Le mouvement de rotation de la terre a-t-il de l'influence sur la direction des cours d'eau ?** — C'est ici le lieu de discuter une opinion déjà ancienne, mais qui a été reprise dans ces derniers temps, et qui semble destinée à se propager. Je veux parler de l'influence du mouvement de la terre sur la direction des cours d'eau. Il m'a paru, d'ailleurs, que tous les physiiciens n'envisagent pas cette question de la même manière. Voici cependant, si j'ai bien compris, l'opinion la plus générale. Nous avons vu que la vitesse de la rotation terrestre, qui est nulle aux pôles, s'accroît à la surface de la planète à mesure qu'on se rapproche de l'équateur. Ce mouvement produit sur les eaux un effet analogue à celui qui détermine au sein de l'atmosphère les courants des vents alizés. Un fleuve qui se dirige du pôle vers l'équateur se trouve peu à peu en retard relativement au mouvement de rotation du globe, et doit, par conséquent, ronger sa rive occidentale ; un cours d'eau circulant en sens inverse se trouve, au contraire, en avance, et ronge sa rive orientale. De cette façon, les fleuves dirigés dans le sens du méridien dévient à droite dans l'hémisphère boréal, et à gauche dans l'hémisphère austral. Quant aux rivières courant parallèlement à l'équateur, rien ne les oblige à se porter d'un côté plutôt que d'un autre ; leur rapidité est seulement diminuée quand elles vont de l'ouest à l'est, de même qu'elle se trouve augmentée quand elles se dirigent de l'est à l'ouest.

Mettons tout de suite hors de cause ces derniers faits, qui reposent

uniquement sur l'hypothèse, et qui ne peuvent être démontrés par l'observation. Restent les directions dans le sens des méridiens. A cet égard, on peut dire, *à priori*, que la lenteur des cours d'eau, leurs sinuosités, le frottement du liquide contre le fond, contre les bords et les divers obstacles qu'il rencontre doivent absolument annuler l'impulsion communiquée par le mouvement de la planète, si tant est qu'elle existe. Les partisans de l'hypothèse que je viens d'exposer citent des exemples assez nombreux à l'appui de leur théorie; mais il y en a aussi de contraires, notamment le Rhône, le Mississipi et les autres tributaires du golfe du Mexique venant de l'Amérique du Nord. On invoque, il est vrai, pour expliquer ces anomalies, des faits plus ou moins probants, tels que mouvements du sol, nature du terrain, direction des vents dominants, etc.; mais on oublie que ces arguments peuvent être retournés contre ceux qui les emploient, et servir tout aussi bien à prouver la thèse contraire. On oublie que, dans ces sortes de questions, une seule exception bien constatée renverse la théorie de fond en comble. Or, les exceptions abondent; elles portent, soit sur certains cours d'eau envisagés dans leur ensemble, comme ceux qui viennent d'être cités, soit sur les diverses parties de la même rivière. Les observations auxquelles je me suis livré à cet égard depuis plusieurs années me laissent une seule conviction, savoir que, dans les sinuosités, les fleuves rongent leur rive concave, et que dans les trajets rectilignes ils se portent indifféremment à droite ou à gauche, quelle que soit d'ailleurs la direction, quand ils empiètent sur leurs rivages. L'emplacement même de leur lit a été déterminé par les dénivellements antérieurs du sol. Dans tous les cas, un examen attentif du terrain indique toujours la cause de la direction préférée. La Garonne est souvent citée comme une des rivières qui rongent la même rive sur tout leur trajet. Elle court au nord-ouest, elle a de tout temps empiété sur sa droite, les traces de ses anciens lits fournissent la preuve de ses déplacements successifs. Mais cette rivière décrit un immense arc de cercle, et son rivage concave est précisément celui de droite. Ce fait seul explique, sans qu'il soit besoin d'autre hypothèse, la tendance constante de son courant. Néanmoins, à la sortie même de Toulouse, la Garonne se jette sur sa rive gauche, justement concave en cet endroit; et le géologue qui rapporte ce fait, et qui est d'ailleurs partisan de la doctrine de l'influence du mouvement de la terre sur la direction des cours d'eau, en cite plusieurs autres dans le même sens. Une des rivières qui m'est le mieux connue, le Doubs,

coule directement au nord à sa sortie des gorges du Lomont. A Pont-de-Raide, il occupe la droite de la vallée; mais il se rejette sur la gauche aux forges de Bourguignon, où il décrit une petite sinuosité, puis se reporte sur la droite jusque au delà de Mathay, retenu dans cette dernière direction par l'inclinaison à l'est des bancs calcaires de la grande oolithe, qui forment le fond de la vallée à sa gauche, tandis qu'il affouille, à droite, les assises plus meubles des marnes oxfordiennes. Il décrit à Mandeuire un circuit qui le porte à l'est jusqu'au moulin de Béliou; puis il se dirige au nord jusqu'à Audincourt, occupant d'abord le côté droit, et ensuite le côté gauche de la vallée, creusée dans les calcaires kimmériens. La Vienne, qui court du sud au nord, se jette tantôt à droite, tantôt à gauche entre Confolens et Châtellerault. D'Orléans à Tours la Loire coule au sud-ouest. Elle devrait par conséquent se porter à droite. Cependant elle quitte cette direction un peu au delà de Blois, pour ronger sa rive gauche jusqu'à Mont-Louis; elle revient ensuite à droite jusqu'au confluent du Cher, au-dessous de Tours, puis continue son trajet dans le milieu de la vallée. La plupart des rivières transversales, c'est-à-dire orientées dans le sens des parallèles, rongent leurs rives aussi bien que les rivières orientées dans le sens du méridien, et, d'après la théorie, cela ne devrait pas avoir lieu. Sans multiplier davantage les exemples, je conclurai, non pas en niant absolument l'influence du mouvement de la terre sur la direction des cours d'eau, car je n'oserais donner comme une preuve mon sentiment intime, mais en déclarant que, jusqu'ici, aucun des faits invoqués ne me paraît démontrer cette influence. J'ajouterai que les anciens courants diluviens qui ont ouvert les vallées d'érosion, et dont la masse énorme devrait être moins gênée par les obstacles, se sont comportés, en général, de la même manière que les rivières actuelles, qu'il n'en sont que les restes bien affaiblis. C'est ce que démontre, jusqu'à la dernière évidence, la forme des vallées qui leur servaient de lit.

**Ouverture et formation des vallées d'érosion.** — Les érosions contemporaines n'ont, en effet, qu'une importance infiniment petite, relativement à celles qui ont creusé les vallées, et qui sont demeurées longtemps un des problèmes les plus intéressants et les plus obscurs de la géologie. Comme ces phénomènes ont apparu au début de l'époque actuelle, qu'ils inaugurent en quelque sorte, j'aime mieux les exposer à cette place que de les décrire avec les phénomènes anciens, auxquels on pourrait tout aussi bien les rattacher.

Autrefois les vallées d'érosion n'existaient pas, ou du moins on n'en voit aucune trace entre les assises des anciens terrains de sédiment. En d'autres termes, et si j'osais m'exprimer ainsi, on ne connaît pas de vallées fossiles. Ce fait important, s'il n'est pas démenti plus tard, prouve que les anciens fleuves, dont il ne reste également pas de traces, n'ont point été alimentés par des eaux pluviales d'une abondance exceptionnelle. Il est bien entendu que je ne parle ici que des vallées d'érosion, et nullement des vallées orographiques, qui ont existé à toutes les époques. Comment les premières ont-elles été creusées ?

**Une vallée d'érosion n'est qu'une grande ravine.** — Rappelons d'abord que la forme générale d'une vallée d'érosion est exactement celle du lit d'un cours d'eau, ou encore mieux d'une de ces ravines qui s'ouvrent dans les terrains meubles, à la suite des averses et des pluies d'orage. La seule différence, c'est qu'une rivière, parcourant une vallée d'érosion assez large, dont le fond est rempli d'alluvions meubles étalées de niveau, serpente dans ces alluvions et décrit beaucoup plus de sinuosités que la vallée elle-même. Mais il est facile de voir que les circuits de la rivière actuelle, comparés à sa largeur et à sa profondeur, ont à peu près la même importance que les détours de la vallée comparés aux dimensions de celle-ci. En d'autres termes, les ondulations du cours d'eau sont moins étendues et plus multipliées que celles de la vallée, parce que le cours d'eau lui-même est infiniment plus réduit que l'ancien torrent qui a creusé cette vallée. Je ferai encore remarquer que, le plus souvent, la rivière actuelle ne se trouve pas dans les mêmes conditions que le courant auquel elle a succédé, celui-ci ayant ordinairement entamé des roches très-résistantes, calcaires ou granites, au lieu que la rivière circule presque toujours dans des terrains meubles, sables ou argiles. Ainsi s'expliquent les différences qu'on peut trouver çà et là.

**Les vallées d'érosion ont été creusées par des eaux courantes.** — Puisque les vallées d'érosion ressemblent absolument aux ravines et aux sillons creusés par les eaux courantes, il est naturel de leur attribuer la même origine, et d'admettre qu'elles ont été formées par d'anciens torrents, dont le volume était proportionnel à la dimension de ces vallées. C'est là, en effet, une excellente preuve, les mêmes résultats indiquant les mêmes causes. Cependant, en considérant l'énorme masse des eaux qui ont dû circuler à la fois sur tout le globe pour produire les érosions,

nombre de géologues, véritablement effrayés, ont préféré des conceptions au moins bizarres et invraisemblables à l'hypothèse la plus simple et la plus rationnelle. On enseigne encore aujourd'hui que les vallées d'érosion ont été creusées par le déplacement des océans. Mais si la masse des eaux diluviennes étouffe l'imagination, est-ce une raison pour en nier l'existence ? Je continue donc, sans me préoccuper en ce moment du problème relatif à l'origine de ces eaux.

A la preuve empruntée à la ressemblance entre les vallées d'érosion et les ravines creusées par les eaux courantes, vient s'ajouter une considération négative tirée du manque absolu de tout indice d'actions marines. Les alluvions charriées par les courants diluviens qui ont creusé les vallées sont largement dispersées dans ces vallées et sur les plateaux qui les séparent. Or, elles ne renferment aucune trace de débris marins, et elles abondent en vestiges d'animaux terrestres et fluviatiles. D'un autre côté, une invasion subite et générale des océans sur les terres fermes aurait laissé des marques qu'on ne rencontre nulle part, et cette irruption des mers, d'ailleurs purement hypothétique, est démentie par la géologie. En effet, on a pu retrouver, au moins sur les continents actuels, les emplacements des anciens rivages, et l'on sait qu'à l'époque où se creusaient les vallées, les terres et les mers avaient, à très-peu de chose près, leur configuration actuelle. Je puis donc prouver l'intervention des eaux courantes par leurs effets, et l'on ne peut fournir le moindre indice en faveur de l'action des eaux marines. Il semble qu'entre les deux hypothèses l'hésitation ne soit pas permise. Voici cependant encore d'autres preuves :

1° Les vallées et les ravines d'érosion, grandes ou petites, existent partout, au moins en Europe ; elles se rencontrent sur tous les terrains, à tous les niveaux, de façon qu'il est à peu près impossible de parcourir un espace de quelques kilomètres sans en traverser plusieurs. De même, les points d'origine, les sources de ces vallées, si l'on pouvait ainsi s'exprimer, se remarquent sur tous les points élevés du sol, de manière qu'on tracerait difficilement quelque part un carré de 2 ou 3 kilomètres de côté qui n'en renfermât au moins une. Les eaux qui ont creusé ces vallées et ces sillons ont dû, par conséquent, intervenir à la fois sur toute la surface des terres émergées.

2° Puisque tous ces sillons, toutes ces vallées, commencent dans les lieux les plus élevés et les plus rapprochés des parties culmi-

nantes des plateaux et des montagnes, et que leurs points d'origine se trouvent constamment à l'extérieur, et par conséquent au-dessus de la couche où s'opère la circulation souterraine des eaux qui alimentent les sources, on doit conclure que les eaux qui ont ouvert les érosions ne proviennent ni des sources ni d'infiltrations.

3° Elles ne proviennent pas non plus de glaciers; car s'il est vrai qu'un certain nombre de vallées ont un glacier à leur origine, la plupart commencent à des niveaux où les glaciers n'ont jamais paru.

4° L'immense extension des phénomènes d'érosion et leur manifestation à tous les niveaux excluent l'idée de les attribuer à des déplacements de grands amas d'eau douce, tels que lacs, mers intérieures, etc., qui n'ont d'ailleurs pas laissé plus de traces que les prétendues invasions des océans. Ces lacs auraient dû exister par milliers sur tous les lieux élevés et sur les extrêmes sommets des montagnes; ils auraient dû se déverser à une même époque, autrement on n'expliquerait pas la direction des sillons et des ravines d'érosion, qui rayonnent toujours autour des lieux élevés, et qui, évidemment, ont été creusés par des eaux courantes s'écoulant longtemps dans la même direction.

5° A plus forte raison, l'hypothèse d'une inondation générale recouvrant tous les continents jusque sur les plus hauts sommets est-elle inadmissible.

6° Une immersion complète des terres fermes sous les eaux marines, suivie d'une brusque émergence, expliquerait peut-être certains faits. Mais une pareille supposition ne peut s'appuyer sur aucune preuve, et se trouverait en désaccord avec toutes les données de l'orographie et de la géologie.

7° On ne peut admettre davantage l'hypothèse du refoulement des mers sur les continents par suite de mouvements orographiques lointains, car il n'existe aucun indice en sa faveur. L'effet d'une semblable irruption aurait été de ravager et de démanteler horizontalement les terres fermes, de produire, en un mot, le phénomène qui sera décrit dans la suite sous le nom d'*ablation*, et nullement de creuser les vallées d'érosion.

**Ces eaux proviennent de pluies.** — Puisque les eaux qui ont donné naissance aux érosions ont dû intervenir, à un même moment, sur toute la surface du sol émergé (au moins en Europe); qu'elles ne proviennent ni de sources ni de glaciers, et que les hypothèses de déplacements de lacs, d'inondation générale, d'im-

mersion et d'émergence de continents, de refoulement et d'invasion des mers, ne sauraient être admises, ces eaux ont leur origine dans l'atmosphère. Ce sont, par conséquent, des eaux pluviales. Ajouterai-je que ces pluies, qu'on pourrait appeler *diluviennes*, avaient une abondance et une continuité proportionnelles à leurs effets, et qu'elles dépassaient de beaucoup en intensité les plus fortes pluies tropicales actuelles?

**Mode d'action des eaux diluviennes.**— Voici maintenant comment on peut se rendre compte du creusement des vallées. Les eaux diluviennes formaient, dans le principe, des nappes torrentielles qui irradiaient autour des lieux élevés, et se précipitaient vers les mers en inondant les lieux bas et en suivant toujours les dépressions, les déclivités ou les ruptures du sol préexistantes. Peu à peu la direction des courants se dessinait plus nettement, au fur et à mesure que se creusait leur lit. La profondeur de l'érosion augmentant, sa largeur, d'abord considérable, se réduisait graduellement, en même temps que la diminution de l'intensité des pluies amenait peu à peu l'état de choses actuel. Alimentées seulement par des chutes d'eau modérées, nos rivières ne remplissent plus qu'une partie infiniment petite de leurs vallées, dont le plus grand nombre même reste continuellement à sec, et constitue les vallées sèches dont il a été question précédemment. Hutton avait raison de dire que chaque vallée d'érosion a été creusée par le cours d'eau qui l'arrose. On doit ajouter que la direction de toutes les vallées a été déterminée par des accidents topographiques antérieurs. Il n'est pas du tout nécessaire de supposer, comme on l'a fait récemment, que les vallées d'érosion ont été formées à la suite d'un brusque soulèvement des rivages et des terres fermes, ayant produit, à l'embouchure des cours d'eau, des cascades et des rapides, qui auraient creusé peu à peu les vallées en reculant à la manière des chutes du Niagara. Une semblable opération aurait exigé une longueur de temps hors de proportion avec la durée probable de l'époque diluvienne; en outre, cet exhaussement, dont on serait fort embarrassé de fournir la preuve directe, pourrait, au plus, produire un effet utile dans les terrains de sédiment où les couches demeurent horizontales, mais n'expliqueraient en aucune façon l'ouverture des vallées dans les terrains massifs ou à stratification tourmentée.

**Preuves du retrait des eaux diluviennes.**— Les preuves du retrait des eaux diluviennes abondent : il suffit d'étudier avec quelque attention les terrasses d'érosion des bassins de la Somme,

du Doubs, de la Vienne, de la Charente, etc., et les terrasses d'alluvion de la Garonne à Toulouse et du Rhin à Bâle, pour reconnaître que le volume des anciens cours d'eau a constamment décréu, et qu'ils ont occupé des espaces de plus en plus restreints dans leurs anciens lits. La diminution du volume des eaux du bassin Aralo-caspien démontre la même chose.

Le retrait des eaux diluviennes s'est opéré par saccades, la disposition en vastes gradins des terrasses de la plupart des vallées, notamment de celles de la Somme et de la Garonne, indiquant de brusques et de subites diminutions dans le volume des eaux. Les conclusions à tirer de ces indices se trouvent confirmées, comme on le verra bientôt, par le retrait également saccadé des anciens glaciers. Le dernier retrait, et le plus considérable de tous, est celui qui a fait succéder le régime contemporain au régime diluvien, et à la suite duquel les rivières, qui s'étendaient sur leurs alluvions, d'un bord à l'autre des vallées, ont été renfermées sans transition dans leur lit actuel, dont la section n'est souvent pas le millième de celle de leur ancien lit.

**Diluvium.** — L'hypothèse des pluies diluviennes explique seule la provenance et le charriage des dépôts meubles, composés d'argiles, de sables et de cailloux roulés, connus en géologie sous le nom de *diluvium*, et qui se rattachent aux alluvions actuelles des rivières. Ces dépôts constituent des assises grossièrement enchevêtrées ou incomplètement stratifiées, dans lesquelles les sables, les argiles et les galets roulés alternent ou se mêlent suivant les circonstances. Ils emplissent le fond des vallées d'érosion, et recouvrent d'un épais manteau les dépressions de tous les plateaux dans lesquels ces dernières ont été creusées. Les matériaux qui les composent proviennent toujours des montagnes ou des massifs élevés autour desquels ont rayonné les érosions. Ils sont d'autant plus abondants que le sol de ces massifs était plus décomposable. Ainsi, le diluvium formé aux dépens des roches détritiques des Vosges ou du Plateau central recouvre de vastes surfaces, tandis que celui qui provient des montagnes du Jura, où dominent les calcaires compactes et résistants, comble à peine le fond des vallées. Ces matériaux sont d'autant plus volumineux et d'autant moins émoussés, qu'on se rapproche davantage de leur lieu d'origine. Ainsi, dans le Plateau central de la France, les blocs et les cailloux roulés font presque défaut ; mais à mesure qu'on s'éloigne du Limousin pour se diriger à l'ouest vers Poitiers ou au sud vers Périgueux, on voit, pla-

cardées sur les collines, des couches épaisses de sables et de cailloux granitiques, d'abord presque anguleux et d'un grand format, puis de plus en plus usés et arrondis, et diminuant peu à peu de volume ; et l'on arrive par tous les degrés aux menus cailloux, aux sables et aux limons des contrées voisines de l'Océan. Les tranchées du chemin de fer de Limoges à Périgueux montrent tous ces passages. Partout on peut suivre pas à pas la trace des matériaux diluviens, et remonter de proche en proche à leur lieu d'origine. On détermine ainsi la provenance et la direction des nappes et des torrents qui les ont charriés, et l'on a trouvé qu'ils descendent tous des montagnes et des massifs culminants.

Notre hypothèse explique encore la disposition, les alternances et les superpositions des diverses espèces de dépôts diluviens, qui changeaient de nature en raison de la variation du régime des pluies, des moments d'arrêt ou de recrudescence dans l'extension des glaciers, de la provenance et de la direction des torrents qui venaient successivement déposer leur charriages au même lieu. Elle montre pourquoi les matériaux les plus meubles occupent généralement la partie supérieure des dépôts diluviens et leurs bords extrêmes ; elle explique encore le remplissage des cavernes. Quel que soit, en effet, le niveau de ces excavations, il est clair que les matériaux diluviens pouvaient s'y introduire, au fur et à mesure que le creusement progressif de la vallée, où elles étaient situées, en mettait les orifices à découvert. L'entrée de toutes les cavernes s'est donc trouvée au niveau des charriages diluviens, à commencer par les plus élevées. Je suis heureux de voir que ces derniers faits, que j'ai signalés le premier, si je ne me trompe, se trouvent absolument confirmés par les découvertes des géologues. Des observations récentes témoignent que les cavernes de certaines vallées (Ariège, Vézère, etc.) renferment des débris fossiles d'autant plus anciens qu'elles se trouvent situées à un niveau plus élevé. On voit en outre, clairement, qu'elles ont été hantées par les animaux ou habitées par l'homme au fur et à mesure que l'approfondissement graduel de la vallée en mettait les entrées à la lumière, et, dans certains cas, permettait à ces cavernes de s'agrandir et de se remplir de limons. Ces phénomènes ont été accomplis sous les yeux de l'homme ; pendant leur durée, beaucoup d'animaux, tels que le rhinocéros, le mammoth, l'ours et le lion des cavernes, le grand cerf des tourbières, ont disparu de la surface du globe ; d'autres, comme le renne, l'élan, le bœuf musqué, ont émigré

vers les régions boréales ; tous ont été peu à peu remplacés par les animaux actuels. Ces faits démontrent, de la manière la plus évidente, que le creusement des vallées s'est effectué de haut en bas, ce qui, d'ailleurs, n'a jamais fait l'objet d'un doute. Une conclusion beaucoup plus importante en ressort également : c'est que l'opération a duré bien des siècles, puisque la faune a pu se modifier aussi profondément. Il n'y a donc que des torrents alimentés par des pluies d'une intensité extraordinaire, et coulant dans le même sens pendant des milliers d'années, qui aient pu ainsi creuser et approfondir graduellement les vallées ; toute théorie faisant intervenir des phénomènes de courte durée, tel que déversement de grands lacs, raz de marée, déplacement des lacs, doit être absolument écartée.

**Les pluies diluviennes prouvées par l'ancienne extension des glaciers.** — Enfin, notre hypothèse rend parfaitement compte de tous les phénomènes glaciaires.

Nous avons vu, en effet, que pour qu'un glacier se forme et s'étende, il faut et il suffit que son alimentation par les neiges l'emporte sur ses pertes par la fusion. Si, les conditions de température restant les mêmes, les glaciers des Alpes recevaient cinq ou six fois plus de neige, il est évident que leur volume s'accroîtrait en proportion, et qu'ils envahiraient les basses vallées, où la chaleur les arrête. Nous pouvons de même imaginer qu'il tombe chaque hiver, sur les Vosges et le Jura, une telle quantité de neige, que la chaleur de l'été n'en puisse faire disparaître qu'une faible partie : dans ce cas, nous verrions renaître les glaciers qui ont pendant si longtemps recouvert ces montagnes. Or, on a reconnu que le creusement des vallées a précédé quelque peu la prodigieuse extension des glaciers dont j'ai parlé précédemment, et que ces deux ordres de phénomènes, après avoir longtemps coexisté, se sont rapprochés graduellement, et par saccades, de l'état de chose actuel. Comme aux débuts de l'époque glaciaire la température du globe était au moins aussi basse que de nos jours, sinon davantage, il est impossible de se refuser à admettre que les torrents de pluie, cause première des érosions, ne retombassent à l'état de neige sur les montagnes. Telle est donc la cause de l'énorme extension des glaciers. A peine est-il nécessaire de supposer un abaissement de température, qui paraît cependant indiqué par la présence bien constatée dans l'Europe centrale et jusque dans le midi de la France, à l'époque glaciaire, du renne, du

glouton, du bœuf musqué et d'autres animaux aujourd'hui relégués dans les contrées polaires. Mais ce refroidissement n'a-t-il pas été seulement la conséquence de l'extension des glaciers? Ne voyons-nous pas ceux de la Nouvelle-Zélande descendre jusqu'au niveau où croissent les palmiers, grâce à l'extrême humidité du climat; et l'ancienne existence dans le midi de l'Europe des animaux du Nord, dont plusieurs habitaient encore les forêts de la Gaule indépendante et de la Germanie, est-elle une preuve sans réplique d'un abaissement extraordinaire de la température du globe? Quoi qu'il en soit, après leur période d'extension, les glaciers opérèrent leur retrait par saccades, de la même manière que les cours d'eau. Les preuves de ces intermittences et de ces temps d'arrêt abondent dans le pourtour des montagnes, par exemple dans les vallées des Vosges, et notamment à Giromagny, où l'on observe un grand nombre de moraines frontales, quelquefois distantes de plusieurs kilomètres. Évidemment ces moraines ont été formées les unes après les autres pendant le recul du glacier, qui demeurait stationnaire durant le temps assez long que chacune d'elles mettait à se constituer. Pour les glaciers comme pour les eaux courantes, le régime actuel a été brusquement inauguré, la moraine la plus engagée dans les montagnes, et par conséquent la dernière formée des glaciers des Vosges, se trouvant ordinairement éloignée de plusieurs lieues des cirques d'alimentation. Pour simplifier cette exposition, j'ai supposé qu'il n'y a eu qu'une seule époque glaciaire, quoique les géologues en admettent plusieurs; mais je me réserve de traiter plus explicitement cette question à une autre place.

**Concordance entre les phénomènes diluviens et les phénomènes glaciaires.** — Si je ne m'abuse, il y a donc la concordance la plus parfaite, je dirai la plus surprenante, entre les phénomènes diluviens et les phénomènes glaciaires. L'hypothèse des pluies diluviennes, auxquelles je les attribue les unes et les autres, satisfait à toutes les exigences, donne raison de toutes les difficultés. Elle me paraît donc réunir toutes les conditions nécessaires pour obtenir droit de cité dans la science; et je me plais à espérer qu'elle sera un jour universellement adoptée, quoique la cause première de ces pluies diluviennes ne soit peut-être pas encore très-nettement indiquée. Mais est-il bien nécessaire de la connaître si nous en voyons les effets; et l'existence des pluies diluviennes n'est-elle pas démontrée par les résultats mêmes qu'elles ont produits? Ce qui est difficile à comprendre, ce n'est pas la réalité de ces eaux, mais bien l'énergie de leur action

sur les roches dures. Je dois me borner à cet exposé sommaire, car il y aurait encore à donner bien des explications qui ne peuvent entrer dans le cadre de cet ouvrage. Aussi renverrai-je le lecteur, pour les détails, aux travaux de MM. Agassiz, Tyndall, Collomb, Martins, Lecoq, et même à mes propres publications, et me hâterai-je de reprendre la description, un moment interrompue, des phénomènes produits par les eaux courantes.

2° *Alluvions*. — On les appelle encore *atterrissements*. C'est la contre-partie des érosions. Elles consistent en accumulations incohérentes ou grossièrement stratifiées des matériaux enlevés par l'action érosive des eaux fluviales, puis abandonnés et déposés dans les lieux où la force du courant devient impuissante pour les entraîner plus loin. On admet que la force de translation augmente comme le carré de la vitesse : c'est donc pendant les crues que se forment surtout les alluvions. La distance à laquelle les matériaux des atterrissements sont entraînés dépend de la rapidité du courant, de leur poids, de leur forme et de leur volume. On a reconnu qu'une vitesse de 75 millimètres par seconde entraîne seulement l'argile fine, qu'il faut 15 centimètres par seconde pour entraîner le sable fin, 30 centimètres pour le gravier fin, 90 centimètres pour des cailloux de la grosseur d'un œuf, et ainsi de suite. Quelle devait être la rapidité des eaux de la débacle de 1818, qui déplacèrent de plus d'un kilomètre, dans la vallée de Bagnes, des blocs granitiques de 60 pas de circonférence !

Les eaux courantes opèrent donc un triage naturel des matériaux. Aussi remarque-t-on, dans les alluvions actuelles aussi bien que dans le diluvium, que les gros blocs sont abandonnés dans la partie supérieure du cours, les cailloux dans la partie moyenne, les sables fins et les argiles dans la partie inférieure. Les cailloux du Pô ne vont pas au delà de Plaisance ; ceux du Gange s'arrêtent à 80 milles du delta et à 400 milles de la mer. Cependant le triage n'est jamais bien minutieux ; et si les matériaux d'un certain poids et d'un certain volume ne peuvent franchir une limite déterminée, en revanche, dans toutes les régions supérieures des fleuves, les vases et les sables se trouvent mêlés aux galets. Il n'en peut être autrement, puisque, dans chaque crue, les troubles formés par les vases et les sables fins en suspension se déposent, en dernier lieu, sur toute l'étendue du lit des cours d'eau.

**Formation des galets, des sables et des boues.** — Les matériaux des alluvions dont la grosseur dépasse celle d'un grain de

sable, sont toujours usés et arrondis par les frottements qu'ils éprouvent durant leur translation. Les arêtes s'émousent, les aspérités s'effacent, et les morceaux les plus anguleux et les plus irréguliers se trouvent peu à peu transformés en *galets* ou *cailloux roulés*, tandis que les parties enlevées par le frottement, ainsi que les menus matériaux, s'atténuent en *sables* et en *boues*. La trituration que subissent les galets pendant leur charriage a souvent pour effet de détruire complètement les moins résistants. C'est ainsi que M. Ch. DesMoulin explique l'absence ou la rareté, dans le cours inférieur de la Dordogne, des cailloux calcaires, assez fréquents dans le cours supérieur et dans le cours moyen.

**Blocs charriés, etc.** — On trouve quelquefois çà et là, au milieu des galets roulés, des blocs anguleux ou à peine émoussés, que leur grosseur et leur dureté a préservés de la corrosion. Souvent ils proviennent des régions supérieures du bassin, où ils ont été accidentellement saisis dans les glaces, qui les transportent comme un radeau pendant la débacle du printemps. Les fleuves des régions boréales charrient ainsi beaucoup de débris. Dans le Mississipi, des arbres énormes, arrachés aux rivages pendant les débordements, retiennent, dans leurs racines, du sable et des pierres qu'ils déposent plus loin. Souvent ils enchevêtrent leurs branches de manière à constituer des radeaux naturels fort étendus, qui entraînent quelquefois des animaux dont les ossements seront tôt ou tard enfouis sous la vase. En même temps, les bois s'accumulent à l'embouchure du fleuve, se recouvrent de sable et de limon et se changent peu à peu en lignites. Ces alluvions entraînent donc et enfouissent les êtres organisés, animaux et végétaux, aussi bien que les blocs et les matières inertes, et préparent ainsi des fossiles pour l'avenir.

**Disposition des alluvions.** — La plupart des torrents des Alpes qui se précipitent d'une pente rapide accumulent, à leur embouchure dans une vallée, et dès qu'ils rencontrent un terrain aplani, un *cône de déjection* s'étendant à plusieurs kilomètres, comme un immense éventail bombé au milieu, et descendant en pente douce et uniforme. Dans le lit des rivières qui coulent sur un terrain horizontal ou peu élevé, l'entassement et la disposition des alluvions s'opère sans aucun ordre et suivant les caprices des crues. Les atterrissements s'établissent en un point pour être ensuite enlevés et transportés ailleurs. Néanmoins, dans tous les contours, ils sont rejetés sur la rive convexe, où ils se disposent en pente douce en empiétant sur le fleuve. On peut les fixer au moyen du *colmatage*, en

établissant, du côté où on veut les attirer, des barrages transversaux qui s'arrêtent vers le milieu de la rivière, et entre lesquels s'accumulent les alluvions. La moitié libre devient ainsi plus profonde et plus rapide. Ce procédé est appliqué en grand le long du Volga, dont il facilite beaucoup la navigation. Dans les crues extraordinaires, les alluvions se trouvent quelquefois amoncelées sur certains points, de manière à former des *terrasses* qui dominent ensuite les eaux moyennes du fleuve. On en remarque sur les bords du Rhône, au-dessous de Lyon, et sur les bords du Rhin, à Bâle et à Saint-Louis, où elles sont très-bien caractérisées. Un effet des alluvions, c'est l'ensablement des bras et des canaux latéraux des fleuves, surtout dans les deltas, et la formation d'îles et de bas-fonds. Quand les rivières sont endiguées, le fond de leur lit s'élève quelquefois beaucoup dans les régions inférieures du parcours, alors que la vitesse devient insuffisante pour entraîner plus loin les sables et les vases. C'est ainsi que, près de Ferrare, le lit du Pô s'est exhaussé de 2<sup>m</sup>,30 depuis deux siècles, de manière, assure-t-on, que ses eaux roulent à un niveau supérieur à celui du toit de certaines maisons. D'après M. Thomassy, le Mississipi s'exhausse sans être endigué, ses alluvions se portant naturellement sur ses deux rives. Il se déverse çà et là pour former des étangs et des bras latéraux appelés *bayous* : ceux-ci, à leur tour, donnent naissance à des bayous de second ordre ; de sorte qu'à une grande distance du fleuve toute la contrée est entrecoupée d'un inextricable réseau de marécages et de canaux latéraux plus ou moins ensablés (fig. 59).

**Ancienne importance des alluvions.** — Autrefois les phénomènes d'alluvion avaient une importance plus grande que de nos jours. Leurs vestiges les plus anciens sont précisément ces immenses dépôts diluviens déjà mentionnés. L'action alluviale, de même que l'action érosive, a donc débuté avec une violence extrême pour se ralentir ensuite. Ce n'est plus, en effet, que dans des débâcles tout à fait extraordinaires que sont transportés, de nos jours, les blocs de quelque volume ; et les grands ensablements des crues ne sont presque rien en comparaison du revêtement général des terres fermes par les dépôts diluviens. Au contraire, les actions qui restent à décrire, et dans lesquelles les eaux courantes sont aidées par les eaux marines, caractérisent plus particulièrement l'époque actuelle.

3° *Deltas.* — La plupart des fleuves se jettent dans la mer par

une seule embouchure; mais on en connaît aussi qui se divisent en plusieurs branches. Celles-ci s'écartent les unes des autres, à la manière des doigts d'une patte d'oie, et circonscrivent entre elles et la mer un terrain plat, ayant la forme d'un triangle dont la première bifurcation du fleuve serait le sommet, et dont le littoral serait la base. Cet espace de terrain est appelé *delta*, parce que sa forme ressemble à celle de la lettre grecque de même nom.

Les deltas sont édifiés par les alluvions des fleuves; ils consistent presque exclusivement en amas de vases et de sables fins, les maté-

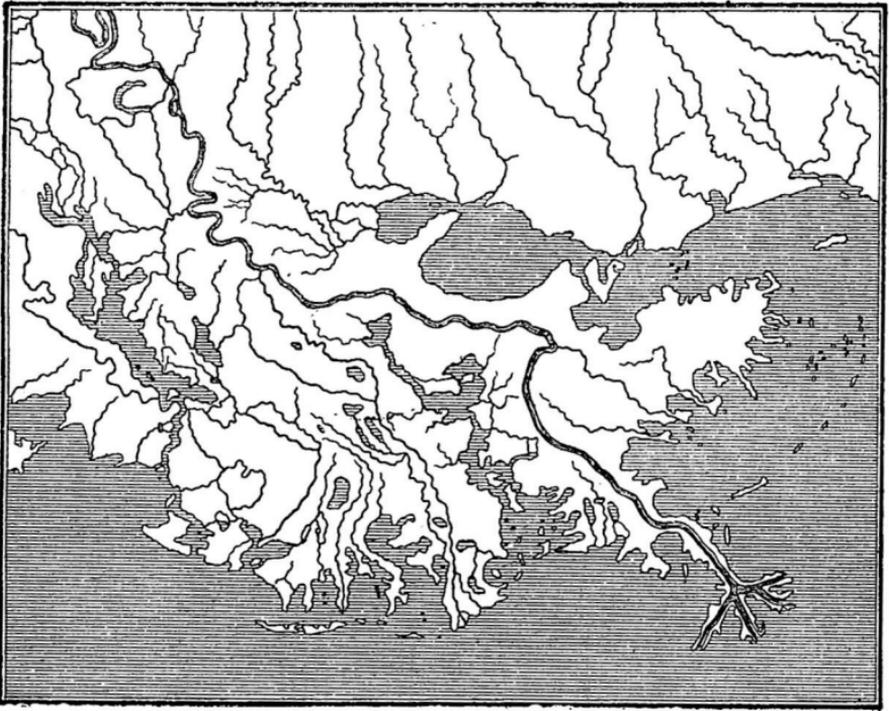


Fig. 59. — Embouchures du Mississippi.

riaux plus volumineux ayant été déposés dans les régions supérieures. Souvent ils sont entrecoupés de marais et d'étangs. Ils ne peuvent se former que sur des surfaces presque horizontales, où le courant se trouve suffisamment ralenti pour abandonner ses alluvions. Au contraire, si la pente est rapide, le courant transporte les sables et les limons dont il est chargé jusque dans la pleine mer, et il ne se forme pas de delta, mais bien un golfe profond, tel que celui du Saint-Laurent ou de la Tamise. L'établissement d'un delta est encore favorisé par la faible pente des rivages. Dans ce cas, en effet, les alluvions empiètent plus rapidement sur le domaine des eaux. Si

les marées n'existent pas ou ne se font que faiblement sentir, le delta se constitue plus facilement que dans les cas où une grande différence de niveau entre la marée haute et la marée basse détermine, au moment du reflux, un courant rapide du fleuve, qui entraîne alors ses alluvions dans la mer. Aussi les deltas se rencontrent-ils principalement le long des mers fermées : tels sont ceux du Rhône, du Pô, du Danube, du Volga, de l'Oural, du Nil, on peut même dire du Mississipi, les marées étant extrêmement faibles dans le golfe du Mexique. Le Gange seul fait exception, et cependant son delta est le plus vaste du globe. Un courant marin qui se dirigerait sur la côte aiderait à la constitution d'un delta, en refoulant les alluvions le long du bord ; mais s'il court parallèlement au rivage, il empêche ou ralentit le développement du delta, en transportant au loin les atterrissements. C'est ainsi que les dépôts de l'Amazone sont rejetés jusque sur les côtes de la Guyane, où ils forment des plages basses, marécageuses, bientôt envahies et fixées par les palétuviers. On pourrait les appeler des *deltas à distance*. Une barrière de récifs parallèles à la côte empêche les troubles des fleuves de s'éparpiller dans la mer, et favorise l'établissement des deltas. L'intervention de l'homme aboutit quelquefois au même résultat. En effet, l'endiguement des rivières en concentre le courant, en accroît la rapidité, et, par conséquent, augmente la quantité des matières meubles charriées jusqu'à l'embouchure. Tandis que le delta du Nil, dont les eaux sont répandues, autant que possible, dans des canaux, pour les besoins de l'agriculture, demeure presque stationnaire, celui du Pô, qui ne progressait guère que de 25 mètres par an jusqu'au xvi<sup>e</sup> siècle, s'est avancé de 70 mètres chaque année à partir du moment où le fleuve a été endigué.

**Constitution d'un delta.** — Un delta s'établit ordinairement à la suite de l'ensablement du lit inférieur d'un cours d'eau. Il se forme alors un canal latéral, qui ne rejoint plus le fleuve dans le cas où la bifurcation s'est opérée près de la mer, et le delta se trouve constitué. Les deux branches ainsi divergentes peuvent se diviser, se subdiviser à leur tour ou se rejoindre et s'anastomoser, de manière que certains deltas, celui du Gange, par exemple, consistent en un immense réseau dans lequel il est fort difficile de se diriger. La complication devient plus grande dans le cas où deux fleuves comme le Gange et le Bramapoutre viennent confondre leurs eaux et leurs deltas. D'ailleurs les branches changent souvent d'emplacement, parce que les unes s'ensablent pendant qu'il s'en ouvre de nouvelles.

Autrefois le courant principal du Rhône se portait sur la droite de son delta, et maintenant il emprunte, au contraire, la branche de gauche; de façon que l'ancien lit appelé Rhône mort est comblé, et que la branche de droite, le petit Rhône actuel, a beaucoup moins d'importance que la branche gauche, qui a usurpé le nom de grand Rhône. Quelquefois les branches d'un delta s'obstruent sans être remplacées : tel est le cas pour le delta du Nil qui, de sept branches, se trouve réduit à deux, la branche de Rosette et celle de Damiette. Les deltas s'accroissent incessamment à leur base, empiétant sur la mer par l'entassement des alluvions. Mais en même temps, ils perdent du terrain en arrière par l'obstruction de leurs anciennes branches, de sorte que leur sommet, aussi bien que leur base, se transporte du côté de la mer, et que le delta chemine dans son ensemble. Autrefois à Héliopolis, le sommet du delta du Nil se trouve actuellement à 12 kilomètres plus bas, à la suite de l'ensablement des anciennes branches de Péluse et de Canope. La rapidité du déplacement d'un delta dépend d'ailleurs de la quantité des matériaux charriés. Le Nil, qui déverse ses eaux et leurs troubles dans des canaux d'irrigation, avance au plus son delta de 4 mètres par an. Il est vrai que ses alluvions sont en partie enlevées par un courant parallèle à la côte, qui les transporte plus à l'est. Le delta du Rhône progresse à raison de 50 à 60 mètres. Nous avons vu que celui du Pô empiète annuellement de 70 mètres sur l'Adriatique, peu profonde en cet endroit. Le vaste delta du Mississipi gagne chaque année 250 mètres. Le delta du Gange et du Bramapoutre s'accroît aussi fort rapidement, malgré la profondeur de la mer et la grande amplitude des marées; mais ces fleuves, alimentés par des pluies d'une abondance exceptionnelle, charrient dans leurs crues une énorme masse de sables et de limons.

**Exhaussement des branches des deltas.** — Souvent les deltas sont entrecoupés de lagunes et d'étangs, dont le niveau est ordinairement inférieur à celui des eaux du fleuve, qui finit par s'élever quelque peu au-dessus de la plaine environnante. Cet effet est produit par une sorte d'endiguement naturel, provenant de ce que les alluvions sont portées contre les deux bords, pendant les crues, aussi bien dans les branches du delta que dans le lit supérieur du fleuve. Le delta du Mississipi en offre l'exemple le mieux caractérisé, toutes ses branches, tous ses bayous du premier et même du deuxième ordre s'élevant un peu au-dessus du niveau général de la contrée.

**Les deltas peuvent servir à estimer la durée géologique. —**

Les deltas peuvent servir de chronomètres pour estimer la durée géologique. En effet, dès que leur progression annuelle est bien déterminée, on peut calculer approximativement le temps qu'ils ont employé à cheminer de leur point d'origine jusqu'au lieu où ils se trouvent actuellement. Quelquefois on peut compter les couches de limon qui se forment chaque année. On peut aussi, connaissant le régime des eaux du fleuve, la quantité de troubles contenue dans chaque mètre cube et le volume des alluvions d'un delta, supputer le nombre d'années que celui-ci a mis à se constituer. C'est par ce dernier procédé que M. Lyell assigne 67 000 ans au delta du Mississipi. Mais sans vouloir d'ailleurs critiquer ce résultat, je ne saurais trop tenir en garde le lecteur contre la croyance à l'exactitude de pareilles appréciations, que leurs auteurs ne présentent d'ailleurs que pour ce qu'elles valent réellement. Les saisons ne marchent pas comme un chronomètre, et rien n'est plus capricieux que le régime des eaux de la plupart des fleuves. Il est difficile, sinon tout à fait impossible de cuber exactement un delta, la profondeur des alluvions qui le constituent étant inconnue et variant suivant les lieux. On ne peut non plus faire la part de ce qui est emporté et démoli par les tempêtes extraordinaires. Une vague de translation lancée sur un rivage par quelque mouvement lointain du sol enlèverait de grandes étendues de dépôts meubles, sans que rien pût le faire soupçonner quelques années ou quelques siècles plus tard. Enfin un delta chemine d'autant plus lentement, dans son ensemble, qu'il est plus ancien et que sa base s'est élargie davantage. Toutes ces considérations et beaucoup d'autres encore doivent nous tenir en garde contre les chiffres au moyen desquels on essaye de représenter la durée des époques géologiques, surtout quand ils sont donnés comme précis et absolus.

4° *Estuaires*. — Ce sont, comme je l'ai dit plus haut, des golfes étroits, des lagunes marécageuses formées à l'embouchure d'un fleuve par l'accumulation des eaux derrière un barrage élevé par les vagues, qui refoulent et disposent en une espèce de rempart les sables du rivage et les sédiments charriés par le cours d'eau. Quelquefois plusieurs rivières aboutissent au même estuaire. Comme exemples, on peut citer la mer putride formée par la Don à son embouchure, et le *liman* du Dniéper et du Bug près de Kherson. Les eaux des estuaires sont généralement saumâtres, et les animaux qui les habitent, mollusques et autres, appartiennent à des types marins

et à des types d'eau douce. Ils sont enfouis pêle-mêle, comme dans les alluvions et les deltas, avec des cadavres d'animaux terrestres et des débris végétaux terrestres et marins ; et leurs parties solides, protégées par les sables et les vases, se minéralisent quelquefois et préparent des fossiles pour les géologues des époques futures.

5° *Barres*. — Ce sont des ensablements parallèles au rivage, qui s'établissent à peu de distance en mer ou même dans l'embouchure d'un fleuve, dont ils barrent plus ou moins l'entrée, ainsi que le nom l'indique. Les barres sont formées par les alluvions charriées par le fleuve, auxquelles se joignent ordinairement les sables et les galets du rivage ; elles s'élèvent sous la double influence du courant, qui les pousse en avant, et des vagues, qui les refoulent en arrière. Aussi leur emplacement change-t-il souvent, de même que leur hauteur, leur largeur, la situation et la profondeur des *passes* ou interruptions qui permettent aux navires de les franchir, et qui se modifient à chaque coup de mer, à chaque débordement. Tantôt les barres s'élèvent au-dessus des basses eaux, tantôt elles se maintiennent au-dessous. Un exemple souvent mentionné est la barre de l'Adour, en tout temps indiquée par l'immense demi-cercle d'écume projetée par les vagues à la rencontre du courant. Beaucoup moins apparente à cause de l'absence de marées dans la Baltique, la barre de la Vindau peut être citée comme une des plus mobiles et des plus instables, le moindre coup de vent modifiant beaucoup la disposition de ses ensablements. Les barres ensevelissent pêle-mêle les débris des animaux marins et des animaux terrestres, et constituent, pour l'avenir, des terrains fluvio-marins.

**Action générale des eaux courantes.** — Si, maintenant, nous considérons dans leur ensemble les diverses actions des eaux courantes, nous reconnaitrons qu'elles n'ont qu'une faible importance, et qu'elles ne changeront jamais, d'une manière appréciable, le relief actuel du globe. En effet, les érosions, qui possédaient autrefois une extrême énergie, et qui ont donné aux terres fermes leur dernier modelé, ne produisent plus de nos jours que des ravines ou des affouillements à peu près insignifiants. De même les alluvions actuelles se réduisent à bien peu de chose. De même encore les deltas, les estuaires et les barres ont un accroissement fort lent. En supposant que l'état des choses se prolonge indéfiniment, il faudrait donc une suite incalculable de siècles pour que la surface des terres fermes se trouvât sensiblement accrue. Cordier a reconnu que s'il tombe, en moyenne, un mètre d'eau pluviale, et

que si le tiers de cette eau arrive à la mer avec des troubles dans la proportion de  $1/500$ , ce n'est qu'au bout de 6000 ans que la masse du dépôt étendu sur les continents et les îles formerait une couche de 2 mètres d'épaisseur. Or les données de ce calcul ont été à dessein exagérées. Les alluvions de gros sable et de galets sont encore moins importantes. On peut dire, en résumé, que l'action des eaux courantes est comparable à celle de l'atmosphère, en ce sens qu'elle a plutôt pour effet de combler les dépressions, de reculer les rivages, de fermer les golfes, de diminuer les reliefs, que d'augmenter les inégalités de la surface du globe.

**EAUX LACUSTRES.** — Sous ce titre je désigne les eaux des lacs, des étangs, et, en général, tous les amas superficiels d'eaux douces qui n'obéissent à aucun courant. Ces amas constituent deux catégories : les *lacs sans écoulement*, tels que le Tchad et les lacs du Thibet, qui ne communiquent à aucune mer, et les *lacs à écoulement*, tels que les grands lacs des États-Unis et de la Russie, qui communiquent avec les océans par l'intermédiaire d'une rivière. Ces derniers forment la grande majorité. Ce sont, à proprement parler, des dilata-tions extraordinaires des fleuves ; mais leur niveau se maintient à peu près constant, parce que les débordements de leurs affluents peuvent s'étaler sur une vaste surface, en même temps que l'excédant s'écoule par le canal qui sert de débouché. Au contraire, les lacs de la première catégorie forment des bassins fermés, de véritables mers intérieures, dont le niveau, plus ou moins stable, résulte de l'équilibre qui s'établit entre l'alimentation par la pluie et les affluents, d'une part, et les pertes par l'évaporation, d'autre part.

**Mouvements des eaux lacustres.** — Les uns et les autres se comportent, à certains égards, comme les mers fermées, de sorte qu'il n'y a rien à dire de bien particulier sur leur hydrographie. Tous les phénomènes provenant du mouvement des eaux qui se manifestent dans les mers se produisent aussi sur les lacs, mais avec une intensité proportionnelle à l'étendue de ces derniers. Comme les océans, les lacs ont leurs courants, leurs vagues, leurs tempêtes, leurs îles et même leurs dunes et leurs deltas, le tout sur une échelle bien réduite. Cependant, quoique les vagues du lac Supérieur, le plus grand du monde, ne dépassent jamais une hauteur de 1 mètre 30 centimètres, la navigation lacustre ne laisse pas d'avoir ses périls : à tort ou à raison de Humboldt affirmait qu'il aimerait mieux essayer une tempête en pleine mer que sur le

lac de Genève. Je ne m'arrêterai pas ici à énumérer les actions dynamiques des eaux lacustres, parce que leur description ferait double emploi avec ce qui sera bientôt dit des mêmes actions produites par les eaux marines. Par un semblable motif, j'ajournerai la description des érosions et de la destruction des rivages, des ensablements, de la formation des cordons littoraux, etc., et j'aborderai immédiatement l'étude de la *sédimentation* dans les lacs.

**Sédimentation lacustre; terrains lacustres.** — On appelle ainsi le dépôt dans le fond des lacs des troubles, des limons, des sables, des cailloux, en un mot de tous les matériaux qui sont entraînés dans leurs eaux depuis l'extérieur, ou qui y sont injectés depuis l'intérieur du globe par les sources minérales. Ces dépôts s'étalent et se nivellent, se tassent peu à peu, augmentent en épaisseur par la superposition incessante de nouvelles couches, durcissent plus ou moins avec le temps et se transforment en véritables roches stratifiées dont l'ensemble constitue les *terrains* ou *formations lacustres*. Ces terrains, qui présentent en petit les caractères physiques des formations marines, consistent donc en couches ou strates parallèles, ordinairement minces, régulières, de structure compacte ou feuilletée, de texture variable, mais généralement moins résistante, plus lâche et plus poreuse que celle des roches d'origine marine. Ce sont d'ailleurs des vases, des argiles, des marnes, des calcaires, des sables, des grès et même des poudingues et des conglomérats plus ou moins purs, plus ou moins mélangés de substances étrangères. Quoique la plupart de ces termes soient fort usités, je dirai cependant que les *grès* ne sont que des sables agglutinés par un ciment, le plus souvent siliceux, et transformés en pierre dure; que les *poudingues* sont des grès à gros éléments dont les grains de sables seraient représentés par des cailloux roulés, et que les *conglomérats* ou *brèches* sont des poudingues dans lesquels les cailloux ont conservé leur forme anguleuse primitive.

**Stratification des terrains lacustres.** — La stratification, c'est-à-dire la disposition des couches et des lits superposés, est ordinairement nette et distincte dans les terrains lacustres. Quoique les bancs se trouvent en contact immédiat, ils sont toujours séparés par de véritables solutions de continuité permettant de les isoler facilement les uns des autres dans les fouilles et dans les carrières. L'adhérence est toujours moindre aux plans de démarcation, qui se trahissent habituellement par une différence de couleur, ou par l'in-

terposition d'un mince feuillet d'une autre roche. En effet, chaque lit est le produit d'une crue différente ; et pendant l'intervalle qui s'écoule entre deux débordements consécutifs, la surface des sédiments charriés et étalés dans le fond du lac reste exposée sans protection à l'influence des eaux, se salit par les matières organiques et les débris de toute espèce qui se précipitent accidentellement dans le fond, et même se durcit tant que subsiste l'arrêt de la sédimentation. En supposant que le lit qui vient ensuite recouvrir le précédent soit de même nature, il s'en distingue toujours cependant par des caractères physiques particuliers, au moins à la surface de contact. Le nombre des lits indique le nombre des crues, et si celles-ci n'arrivent qu'une fois par an, on pourra déterminer l'ancienneté d'un terrain de la même manière qu'on reconnaît l'âge d'un arbre dicotylédoné.

**Sédimentation mécanique et sédimentation chimique.** — Les matériaux stratifiés par la sédimentation lacustre proviennent, avons-nous dit, soit de transport et de charriage par les eaux courantes, soit d'injections par les eaux minérales. En général, les premiers donnent naissance aux couches de vases, d'argiles, de sables et de conglomérats, et les seconds aux calcaires et aux couches ferrugineuses. Les unes ont été formées par voie de *sédimentation mécanique* et les autres par voie de *sédimentation chimique*. Tel est, du moins, le langage adopté par les géologues. Nous verrons que les mêmes phénomènes se produisent dans les océans. On remarque souvent des alternances, dans un terrain lacustre ou marin, entre les produits des deux sédimentations, quoique la première soit la seule qui se manifeste de nos jours dans la plupart des lacs. En général, les matériaux charriés par les rivières s'accumulent principalement dans le voisinage de leur embouchure, et le rivage empiète peu à peu sur les eaux, comme celui des deltas. C'est ainsi que la localité de Port-Valais, autrefois sur le bord du Léman, en est aujourd'hui à plusieurs kilomètres; d'après M. Lyell, l'intervalle a été comblé par le Rhône en huit siècles. On distingue d'ailleurs très-bien, à l'embouchure du fleuve, les troubles laiteux qu'il entraîne, et qui forment comme un nuage épais aux contours ondulés se séparant très-nettement des eaux limpides du lac. Au contraire, les matériaux injectés par les sources calcarifères, toujours très-fins et très-divisés, tendent davantage à s'étaler sur tout le fond, et forment des couches en général plus égales, plus homogènes et plus continues. Quelle que soit d'ailleurs leur origine, les

terrains lacustres renferment les débris des animaux et des végétaux terrestres et aquatiques entraînés dans les eaux.

**Ancienne importance de la sédimentation lacustre.** — La sédimentation lacustre actuelle n'est qu'un faible reflet de celle des temps passés. A l'époque où se formait la houille, les sables, les boues, les cailloux charriés par les eaux s'entassaient dans les bassins en puissantes assises, qui se sont transformées, avec le temps, en massifs de roches très-dures, de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. Plus tard, les lacs du Jura, de la Limagne, des environs de Paris et d'une foule d'autres lieux se remplissaient de calcaires et de gypses injectés des profondeurs du sol. Que sont aujourd'hui, en comparaison, les ensablements si lents des rivages de quelques lacs, dont le fond ne change pour ainsi dire en aucune manière? D'un autre côté, les exemples de sédimentation chimique deviennent extrêmement rares à notre époque. Au nombre des plus remarquables on cite le lac de Bakie-Loch, en Écosse, où se forme un calcaire marneux dont l'épaisseur atteint quelques mètres au plus. Mais si faibles qu'ils soient, les phénomènes actuels de sédimentation nous mettent sur la voie des phénomènes anciens. Nous prenons, en quelque sorte, la nature sur le fait; nous voyons comment elle procède, et l'origine de la partie sédimentaire de l'écorce du globe cesse d'être pour nous un mystère.

**EAUX MARINES.** — Les phénomènes contemporains auxquels elles donnent naissance consistent en *mouvements* particuliers produisant les vagues, les marées, les courants, etc., puis en *érosions*, en *atterrissements* et en *sédimentations*. Ils seront décrits sous les titres suivants :

1° *Vagues.* — Soulevées par le vent, les vagues sont des crêtes ou collines liquides fort allongées, qui fuient en s'élevant de plus en plus, jusqu'à ce que leur arête retombe en avant comme une cascade, et que la vague tout entière s'affaisse en une longue ligne d'écume. Assez inclinée du côté du vent, la pente des vagues est plus abrupte dans le sens opposé. Les crêtes et les sillons mobiles recouvrant une mer agitée restent toujours parallèles entre eux, et s'avancent presque toujours contre le rivage parallèlement à ses contours. Les vagues sont d'ailleurs animées de deux mouvements : l'un horizontal de translation, et l'autre vertical d'élévation. Quand elles se heurtent contre un obstacle, falaise, rocher ou talus de rempart, elles s'élancent en gerbes immenses dans les airs; au contraire, en pleine mer, leur hauteur se maintient dans des limites assez mo-

dérées, même au milieu des plus fortes tempêtes. Rien de plus variable d'ailleurs que les appréciations qu'on a données de l'amplitude des vagues. Les mesures directes sont très-difficiles à relever, et l'on doit faire la part de l'exagération dont il n'est pas aisé de se préserver en pareille circonstance. Pendant une longue campagne de circumnavigation, les officiers de la *Vénus* n'ont pas vu de vagues dépasser la hauteur de 7 mètres 50 centimètres. De son côté, M. Coupvent-Desbois leur assigne les dimensions suivantes :

	m.		m.
Par une mer unie . . . . .	0,6	Par une grande houle . . . .	3,3
Par une belle mer . . . . .	1	Par une très-grande houle . .	5,7
Par une petite houle . . . .	1,5	Par une grosse mer . . . . .	6,3
Par la houle . . . . .	2,3	Par une très-grosse mer . . .	8,7

Quoi qu'il se présente souvent des vagues ou lames d'une hauteur exceptionnelle, peut-être doit-on accueillir avec défiance certains récits où il est question de vagues de 15, de 18 et même de 33 mètres en pleine mer. La longueur maximum des vagues ne dépasse pas 500 mètres. On signale les parages du cap Horn et du cap Bonne-Espérance, et, sur les côtes de l'Europe, le golfe de Gascogne, comme des régions où les vagues atteignent une grande élévation. Dans les mers fermées et la Méditerranée les vagues ont moins de hauteur, mais elles se succèdent plus rapidement et n'en sont pas moins dangereuses. Dans tous les cas leur dimension est proportionnelle à l'amplitude du bassin et à la force du vent. L'agitation produite par les vagues reste d'ailleurs près de la surface; elle diminue rapidement avec la profondeur et cesse complètement à quelques centaines de mètres. Elle ne s'étend pas au delà de 40 mètres dans la rade d'Alger, et au delà de 188 mètres dans la baie de Saint-Paul à l'île Bourbon. Cependant, d'après M. Weber, elle peut aller jusqu'à 350 mètres dans des localités et des circonstances exceptionnelles. Les mouvements communiqués aux eaux de la mer par les vagues de translation et surtout par les courants s'étendent à plus de 1000 mètres, et l'existence d'êtres organisés à une profondeur quatre ou cinq fois plus grande, témoigne des déplacements moléculaires incessants. Il faut donc modifier beaucoup l'ancienne doctrine de l'immobilité absolue des eaux marines à partir de 500 à 600 mètres; et peut-être n'existe-t-il pas un seul point, même aux plus grandes profondeurs, où les eaux soient absolument stationnaires.

**Action des vagues.** — Au point de vue des phénomènes actuels

et de leur influence sur la configuration des terres fermes, l'action des vagues est certainement la plus importante de toutes celles des eaux marines. Ce sont les vagues qui rongent les côtes, qui démolissent les falaises, qui roulent et accumulent les galets, qui ensablent les golfes, qui ferment les estuaires, qui élèvent les bas-fonds et les cordons littoraux, enfin qui aident à la formation des deltas. Toutes ces actions ont été ou seront décrites à leur place.

2° *Flots de fond, raz-de-marée, etc.* — On appelle ainsi une vague d'une amplitude exceptionnelle, produite par une impulsion lointaine qui se transmet à la mer de proche en proche, et qui en élève subitement le niveau quand il se présente un de ces brusques exhaussements du fond nommés *accores*, si fréquents le long de certaines côtes. En franchissant l'accore, le flot se gonfle et se transforme en une vague énorme, qui continue son chemin jusqu'au rivage voisin, sur lequel elle déferle avec fureur en produisant un de ces *raz-de-marée* si redoutés dans les Antilles. Ce sont des invasions de la mer aussi subites qu'imprévues ; elles peuvent arriver par le temps le plus calme, la tempête qui en est la cause première ayant éclaté souvent à des distances considérables. M. Becchey estime qu'il se produit dans l'Océan Pacifique méridional des flots de fond provenant de plus de 2000 kilomètres. D'après M. Emy, les flots de fond soulèvent quelquefois jusqu'à 50 mètres au-dessus du niveau de la mer des masses d'eau de 3000 mètres cubes. Quand elles se précipitent contre des promontoires, ces énormes lames forment de véritables cascades ascendantes. On cite, dans l'archipel des Mariannes, un rocher appelé la femme de Loth, dont le sommet, qui s'élève à 114 mètres au-dessus de la mer est quelquefois balayé par les eaux.

3° *Vagues de translation.* — Ce sont des lames énormes qui se produisent à la suite d'un tremblement de terre exhaussant subitement un rivage. Brusquement refoulées, les eaux s'élèvent en longues ondulations, qui traversent rapidement tout un océan pour inonder les plages opposées, où elles occasionnent des désastres d'autant plus grands qu'on s'attendait moins à leur invasion. Le point de départ le plus fréquent des vagues de translation c'est la côte occidentale de l'Amérique du Sud, où les tremblements de terre sont communs. Elles franchissent en quelques heures l'océan Pacifique, et se précipitent sur les îles et le continent de l'Océanie. On peut en citer un exemple assez récent. A la suite du tremblement de

terre de 1868 qui accumula tant de ruines dans la région située à l'ouest des Andes, la première vague de translation partie du rivage d'Arica, le 13 août, à 5 heures 35 minutes, immédiatement après la première secousse, arriva le lendemain sur les côtes des îles Chaham et de la Nouvelle-Zélande. Elle fut, en effet, signalée le 15, à 4 heures 45 minutes du matin, à Port Lyttelton (ou le 14 à 12 heures 32 minutes du soir en temps d'Arica), après avoir traversé, d'après les calculs de M. Hochstetter, un espace de 6120 milles marins en 19 heures, avec une vitesse de 322 milles à l'heure ou de 510 pieds anglais à la seconde. Un calcul analogue assigne une vitesse de 214 milles à l'heure aux vagues de translation produites par le célèbre tremblement de terre qui renversa Lisbonne en 1755, et de 360 milles aux vagues produites par celui qui ravagea la contrée de Simoda, dans le Japon, en 1854. La vague du tremblement de terre de Lisbonne s'éleva à 18 mètres à Cadix, éprouva plusieurs oscillations à Tanger, et se propagea jusque dans l'archipel de Madère et sur les côtes de l'Irlande. M. Pissés évalue à 20 ou 25 mètres la hauteur probable de la vague du 13 août 1868 qui se répandit jusqu'à 5 ou 6 kilomètres dans les terres entre Arica et Islay.

**Effets actuels des raz-de-marée et des vagues de translation.**

— Les effets des raz-de-marée et des vagues de translation sont les mêmes que ceux des vagues ordinaires, surtout en ce qui concerne les érosions et la destruction des rivages. Mais, pour avoir plus de violence et d'énergie, ces phénomènes exceptionnels sont loin de produire des résultats comparables à ceux qui proviennent de l'action plus faible mais incessante des vagues. C'est donc ici le cas de répéter avec le fabuliste :

Patience et longueur de temps  
Font plus que force ni que rage.

**Leurs effets aux époques antérieures.** — Ces divers effets se sont produits à toutes les époques et se trahissent, dans les périodes anciennes, par les énormes masses de galets et de débris qui constituent la plupart des assises des premiers terrains de sédiment. Mais les mouvements incessants d'exhaussement et d'affaissement de l'écorce solide, en modifiant à chaque instant les contours des terres fermes, ont fait disparaître les anciennes lignes littorales en même temps que leurs érosions et leurs ensablements. De même que les dunes et les deltas, les phénomènes de toute nature produits par les vagues et les mouvements analogues des eaux de la mer

n'ont laissé de traces reconnaissables qu'à partir de l'époque actuelle, qu'ils servent à caractériser.

4° *Marées*. — Sous l'influence de l'attraction de la lune, les océans se soulèvent du côté de cet astre et du côté opposé, en formant deux ménisques saillants au-dessus de la surface des mers. Situés aux extrémités d'un même diamètre, ces deux renflements circulent autour de la planète en suivant le mouvement apparent de la lune, c'est-à-dire de l'est à l'ouest, et leur révolution s'opère en 24 heures 50 minutes environ. Cela veut dire qu'il s'écoule en moyenne 12 heures 25 minutes entre deux hautes mers consécutives. On appelle *haute mer*, ou *flux*, ou *flot*, ou simplement *marée*, l'exhaussement produit par le passage de l'un des ménisques, et *basse mer* ou *reflux*, la dépression qui se manifeste entre deux marées. Le reflux ne correspond pas exactement au milieu de l'intervalle de deux pleines mers, parce que les eaux s'abaissent plus promptement qu'elles ne s'élèvent. L'*amplitude* des marées est la différence de niveau entre les hautes et les basses mers; elle dépend des effets combinés de l'attraction solaire et de l'attraction lunaire, la première étant environ trois fois moindre. Pendant les syzygies les deux attractions s'ajoutent, et pendant les quadratures elles se retranchent. Il en résulte que les marées de syzygies sont plus fortes que celles des quadratures, et que les marées de syzygies qui arrivent à l'époque des équinoxes sont les plus fortes de toutes. On les appelle *grandes marées*.

**Variations dans l'amplitude des marées.** — L'amplitude des marées varie en raison d'une foule de circonstances. Si l'Océan recouvrait tout le globe il se produirait deux ménisques réguliers, qui s'élèveraient peu à peu jusqu'à l'équateur, où ils atteindraient leur plus grand relief. Tel était sans doute l'état des choses au moment où se constituèrent les mers. Mais on comprend que la régularité de l'exhaussement des eaux soit contrariée par la disposition des terres fermes, îles et continents, sur lesquelles viennent butter les ménisques. Tantôt le flot est retardé, tantôt il se trouve accéléré. Peu considérable dans le milieu des océans, la hauteur des marées augmente beaucoup quand les eaux sont refoulées dans des golfes ou des détroits. La direction des courants, la pression barométrique, la force et la durée des vents exercent aussi une grande influence sur les marées, de telle sorte qu'il est impossible d'en prédire exactement l'amplitude dans un moment donné. Rien de plus inégal, par conséquent, que la hauteur des marées sur les divers

points du globe, même à des distances extrêmement rapprochées : Le tableau suivant en fournit la preuve :

	m.		m.
Acapulco. . . . .	0,32	Dunkerque . . . . .	2,68
Antilles. . . . .	0,40	Cherbourg. . . . .	2,82
Rio-Janeiro. . . . .	0,52	Calais. . . . .	3,12
Valparaiso. . . . .	0,79	Brest . . . . .	3,21
Cap de Bonne-Es-		Le Havre. . . . .	3,57
pérance. . . . .	0,85	Boulogne. . . . .	3,96
Monterey. . . . .	0,98	Dieppe. . . . .	4,40
Bayonne . . . . .	1,40	Londres. . . . .	4,58
Bordeaux. . . . .	2,35	Saint-Malo. . . . .	5,68

Les marées atteignent quelquefois 11 mètres dans le canal de Bristol ; elles s'élèvent, dit-on, jusqu'à 14 mètres dans le détroit de Magellan, et jusqu'à 24 mètres dans la baie de Fundy, sur les côtes de la Nouvelle-Écosse.

Les méditerranées, les mers fermées et les grands lacs sont, en général, privés de marées ; car il ne faut pas considérer comme telles les *seiches* du lac de Genève, qui se produisent à des époques irrégulières et dans des conditions peut-être encore mal connues. Cependant il existe des marées dans la mer Rouge ; on en signale à Naples de 15 à 20 centimètres, et à Venise, au fond de l'Adriatique, le dénivèlement s'élève jusqu'à 1<sup>m</sup>,66.

**Actions des marées.** — Les actions des marées sur les terres fermes sont de même nature que celles des vagues.

5° *Mascaret*. — On désigne ainsi une grande vague qui se forme à l'embouchure d'un cours d'eau, pendant une forte marée, et qui remonte rapidement en barrant le fleuve dans toute sa largeur. Aussi l'appelle-t-on *barre* dans le pays de la basse Seine. Sur la Dordogne, c'est le *mascaret* ; sur le Gange, c'est le *bore* ; sur l'Amazone, c'est le *pororoca*. Le spectacle est des plus grandioses. La vague, haute et menaçante, se dresse comme une muraille, et s'avance avec grand fracas en produisant des remous énormes qui attaquent les rives et font chavirer les embarcations. La différence de niveau, qui dépasse 1 mètre dans la Seine, atteint près de 2 mètres dans le Gange à Calcutta. Sur l'Amazone, il se forme une vague de 4 à 5 mètres de hauteur, suivie de trois ou quatre autres, et le bruit s'entend à deux lieues de distance. Cependant le phénomène n'est pas toujours en rapport avec la masse des eaux, la barre de la Seine s'élevant plus que celle de la Gironde. On l'observe quelquefois, dans des cir-

constances analogues, sur les plages basses et peu profondes, par exemple au mont Saint-Michel. La vague s'avance de 25 lieues dans le Gange et de 200 dans l'Amazone. Après M. Scott Roussel, Babinet explique le phénomène en disant que la vitesse du flot se trouve ralentie dans des eaux peu profondes, de sorte que les vagues se rejoignent et s'entassent en quelque façon, de manière à ne plus former qu'une seule masse. Ce qui donne à cette explication beaucoup de vraisemblance, c'est que le mascaret diminue de hauteur et même s'efface complètement dès qu'il traverse des eaux plus profondes.

6° *Courants*. — On ne saurait mieux les définir qu'en disant, avec de Humboldt, que ce sont des fleuves marins circulant au milieu d'eaux tranquilles qui en forment les rives. L'ensemble des océans consiste donc en régions jouissant d'un repos absolu, abstraction faite de l'agitation superficielle des vagues, et en régions dont les eaux se déplacent par un mouvement continu de progression dans un sens déterminé. Les courants sont superficiels ou profonds, et quelquefois deux courants superposés se croisent ou même cheminent dans des directions contraires. Ainsi à Canavéral, près de la côte des États-Unis, un courant polaire descend vers le sud à la surface, et au-dessous de lui le Gulf-Stream entraîne au nord-ouest les eaux du golfe du Mexique. On a de même signalé à l'entrée de la Baltique et de la Méditerranée un courant superficiel et un courant profond dirigés en sens opposés.

**Vitesse des courants.** — La *vitesse* des courants dépasse en général celle des fleuves. Dans les hautes mers, elle se maintient entre 3 et 4 kilomètres à l'heure, mais elle peut augmenter beaucoup au milieu des détroits. Dans celui de Bahama, la vitesse du Gulf-Stream, estimée en moyenne à un peu plus de 6 kilomètres à l'heure, atteint 9 kilomètres; celle du courant du raz d'Aurigny, entre cette île et la côte de France, varie de 12 à 15 kilomètres à l'heure, et le courant du canal de Bristol peut franchir, assure-t-on, 20 et même 25 kilomètres dans le même espace de temps.

**Volume des eaux du Gulf-Stream.** — On comprend qu'il soit assez difficile de mesurer le *volume* des eaux d'un courant; néanmoins M. James Croll attribue au Gulf-Stream, à sa sortie du golfe du Mexique, une largeur de 80 kilomètres sur une profondeur de 305 mètres.

**Direction des courants.** — Rien de plus variable également que la *direction* ou l'orientation des courants dans les mers du globe,

ainsi que les causes de cette orientation et du mouvement des eaux marines. On voit cependant prédominer de beaucoup deux directions : celle des pôles à l'équateur, et celle de l'est à l'ouest. On explique la première par un échange incessant entre les eaux des mers tropicales et celles des mers polaires. Cet échange est favorisé par l'activité de l'évaporation dans la zone torride, qui tend à abaisser le niveau des eaux, et par la fonte des glaciers polaires, qui tend au contraire à l'exhausser. C'est sans doute dans cette dernière circonstance que les courants polaires se trouvent superposés aux courants équatoriaux, dont l'eau est plus dense quoique plus chaude, parce qu'elle est plus salée. Les courants polaires, en général superficiels, sont accompagnés de *contre-courants*, en général profonds. On explique la direction est-ouest par la propagation des marées dans le même sens, par l'influence des vents alizés et par celle de la rotation de la terre, qui fait dévier vers l'ouest les courants des pôles. Quoi qu'il en soit, les eaux circulent autour du globe de l'est à l'ouest, et ce grand courant paraît alimenté, à la superficie, par les eaux polaires qui le rejoignent sur presque tout son trajet. Quand l'Océan recouvrait la surface entière de la planète, les déplacements s'opéraient sans doute régulièrement, et correspondaient aux mouvements généraux de l'atmosphère. Mais au fur et à mesure que surgirent les terres fermes, les courants dévièrent en raison de l'étendue et de la direction des obstacles qui venaient les intercepter; et de nos jours, les continents qui se trouvent sur leur trajet les détournent de la direction primitive, et les ramènent quelquefois vers leur point de départ.

**Courants divers.** — Comparables aux vents alizés, les courants dont il vient d'être question sont appelés *généraux* ou *constants*, parce qu'ils circulent sur tout le globe sans jamais se ralentir ou s'interrompre. On connaît encore des *courants périodiques*, soumis à l'influence des saisons. Ils alternent suivant la direction des vents auxquels ils doivent leur origine : tels sont les courants produits par les moussons dans la mer des Indes. Ceux qui ont reçu le nom de *temporaires* peuvent se manifester à chaque instant, dans tous les lieux et dans toutes les orientations; ils persistent tant que durent les vents irréguliers qui leur donnent naissance. Il existe enfin des *courants de communication*, qui s'établissent entre deux mers situées à des niveaux un peu différents, et des courants *fluvio-marins*, produits par l'écoulement des grands fleuves dans la mer. Comme exemple des premiers on peut citer le courant des Belt et

et du Cattégat, par lesquels la Baltique se déverse dans la mer du Nord ; les courants du Bosphore et des Dardanelles par lesquels la mer Noire se déverse dans la mer de Marmara et celle-ci dans la Méditerranée, et le courant du détroit de Gibraltar, qui introduit les eaux de l'Océan dans la Méditerranée, et qui se propage le long des côtes de l'Afrique jusqu'au delà du delta du Nil. Je dois ajouter que M. Carpenter a récemment signalé, à l'entrée de la Méditerranée et de la Baltique, des contre-courants profonds dirigés en sens inverse des courants superficiels, et qu'il en attribue la cause à la différence de densité des eaux océaniques et de celles des deux mers intérieures. Les courants fluvio-marins ne peuvent exister qu'à l'embouchure des grands fleuves, tels que le Mississipi, l'Orénoque et l'Amazone ; leur importance est proportionnelle à la masse des eaux déversées. Celui du fleuve des Amazones s'étend à plus de 100 lieues en mer, et l'on peut recueillir de l'eau douce à une grande distance du rivage.

**Trajets des courants constants.** — Décrivons le trajet des courants constants, et disons d'abord, d'une manière générale, que les eaux du pôle austral affluent à l'équateur sur tout le pourtour du globe, tandis que les eaux du pôle boréal ne peuvent se déverser que par les détroits. Leurs principaux débouchés sont en effet les parages de l'Islande entre le Groenland et la Norvège, ou plus exactement entre le Groenland et le Gulf-Stream, puis le détroit de Davis entre l'Amérique anglaise et le Groenland. Transportons-nous maintenant sur la côte ouest de l'Amérique méridionale. Le courant de Humboldt, qui arrive du pôle sud, baigne les rivages du Chili et du Pérou, dont il abaisse la température. Il se joint, au delà de l'équateur, au grand courant équinoxial, qui traverse dans toute sa largeur l'Océan Pacifique en passant, pour la plus grande partie, au sud de la ligne. Ce courant envoie au sud-ouest une branche qui contourne la Nouvelle-Zélande, et une autre au nord-ouest qui s'élargit ensuite et remonte directement vers le nord après avoir touché la Nouvelle-Guinée. Intermédiaire entre ces deux branches, le courant principal passe entre la Nouvelle-Guinée et l'Océanie, et s'engage dans les détroits qui séparent les îles de la Sonde. Il émet bientôt une nouvelle branche, qui contourne l'île de Bornéo, et se dirige au nord-est le long des côtes de la Chine et du Japon. Ce rameau reçoit la première branche droite qui s'est détachée du grand courant équinoxial ; et leurs eaux confondues se portent ensuite à l'est, puis au sud-est, puis au sud, embrassant toute la moitié septentrionale du

grand Océan de leur immense circuit, et rejoignant le courant équatorial à la hauteur de la Californie, après avoir baigné les côtes occidentales de l'Amérique du Nord. Dans le centre existe une vaste région calme, la *mer des Sargasses* du grand Océan. Si nous rejoignons ensuite le courant principal à sa sortie de l'archipel de la Sonde, nous le voyons continuer son chemin vers l'ouest et s'élargir dans la mer des Indes, où il abandonne un rameau qui se dirige au sud-ouest au large de Madagascar. Il passe ensuite entre cette île et la côte d'Afrique, contourne le cap de Bonne-Espérance, et se dirige brusquement au nord, puis à l'est en suivant la courbure du continent africain. A la hauteur de la côte de Guinée, il traverse l'Océan Atlantique, se porte au nord-ouest et pénètre dans le golfe du Mexique, après avoir jeté au sud un rameau qui se détache vers le cap Saint-Roque. A sa sortie du golfe du Mexique, le courant du golfe ou Gulf-Stream, car il est désormais connu sous ce nom, traverse l'Océan Atlantique du sud-ouest au nord-est, pour venir baigner les côtes occidentales de l'Europe, dont il élève la température. Une partie de ses eaux retourne dans les mers équatoriales, en décrivant un circuit qui les porte au large du Portugal et du Maroc. Comparable au grand courant circulaire de l'Océan Pacifique, le Gulf-Stream circonscrit entre l'Afrique et l'Amérique une autre *mer des Sargasses*, dont les eaux, privées de tout mouvement, disparaissent en quelque sorte sous d'immenses prairies d'herbes marines ou sargasses, qui entravent souvent la marche des navires. D'autres régions tranquilles existent dans la partie méridionale de l'Océan Atlantique, près de l'Afrique et près de l'Amérique, puis dans le sud-ouest de la mer des Indes (fig. 60).

**Influence et action des courants marins.** — Les courants marins exercent une très-grande influence sur la température des régions qu'ils parcourent, suivant qu'ils charrient de l'eau chaude ou de l'eau froide. On peut dire également que la distribution géographique des animaux marins et, jusqu'à un certain point, des animaux et des végétaux terrestres, se trouve actuellement en grande partie sous leur dépendance. Mais je n'insisterai pas à cet égard, me réservant de revenir sur le sujet. Nous avons vu quelle est l'influence des courants sur la constitution de certains dépôts fluvio-marins, les deltas par exemple. Les courants sont aussi de puissants agents de transport. Ceux des pôles charrient des radeaux de glace, qui disséminent dans les mers tempérées les échantillons des roches des contrées boréales. Les courants équatoriaux trans-

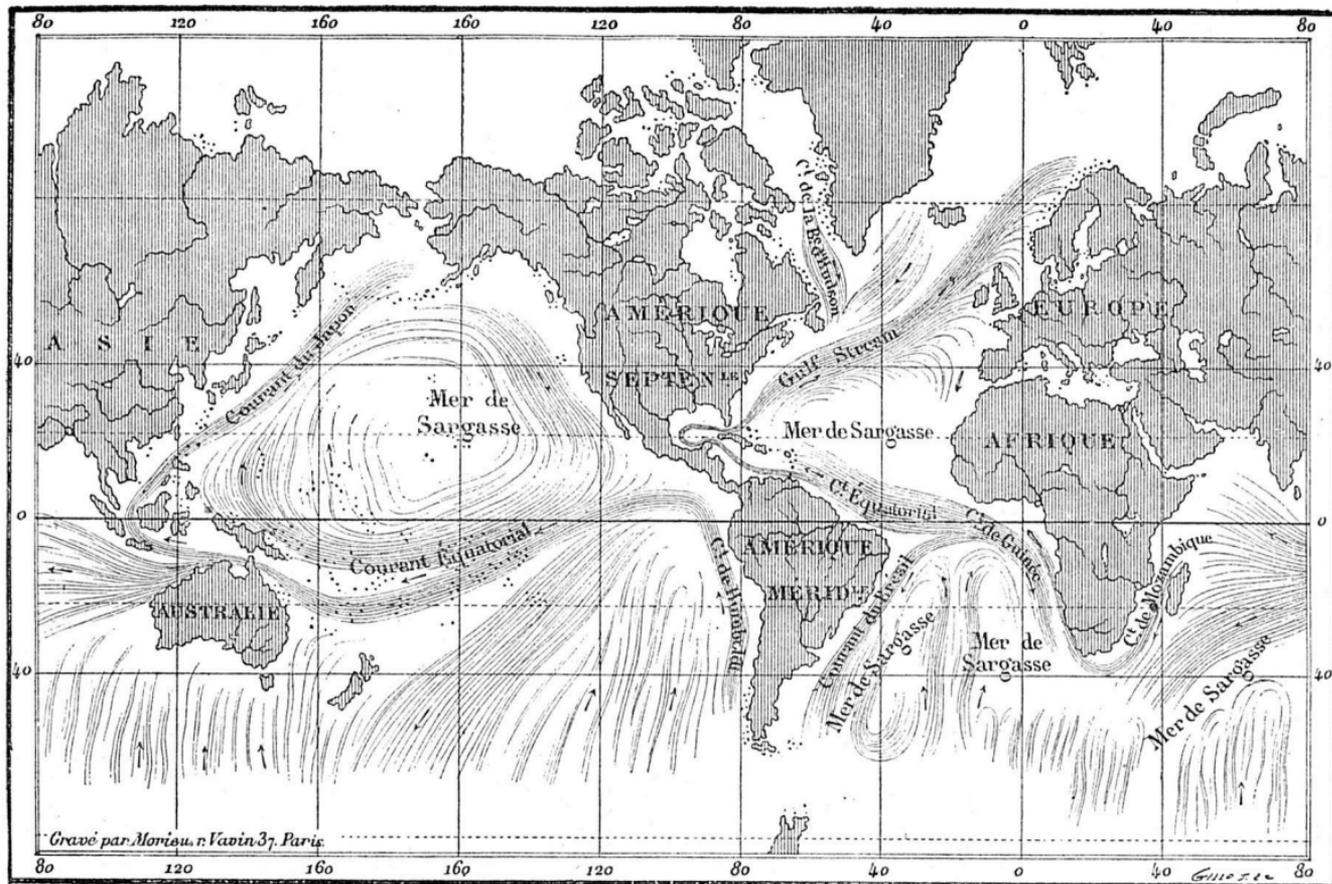


Fig. 60. — Courants marins, d'après Maury.

portent à de grandes distances les arbres, les graines, les débris d'animaux et en général tous les corps flottants que les fleuves entraînent dans la mer. C'est ainsi que le Gulf-Stream accumule sur quelques points des côtes de l'Islande de véritables dépôts de combustible, formés par l'entassement de troncs d'arbres charriés par le Mississipi dans le golfe du Mexique. Avec le temps ces végétaux se transformeront en lignites sous-marins. Ces diverses actions ont existé à toutes les époques ; mais il est impossible d'en indiquer la part exacte, si l'on veut remonter au delà de la période actuelle, car les terres fermes avaient une autre configuration, et les courants marins, d'autres directions. Aussi le géologue avisé renonce-t-il à faire intervenir les courants lorsqu'il cherche à expliquer certaines particularités embarrassantes concernant le gisement des fossiles. Il se trouve bien, également, de ne se prononcer qu'avec beaucoup de réserve sur l'origine et le gisement de certains amas de combustibles fossiles et sur la direction des cours d'eau auxquels on en doit peut-être l'accumulation, quand il est bien prouvé que ces dépôts ne se sont pas effectués sur place. Que de lacs, de fleuves et de courants n'ont eu d'existence que dans l'imagination de leurs inventeurs !

— Tout ce qui précède a rapport aux divers mouvements des eaux marines ; il reste à énumérer et à décrire les phénomènes auxquels donnent lieu ces mouvements. Ce sont les suivants :

1° *Érosions et destruction des rivages.* — Les courants, mais surtout les vagues et les marées, et, dans les circonstances exceptionnelles, les ras-de-marée et les vagues de translation, en un mot tous les mouvements des ondes attaquent et détruisent les rivages. Leur action est aidée par les blocs de rochers et les galets que les hautes mers précipitent contre les falaises. Il semble que rien ne puisse résister à la force des vagues, qui devient énorme pendant les tempêtes. En novembre 1824, et dans le même mois en 1829, des blocs de 2, de 5 et même de 7 tonnes furent arrachés à la jetée de Plymouth, et quelques-uns transportés à plus de 60 mètres. Le 11 janvier 1866, les blocs protecteurs de la digue de Cherbourg furent lancés du côté opposé. A la fin de mars 1863, je trouvai la digue de Port-Vendres presque détruite par une tempête qui avait eu lieu quelques semaines auparavant : d'énormes masses de béton et de maçonnerie étaient déplacées et bouleversées. On voit, par ce dernier exemple, que les vagues ne sont pas moins redoutables dans les méditerranées que dans les océans. Mais ces effets si désastreux ne

se produisent que le long des rivages, au niveau même de la mer. Leur intensité diminue rapidement avec la profondeur, les hauts-fonds en sont peu affectés, et à quelques dizaines de mètres l'agitation des plus fortes tempêtes demeure à peu près inoffensive.

**Résistance des diverses roches à l'action des eaux marines.**

— L'action des vagues se fait sentir sur les rivages en raison inverse de la ténacité et de la dureté des roches dont ils sont bordés. Les granites, les porphyres et les terrains massifs, en général, résistent énergiquement et paraissent indestructibles, quand ils ne sont pas attaqués d'ailleurs par la désagrégation spontanée. On cite au large de certaines plages des rochers appelés *vigies*, tels que le Diamant du port d'Alexandrie, dont les contours n'ont subi aucune modification depuis des siècles. Au contraire les roches meubles et peu résistantes, argiles, schistes, sables, calcaires fendillés, etc., sont attaquées avec la plus grande rapidité. La manière d'être physique du terrain et la disposition des strates aident ou empêchent l'action du flot suivant les circonstances. Un porphyre ou un basalte sera promptement détruit s'il est rempli de fissures, et pourra défier les vagues s'il est massif et compacte. Les falaises formées de couches horizontales ou inclinées en pente du côté des terres ne résistent pas aux coups de la mer, qui les ronge et les démolit par leur base. Si les assises inférieures consistent en sables ou en argiles détritiques, la destruction n'est que plus rapide. Un moment arrive toujours, en effet, où l'appui vient à manquer aux couches supérieures, qui finissent par se trouver fortement en surplomb. Alors il se produit un éboulement. Au contraire, si les couches sont verticales, et surtout si elles plongent du côté de la mer, elles résistent aux attaques des flots presque autant que les roches massives. La mer est à peu près sans action sur les rivages bas et peu inclinés, et même sur les plages sablonneuses, comme par exemple celles des Landes de Gascogne, du nord de la Prusse et de la Courlande.

**Conséquence des érosions marines.** — Les érosions littorales ainsi produites par les vagues ont pour conséquences principales le *recul des falaises*, l'*ouverture de grottes et de cavités* ; puis la transformation en *galets* ou cailloux roulés des fragments anguleux, et enfin la *pulvérisation* et l'*atténuation des roches*, qui se trouvent réduites, selon leur espèce, en sables ou en vases. Au nombre des falaises incessamment démolies par les vagues il faut indiquer celles de la Normandie, dont le recul est estimé, en moyenne, à 6 décimètres par an ; celles du sud de l'Angleterre, qui s'élèvent comme

de blanches murailles en face des falaises françaises, auxquelles elles se rattachaient autrefois; celles de Biarritz au vieux port, et celles de la Rochelle. Quoique peu élevées, ces dernières ne sont pas les moins dangereuses. On conservera longtemps le souvenir d'une catastrophe assez récente arrivée à la pointe du Ché, et dont l'une des jeunes victimes portait un nom justement célèbre en géologie. La grotte de Fingal, dans l'île de Staffa, l'une des Hébrides, est toujours citée comme un exemple des cavités ouvertes par les eaux marines.

**Ablations.** — Avec le déplacement, l'immersion ou l'enfouissement des anciens rivages ont disparu la plupart des traces des érosions marines qui eurent lieu pendant les époques géologiques antérieures. Cependant on remarque çà et là certaines dénudations qu'on ne peut attribuer qu'aux océans : je veux parler des *ablations*. Comme elles se rattachent intimement aux phénomènes dont il est question, je les décrirai immédiatement, dussé-je, pour cela, me départir un instant de la rigueur méthodique de mon plan.

On appelle *ablations*, d'énormes érosions s'étendant horizontalement et dans tous les sens sur de vastes surfaces, et qui ont fait disparaître de puissantes assises et même des étages entiers et des séries d'étages dans les terrains de sédiment. Sauf le cas d'érosions fluviales postérieures, les surfaces dénudées par les ablations restent planes ou à peu près; elles ne présentent d'autres dépressions et d'autres reliefs que ceux qui ont pu être produits par les mouvements du sol. Les ablations ne ressemblent en aucune manière aux érosions proprement dites, avec lesquelles il est impossible de les confondre, celles-ci ayant seulement creusé les sillons flexueux précédemment décrits sous le nom de vallées d'érosion. Au contraire, les ablations attaquent le terrain sur des surfaces horizontales de plusieurs lieues et dans toutes les directions, découpent et festonnent les assises d'une manière capricieuse, et laissent quelquefois subsister des lambeaux isolés comme des îles, qui témoignent de l'ancienne extension des couches. Les matériaux enlevés par les ablations ne peuvent être retrouvés, sous quelque forme que ce soit. En France, les ablations se remarquent surtout le long des anciens rivages. Sur le littoral vosgien, on peut constater l'existence d'une série d'ablations en retrait les unes sur les autres, qui se sont toujours produites le long des rivages successifs de la mer jurassique et de la mer crétacée. Par exemple, les étages jurassiques supérieurs font absolument défaut sur une longueur de 40 kilomètres environ et sur une largeur de 3 à 8 kilomètres, en suivant la falaise juras-

sique qui s'étend de Belfort à Rougemont, à peu de distance des anciens rivages (fig. 61). Plusieurs *témoins*, conservés çà et là, prouvent l'existence générale, dans tout cet espace, des couches qui ont disparu. Plus au sud, les assises néocomiennes du rivage créacé, qui courait dans la direction de Bienne à Charquemont et au Luhier, parallèlement au rivage jurassique, ont été enlevées sur

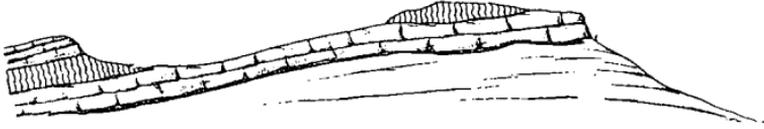


Fig. 61. — Coupe théorique des ablations du rivage jurassique sous-vosgien.

de vastes étendues, laissant dans un isolement complet un certain nombre de massifs qui reposent sur le terrain jurassique, et dont plusieurs sont éloignés de quelques myriamètres des assises néocomiennes continues du Jura central. Plus au sud encore, des lambeaux disséminés de craie supérieure dénotent des ablations beaucoup plus considérables. Les faluns de la Touraine n'existent qu'à l'état d'affleurements isolés, quelquefois séparés par des espaces de 50 kilomètres et plus. Évidemment ils formaient jadis un seul tenant ; mais il est possible que les eaux diluviennes aient contribué à leur morcellement. Toutes ces actions, essentiellement littorales, ne peuvent être attribuées, pour la plus grande partie, qu'à des eaux marines. Très-vraisemblablement, à la suite des mouvements d'exhaussement ou d'affaissement du sol, si fréquents à ces époques reculées, ou par l'effet du soulèvement de chaînes de montagnes, d'immenses vagtes de translation enlevaient et balayaient, sur de grandes surfaces, le long des rivages, les sédiments récemment émergés, encore meubles et peu consistants. Nous pouvons ainsi comprendre que de puissantes assises argileuses et calcaires aient été emportées au loin sous forme de boues, puis étalées dans le fond des mers pour constituer de nouvelles couches, sans laisser aucune trace de leur existence première. Sans doute aussi l'action incessante des vagues et des tempêtes a contribué à ce résultat, bien que les témoins ménagés çà et là indiquent plutôt une action violente et irrégulière. Quoi qu'il en soit, en supposant que l'explication hypothétique qui précède se trouve confirmée dans l'avenir, comme j'en ai le ferme espoir, nous apercevons pour la première fois dans les ablations un phénomène inconnu à notre époque.

2° *Atterrissements*. — Ce sont des alluvions marines. Ils doivent

leur origine aux vagues plutôt qu'aux courants. Néanmoins ces derniers ne sont pas absolument étrangers à leur formation. J'ai cité l'exemple du grand courant équatorial, qui dépose les troubles de l'Amazonie sur les côtes de la Guyane. Les atterrissements marins ne se constituent que sur les rivages ou à peu de distance ; ce sont eux qui édifient les plages, les cordons littoraux, les digues des lagunes et les hauts-fonds ; ils contribuent en grande partie à l'établissement des barres, des estuaires, des deltas et même des dunes ; mais je ne reviendrai pas sur ce qui a été dit relativement aux formations fluvio-marines.

**Appareil littoral, hauts-fonds, bas-fonds.** — Le flot rejette incessamment sur les rivages les vases, les sables, les galets et, en général, les matières meubles provenant de la démolition des rives. Ce qu'il prend d'un côté, il le restitue de l'autre, mais sous une autre forme. Tous les matériaux refoulés sur le bord par les vagues s'entassent en longues bandes parallèles à la côte. Ces accumulations sont désignées sous le nom d'*appareil littoral*. Plus rarement les atterrissements marins s'élèvent en pleine mer, à quelque distance du bord. Ils forment alors des *hauts-fonds*, d'autant plus redoutables aux navigateurs que leur déplacement s'opère avec une grande facilité, et souvent d'une manière incessante, à chaque coup de mer. Quand les ensablements côtiers n'arrivent pas au niveau des eaux, ils prennent le nom de *bas-fonds*.

**Plages et cordons littoraux, lagunes, etc.** — L'appareil littoral consiste principalement dans les *plages* et les *cordons littoraux*. Les premières sont des accumulations de sables fins, de galets et de vases ou d'un mélange de ces éléments, qui descendent dans la mer avec une inclinaison presque insensible ; de sorte qu'il faut s'avancer quelquefois à plusieurs centaines de mètres du bord pour trouver de la profondeur. Il est presque inutile de faire remarquer qu'elles ne peuvent s'établir que sur un rivage peu incliné, et qu'elles manquent absolument toutes les fois que le bord est en pente rapide. Les seconds consistent en bourrelets, plus ou moins saillants, de sables et de galets rejetés par les hautes marées, et disposés parallèlement au bord, de manière à se trouver entièrement en dehors de l'action des basses mers (fig. 62). Les plages sont donc inondées par les marées ordinaires, qui s'arrêtent au pied du cordon littoral ; mais ces deux catégories d'atterrissements ne se trouvent pas à l'abri des tempêtes, qui peuvent les entamer et les remanier. C'est le sable des plages et des cordons qui alimente les dunes. Quand

un cordon littoral s'établit à l'embouchure d'une rivière, il forme, suivant le cas, une barre ou un estuaire. Quand il se constitue à quelque distance du bord, il peut donner naissance à des *lagunés*, sorte de lacs marins compris entre le rivage et le cordon qui intercepte leurs eaux du côté de la mer. Quelquefois cette digue naturelle est interrompue par des *passes*, établissant libre communication

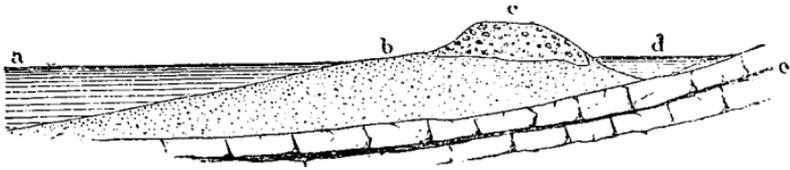


Fig. 62. — Coupe théorique d'une plage et d'un cordon littoral. — *a*, niveau de la mer ; *b*, plage de sable ; *c*, cordon littoral ; *d*, lagune interceptée ; *e*, sous-sol géologique.

entre la mer et les lagunes, et favorisant souvent la navigation sur celles-ci. Tels sont les étangs de Thau sur les bords de la Méditerranée ; tels sont encore, sur les bords de la Baltique, le Frische-Haff et le Curische-Haff, qui ressemblent à des golfes, et dont le cordon-digue sablonneux s'élève à peine au-dessus de la mer. Souvent encore la lagune doit son origine à quelque ruisseau dont les eaux sont arrêtées par le cordon littoral. Dans les lagunes sans communication avec la mer, les eaux s'abaissent fréquemment par évaporation, dans les saisons chaudes, au-dessous du niveau des marées, tout en restant le plus souvent au-dessus de celui de la basse mer. Quelquefois les lagunes se comblent, s'obstruent par l'abondance des atterrissements et se transforment en marais. Telles sont les maremmes de la Toscane.

On trouve enfouis pêle-mêle dans les atterrissements marins les débris des animaux et des plantes de notre époque ; les produits terrestres dominant dans les estuaires et les lagunes, les produits marins se rencontrant presque exclusivement dans les plages, les hauts-fonds et les cordons littoraux.

#### Les atterrissements marins caractérisent l'époque actuelle.

— Sous leurs diverses formes, les atterrissements déposés par la mer caractérisent l'époque actuelle, ceux des périodes antérieures n'ayant point laissé de traces. Leur importance tend à s'accroître, parce que chaque année ajoute aux matériaux accumulés sur tel ou tel point, quoique l'énergie de l'action des eaux n'augmente en aucune façon. En dehors de l'intervention de l'homme, les plages s'étendent, les estuaires se comblent, les détroits s'obstruent, les

passes se ferment et les ports deviennent impraticables. Mais ces effets se trouvent compensés, jusqu'à un certain point, par la démolition des falaises et les érosions des rivages verticaux. On a dit, avec raison, que les continents sont une vaste carrière de matériaux mis en œuvre par les agents physiques. Si donc les conditions de la navigation côtière peuvent changer à la longue, au grand déplaisir des riverains, les atterrissements maritimes, considérés en général, ne modifient que d'une manière presque insensible la surface et les contours des terres fermes.

3° *Sédimentation*. — Elle s'opère au sein des mers de la même façon que dans les lacs, et donne naissance à des couches horizontales formant à la longue des roches dont l'espèce varie en raison de la nature des matériaux qui les composent. Dans les mers comme dans les lacs, on distingue une sédimentation mécanique et une sédimentation chimique. Je conserverai ces expressions, bien qu'elles ne répondent pas à la réalité, toute sédimentation étant un acte purement mécanique. Mais il me répugne de surcharger sans nécessité urgente une nomenclature déjà suffisamment compliquée.

**Sédimentation mécanique.** — Les assises qui en résultent sont formées par les déblais des terres fermes entraînés dans les mers, et aussi par les matériaux arrachés aux rivages. Elles s'établissent plutôt dans les zones littorales que dans les hautes mers, et se rattachent, par des transitions insensibles, à l'appareil littoral, dont elles ne sont le plus souvent que la continuation. Elles consistent en limons, en sables, en galets, qui peuvent, dans des circonstances particulières, se transformer à la longue en argiles, en grès, en poudingues. Elles renferment, mélangés ou superposés, et en alternance plus ou moins régulière, les débris des flores et des faunes des continents, des eaux douces, des eaux saumâtres et des eaux marines. Les débris marins dominent cependant de beaucoup, et souvent le sable des mers est presque entièrement composé de fragments de coquillages. Cependant la sédimentation mécanique actuelle donne presque aussi fréquemment naissance à des *terrains fluvio-marins* qu'à des *terrains marins*.

**Sédimentation chimique.** — Elle s'opère, au contraire, dans les profondeurs des océans. Presque exclusivement édifiées aux dépens des matériaux fournis par les sources minérales, les assises consistent en calcaires purs ou marneux ou dolomitiques, c'est-à-dire chargés de carbonate de magnésie, ou enfin ferrugineux. Dans le

voisinage des côtes elles se remplissent de sables et même de galets, et se rattachent ainsi peu à peu aux couches formées par voie de sédimentation mécanique. Quelquefois, par exemple aux Canaries et à Madère, il se dépose un calcaire oolitique tout à fait semblable à celui du Jura. Toutes ces couches ne renferment guère que des produits marins, sauf à proximité des rivages ; et l'on pourrait observer successivement dans le même banc, à mesure qu'on s'avance vers la pleine mer, les vestiges des animaux côtiers et ceux des animaux des mers profondes.

**Caractères distinctifs des dépôts marins.** — Tous les dépôts marins se distinguent de ceux des eaux douces par l'épaisseur plus grande de leurs strates ; par leurs allures moins irrégulières ; par l'uniformité de leur composition minéralogique, et, en général, par la plus grande solidité de leurs roches. C'est du moins ce que laisse supposer l'analogie, les observations directes dans le fond des mers rencontrant des difficultés presque insurmontables. Mais ici l'étude des phénomènes anciens vient nous éclairer ; et nous imaginons volontiers que les choses continuent à se passer comme autrefois, à cette différence près que les actions récentes sont infiniment plus lentes, par suite du peu d'abondance des matériaux. On peut affirmer, en effet, que la sédimentation marine contemporaine se trouve dans une période de grande décadence, aussi bien que la sédimentation lacustre. C'est par dizaines de milliers de mètres que se mesure l'épaisseur des assises de conglomérats, de grès, de schistes, d'argiles et de calcaires des terrains anciens ; et, de nos jours, il ne semble pas que le fond des mers s'exhausse d'une manière appréciable. Néanmoins les faibles dépôts que les sondages révèlent çà et là dans les océans nous offrent des sujets d'étude extrêmement précieux, et nous aident à comprendre le mode de formation de ces terrains anciens, dont l'épaisseur nous étonne.

---

### CHAPITRE III

#### PHÉNOMÈNES TERRESTRES.

**Phénomènes terrestres.** — Sous ce titre seront décrits les phénomènes ayant à la fois leur cause et leur siège dans l'écorce solide

et dans la pyrosphère, et qui se manifestent à la surface des continents ou dans le fond des mers. Les deux enveloppes les plus extérieures du globe, savoir l'atmosphère et les eaux, n'en reçoivent donc que le contre-coup. Quoique nombreux et variés, ces phénomènes peuvent se diviser en deux catégories : 1<sup>o</sup> les *mouvements du sol*, 2<sup>o</sup> les *phénomènes éruptifs*.

#### § 1. — MOUVEMENTS DU SOL.

**Mouvements du sol.** — La terre que nous foulons sous nos pieds semble l'image la plus parfaite du repos et de la stabilité ; et cependant rien n'est plus mobile. Tandis que la surface des mers, incessamment agitée par les vagues et les marées, nous fournit, dans son niveau moyen, le repère d'altitude le plus fixe que l'on puisse établir, l'écorce solide du globe se déplace à chaque instant relativement à ce niveau. Dans les contrées éloignées des volcans et des zones à tremblements de terre, ce n'est que de loin en loin, une ou deux fois chaque siècle, que l'on ressent quelque commotion provenant de l'écorce solide. Les mouvements sont au contraire fréquents et souvent quotidiens pendant un temps plus ou moins long dans d'autres pays ; en outre, le sol est agité sur une foule de points de trépidations très-faibles, décelées par certains appareils délicats, et qui, ordinairement, correspondent à des tremblements de terres lointains. Ces mouvements ont eu lieu à toutes les époques, et avec une énergie dont témoignent les déplacements incessants des mers, les exhaussements et les affaissements des rivages, et surtout les fractures et les bouleversements vraiment innombrables de l'écorce solide du globe. On a essayé de les classer, et l'on a même imaginé dans ce but des nomenclatures plus ou moins ingénieuses. Telle est cependant la liaison intime entre tous les mouvements du sol, qu'il me semble impossible de les distinguer suffisamment les uns des autres, dans un grand nombre de cas. Il y a des mouvements lents et séculaires d'exhaussement et d'affaissement ; mais, sur tel point et dans telle circonstance, le même phénomène se produit avec plus de rapidité, de sorte qu'une action qui dure ici plusieurs siècles s'effectue là en quelques années, et plus loin en quelques heures ou en quelques secondes. Il y a d'autres mouvements brusques et instantanés qui renversent des édifices et détruisent des cités importantes, en laissant ensuite le terrain dans le même état qu'auparavant, sans en avoir modifié le niveau non plus que le

profil. Mais, dans d'autres temps ou dans d'autres lieux, les mêmes mouvements bouleversent le sol et en déplacent le niveau d'une manière permanente; ils se rattachent par conséquent à ceux de la catégorie précédente. Les trépидations annonçant les éruptions volcaniques se distinguent mal de celles des tremblements de terre lointains, et certains exhaussements résultent de mouvements difficiles à séparer de ceux qui ont élevé les montagnes.

Ces réserves étaient nécessaires, parce que, tout en montrant l'inévitable imperfection d'une nomenclature et d'une classification quelconque des mouvements du sol, je suis pourtant obligé de diviser la matière et de la disposer dans un certain ordre. J'établirai donc les catégories suivantes : 1° *mouvements orogéniques*, 2° *mouvements séculaires*, 3° *tremblements de terre*.

**Cause des mouvements du sol.** — En même temps je dirai tout de suite, et pour n'y plus revenir, que la cause de ces divers mouvements me paraît résider dans le *retrait du globe* et dans la réaction, qui en est la conséquence, de la pyrosphère contre l'écorce solide. Ce retrait s'opère par le refroidissement de la planète et par la cristallisation des roches; il provoque l'expulsion au dehors des matériaux rejetés par les volcans et, jusqu'à un certain point, par les sources minérales. La quantité de ces matériaux est souvent énorme. Nous avons vu que tous les calcaires proviennent de l'intérieur du globe. En ce qui concerne les éruptions volcaniques, Cordier admettait que chacune rejette à l'extérieur, en moyenne, un kilomètre cube de laves, lesquelles, étalées sur tout le globe, le recouvriraient d'une couche de  $\frac{1}{500}$  de millimètre d'épaisseur. Une contraction d'un millimètre fournirait donc, pendant un siècle, la matière à cinq éruptions par an. Mais que sont les phénomènes volcaniques actuels relativement aux phénomènes éruptifs anciens, qui amenaient au jour des montagnes et des chaînes entières de roches ignées? Il est vrai de dire que les dimensions absolues du globe ne sont altérées en aucune manière par toutes ces actions, qui consistent seulement dans un déplacement de substance. Mais l'écorce solide en est profondément atteinte; et c'est encore plus à ses affaissements et à ses dislocations qu'au retrait général de la planète qu'on doit attribuer les mouvements du sol dont la description va suivre.

**MOUVEMENTS OROGÉNIQUES.** — Ces mouvements ont donné naissance aux chaînes de montagnes, aux failles et aux grandes ruptures. Ils se distinguent par leur énergie, et parce qu'ils affectent le terrain

sur une grande étendue en longueur et sur une largeur beaucoup moindre. On sait, en effet, que toutes les chaînes de montagnes dessinent, à la surface du globe, des reliefs très-allongés et assez souvent rectilignes ; d'un autre côté, l'intensité du mouvement se mesurant à ses effets, il est évident que les actions dynamiques auxquelles on doit l'exhaussement, à plusieurs milliers de mètres, de certaines portions de l'écorce terrestre, l'emportent en énergie sur toutes les autres. Les mouvements orogéniques, ayant cessé depuis longtemps de se produire, seront décrits avec les autres phénomènes anciens. Quoique nous ne puissions plus en contempler les manifestations, toutes les inductions nous portent à croire que ces mouvements ne se montrent qu'à de longs intervalles, qu'ils s'opèrent assez rapidement, enfin qu'ils ont plutôt leur cause dans le retrait général du globe que dans les affaissements locaux de l'écorce solide.

**MOUVEMENTS SÉCULAIRES.** — On appelle ainsi, en géologie, de lentes oscillations qui ont pour effet d'exhausser ou de déprimer certaines contrées d'un mouvement tout à fait insensible, dont les résultats ne deviennent perceptibles qu'après une longue suite d'années. C'est bien à tort, à mon avis, qu'on a essayé de subdiviser en plusieurs espèces les mouvements de cette nature, qui se distinguent mal quelquefois de certains dénivellements produits à la suite des tremblements de terre. Quand il y a exhaussement, il y a intumescence, et à un exhaussement correspond inévitablement une dépression ; il y a donc aussi du même coup une oscillation, ou, ce qui me paraît revenir au même, une ondulation. Les mouvements décrits sous les noms d'intumescence, d'ondulation et d'oscillation, ne me semblent donc pas différer les uns des autres, et ils appartiennent tous à la catégorie des mouvements séculaires, qui se distinguent des tremblements de terre par leur lenteur, et des mouvements orogéniques parce qu'ils s'étendent également dans toutes les directions et qu'ils ont moins d'amplitude. Ils paraissent avoir pour cause des affaissements locaux de l'écorce solide, ordinairement contre-balancés par les exhaussements, plutôt que la contraction générale de la planète. Voici des exemples souvent cités de ces mouvements :

1<sup>o</sup> *Péninsule scandinave et régions voisines.* — Au commencement du siècle dernier, Celsius remarqua un certain abaissement du niveau des mers qui baignent la péninsule scandinave. Des lignes de repère furent entaillées à fleur d'eau dans les rochers, le long de

la Baltique, notamment en 1700, 1731, 1749, 1751, 1755, 1774 ; elles furent revues à d'assez nombreuses époques, par exemple en 1819 par Hallstrom, et en 1821 par Brodd et par une commission d'officiers de marine, qui en établirent de nouvelles. De ces expériences on conclut à un abaissement de niveau de la Baltique, ou, ce qui est plus exact, à un exhaussement de la côte de Suède le long du golfe de Botnie. L'exhaussement constaté n'avait pas eu lieu d'une manière égale et uniforme ; il n'était pas proportionnel au temps, et variait suivant les lieux. Il avait son maximum à une centaine de kilomètres au sud de Tornéo, et diminuait assez régulièrement quand on se rapprochait du midi de la péninsule. L'ensemble des mesures donnait une moyenne séculaire de 4<sup>m</sup>,31 pour tout le golfe de Botnie. En 1834, M. Lyell visita la contrée, et trouva que depuis 1820 la côte suédoise s'était exhaussée de 100 à 125 millimètres, au nord de Stockholm. De son côté, M. Nilsson constata, en 1837, un affaissement général de la Scanie et de tout le midi de la péninsule. Un bloc de rocher marqué par Linné en 1749, se trouvait rapproché de 30<sup>m</sup>,50 de la mer ; des tourbières formées sur la terre ferme sont actuellement sous les eaux de la Baltique, qui ont fini par s'élever au-dessus des bas quartiers de certaines villes. Enfin en 1845, Murchison reconnut qu'une région traversant la presqu'île de l'est à l'ouest, sous le parallèle de Solvitzborg, demeurait complètement immobile. On conclut aujourd'hui, de cet ensemble de faits, que le sol de la Suède obéit à un mouvement de bascule qui en élève la partie septentrionale et qui en abaisse la partie méridionale. On sait d'ailleurs que l'affaissement s'étend aux régions voisines limitrophes de la Baltique, par exemple au Danemark, où il existe, le long des côtes, des forêts sous-marines, puis au nord de la Prusse. M. Domeyko a établi en effet qu'il y avait autrefois dans le golfe de Kœnigsberg, entre Pilau, Brandebourg et Bolga, une province du nom de Witlanda, aujourd'hui ensevelie sous les eaux de la Baltique. Le mouvement des contrées riveraines de cette mer paraît fort ancien, Al. Brongniart ayant découvert à Uddevalla, en Suède, des bancs de coquillages appartenant aux espèces actuelles, et des balanes fixées aux rochers à 70 mètres au-dessus du niveau de la mer. Peut-être le même exhaussement se propage-t-il jusqu'au cap Nord, où Bravais signale plusieurs amas de coquilles superposés en terrasses, ce qui dénote plusieurs mouvements successifs.

2° *Grande-Bretagne*. — Dans l'île de Jura, l'une des Hébrides,

Vertch indique six ou sept terrasses provenant d'anciennes plages soulevées, dont la plus haute se trouve actuellement à 13 mètres environ au-dessus de la mer. Au même niveau existent plusieurs cavernes qu'il suppose formées par les vagues. De la Bèche signale à Plymouth une ancienne plage, aujourd'hui à 10 mètres au-dessus des eaux.

3° *Bretagne*. — L'affaissement de certaines parties des côtes de la Bretagne est démontré par l'envahissement de la mer, qui entoure le château du mont Saint-Michel, construit en 709 à dix lieues dans les terres, et par les forêts sous-marines découvertes au large de Morlaix.

4° *Localités diverses*. — On a signalé de semblables mouvements du sol au Groenland, dont la côte occidentale s'affaisse ; — à Nice, où Risso a découvert des plages à coquilles un peu moins élevées qu'à Plymouth, d'après de la Bèche ; — à Cagliari, où M. La Marmora a reconnu d'anciens rivages avec huîtres et coquillages actuels et même débris de poteries à une altitude de 50 mètres, et à une distance horizontale de 2 kilom. au moins du rivage ; — en Grèce, où M. Boblaye a observé sur divers points des terrasses et des rochers percés de pholades ; — à Alexandrie, où Cordier et Dolomieu ont constaté un affaissement qui a fait descendre les nécropoles à 1<sup>m</sup>,50 au-dessous des eaux de la Méditerranée ; — au cap Horn, où M. Agassiz indique un lac d'eau marine soulevé à plus de 30 mètres au-dessus de l'Océan avec les animaux marins qu'il nourrit ; — au Pérou et au Chili, où existent sur une foule de points des terrasses coquillères. Il est bon de dire cependant que, dans ces dernières contrées, les mouvements du rivage sont assez fréquemment la conséquence des tremblements de terre, et que, rigoureusement parlant, on ne doit considérer comme appartenant à la catégorie des mouvements séculaires que ceux dont nous sommes les témoins, par exemple le mouvement de bascule de la presqu'île scandinave.

5° *Temple de Sérapis*. — De tous les faits cités celui-ci est assurément le plus instructif, car il démontre, en un même point, des mouvements alternatifs d'affaissement et d'exhaussement. Sur la côte de Pouzzoles s'élève une falaise presque verticale où l'on remarque, à une hauteur de 6<sup>m</sup>,7 au-dessus du niveau de la mer, une bande rongée par les vagues, remplie de perforations de coquilles lithophages et couverte de balanes. Dans la petite plaine qui sépare cette falaise de la mer existent les ruines d'un

temple attribué à Jupiter Sérapis. Trois colonnes monolithes de marbre blanc, qui restent debout, et dont la hauteur est de 13 mètr., sont criblées de trous de pholades sur toute la surface d'une zone qui commence à 2<sup>m</sup>,7 du sol, et dont la largeur est de 3<sup>m</sup>,6 (fig. 63). Le temple ayant été certainement construit au-dessus des

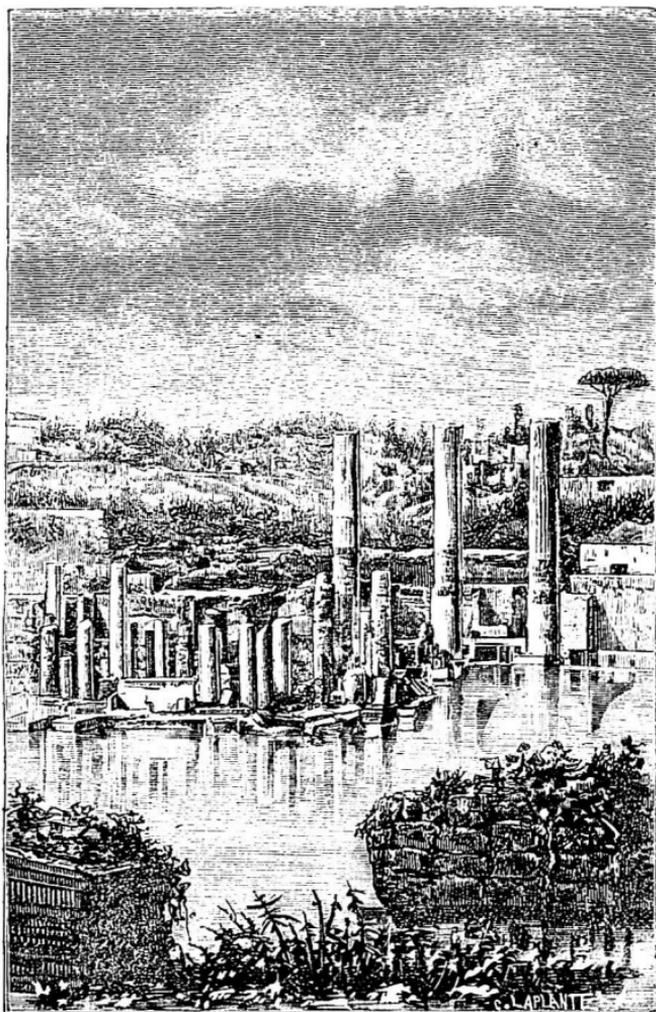


Fig. 63. — Temple de Sérapis.

eaux, on en conclut à un affaissement du sol, qui a plongé dans la mer toute la plaine et la base de la falaise, jusqu'à la bande rongée de celle-ci ; et cette bande correspond aux perforations des colonnes. A cet affaissement, qu'on rapporte avec doute à la fin du iv<sup>e</sup> siècle, a succédé, probablement vers 1538, à la suite de la formation du monte Nuovo, un exhaussement qui a porté le sol à son niveau

actuel. Mais le pavé du temple se trouve envahi de nouveau par la mer, et des observations effectuées entre 1822 et 1838 établissent que la contrée s'affaisse d'environ 7 millimètres par an. Nous avons, par conséquent, sous les yeux, un second exemple de mouvement séculaire comparable à celui de la péninsule scandinave ; mais nous ignorons si les anciens déplacements, et en particulier celui de 1538, ne se sont pas opérés brusquement et par l'effet de tremblements de terre.

**TREMBLEMENTS DE TERRE.** — On les appelle encore *mouvements sismiques*. Ce sont des secousses brusques et instantanées, qui ébranlent le sol sans en modifier le plus souvent le relief. Le mouvement peut s'effectuer de bas en haut, horizontalement suivant une ligne droite, ou bien horizontalement suivant une ligne courbe et autour d'un centre ; il est donc vertical ou horizontal, et dans ce cas rectiligne ou gyrotoire, c'est-à-dire curviligne. On explique ces divers modes de manifestation en admettant que les secousses se transmettent dans l'écorce solide comme les vibrations dans l'air, et qu'elles se propagent par ondulations autour d'un centre d'ébranlement qui consiste en un point, plus rarement en une ligne. Si le centre d'ébranlement est profondément situé et qu'il n'y ait pas une grande force d'impulsion, la secousse, insensible à la surface du sol, ne peut être perçue que dans les mines. Si, au contraire, le lieu d'ébranlement se trouve rapproché de la superficie, le mouvement est vertical dans les lieux situés directement au-dessus ; il devient peu à peu oblique, puis horizontal, à mesure qu'on s'éloigne, et passe inaperçu dans des mines profondes ouvertes au dehors de la sphère d'action, mais au-dessous de points superficiels affectés. Enfin, si le centre de commotion est extrêmement profond et se rapproche de la pyrosphère, le mouvement se transmet verticalement sur presque toute la surface ébranlée. Tous les mouvements qui viennent d'être décrits se trouvent singulièrement compliqués lorsqu'ils se croisent et se combinent par l'effet de plusieurs commotions simultanées partant de centres distincts situés à des profondeurs et à des distances inégales. De tous ces mouvements, celui de bas en haut est le plus fréquent ; le mouvement gyrotoire est le plus dangereux.

Les vibrations se propagent le plus souvent, avons-nous dit, autour d'un point ; mais dans certaines contrées, le long des Andes, par exemple, il arrive fréquemment que la commotion se manifeste instantanément sur une grande étendue et dans une seule direction,

ce qui indique une ligne et non un point central d'origine et d'impulsion. Comme exemples on cite le tremblement de terre de 1822, qui ébranla au même instant tout le littoral du Chili, et celui du 4 janvier 1843 qui s'étendit dans les États-Unis suivant une ligne dirigée du nord-nord-est au sud-sud-ouest.

**Vitesse de la propagation du mouvement.** — La *vitesse de la propagation* varie dans des limites assez larges. Tantôt la transmission est instantanée, comme dans les deux tremblements de terre mentionnés ci-dessus ; tantôt il s'écoule un temps appréciable entre les moments où l'on ressent une même commotion dans des localités éloignées. De Humboldt évaluait à 4 ou 5 myriamètres par minute, ou plus exactement 660 à 830 mètres par seconde, la vitesse moyenne de la propagation du mouvement. D'après M. Ch. Deville, les secousses du tremblement de terre de la Guadeloupe, en 1843, arrivèrent à Sainte-Croix avec une vitesse de 925 mètres par seconde, à Saint-Thomas avec une vitesse de 2566 mètres et à Cayenne avec une vitesse de 3788 mètres : ce qui donnerait une moyenne de 2426 mètres. Mais il ne faut pas attacher une trop grande importance à tous ces résultats, à cause de la grande difficulté qu'éprouvent à constater l'heure exacte du phénomène des observateurs qui, évidemment, ne sont pas sur leurs gardes, et aussi à cause de l'impossibilité de distinguer les secousses les unes des autres, quand il s'en produit un certain nombre.

**Surface affectée par les tremblements de terre.** — La *surface affectée* par les tremblements de terre varie, en général, mais non constamment, en raison de leur intensité. Dans le voisinage des volcans il y a des secousses qui ne se transmettent pas à plus de quelques centaines de mètres, mais on connaît des tremblements de terre dont l'effet s'est étendu à plusieurs centaines de lieues. Celui qui ravagea la Calabre en 1783 rayonna seulement à 40 ou 50 kilomètres. Le tremblement déjà mentionné de la Guadeloupe se fit sentir au midi jusqu'à l'embouchure de l'Orénoque, sur un espace de plus de 6 degrés en latitude. Celui du Chili du 19 novembre 1822 se propagea instantanément sur une longueur de près de 450 lieues, et le plus terrible de tous, le tremblement de terre qui détruisit Lisbonne le 1<sup>er</sup> novembre 1755, se fit sentir aux Antilles, au Canada, dans les îles Britanniques, en Finlande, en Thuringe, dans les Alpes, en Italie et dans le nord de l'Afrique. Dans les chaînes de montagnes la propagation s'opère toujours parallèlement à l'axe, et l'on remarque la même chose dans les vallées. Il

ne s'agit ici que des secousses bien sensibles, le mouvement s'affaiblissant avec la distance, et dégénéralant peu à peu en *trépidations* tellement faibles, qu'on ne peut les constater qu'au moyen d'instruments fort délicats. C'est ainsi qu'à l'aide du pendule, M. Prost a reconnu que le sol de Nice est fréquemment agité de vibrations imperceptibles de toute autre manière, et qui correspondent aux tremblements de terre et aux éruptions volcaniques lointaines, quoique souvent aussi elles ne coïncident avec aucun de ces phénomènes officiellement signalés.

**Profondeur affectée par les tremblements de terre.** — La *profondeur affectée* par les tremblements de terre dans l'écorce solide paraît dépendre de leur intensité et de la situation du centre d'ébranlement. En général, on doit admettre que les secousses agitent cette écorce dans toute son épaisseur; cependant on a recueilli des exemples indiquant le contraire. Ainsi, vers le commencement du siècle, de fortes secousses furent ressenties dans les mines de Marienberg, en Saxe, et ne parvinrent pas jusqu'à la surface. En 1823, un tremblement de terre superficiel fut observé à Fahlun et à Presberg en Suède, et l'on ne remarqua rien d'extraordinaire dans les mines. Peut-être ne faut-il pas accepter sans contrôle tous les faits de ce genre, la constatation des tremblements de terre étant bien difficile quand on doit s'en rapporter au dire des ouvriers et des hommes en mouvement.

**Tremblements de terre sous-marins.** — Quelquefois les tremblements de terre se manifestent dans le fond des mers; souvent aussi les mouvements qui agitent les continents et les îles se communiquent aux océans. Dans l'un et l'autre cas, il se produit un brusque soulèvement des eaux, qui se propage au loin en donnant naissance à des vagues de translation. Celles-ci communiquent aux navires de violentes secousses, ce qui ferait supposer qu'on a touché un écueil, si l'on ne naviguait sur une mer un peu profonde. En 1836, un choc violent fut ressenti à la fois par le navire *le Philanthrope* et par un autre bâtiment qui se trouvaient à dix milles l'un de l'autre au milieu de l'océan Atlantique. En 1837, un baleinier fut dématé près des côtes du Chili. Le 21 août 1856, les hommes de l'avis *le Tartare*, qui se tenaient sur le pont, furent renversés par une commotion sous-marine près de la côte de l'Algérie. Le 30 décembre 1856, le *Regina Cæli* éprouva de fortes secousses au milieu de l'océan Atlantique, et l'on entendait comme un bruit de métal froissé accompagné par les roulements d'un tonnerre loin-

tain ; au même instant, le *Godavery* fut agité fortement dans les mêmes parages. On sait d'ailleurs que les vagues de translation soulevées par les tremblements de terre littoraux engloutissent les navires ou les jettent à la côte : c'est ce qui arriva à Lisbonne en 1755, à Simoda en 1854, et plus récemment entre Caldera et Coquimbo, le 26 août 1868.

**Nombre et durée des secousses.** — Le nombre et la durée des secousses varient, pour ainsi dire, à chaque tremblement de terre. Le plus souvent la commotion est unique, ou bien il ne s'en produit que deux ou trois au plus. Néanmoins, pendant le tremblement de terre du 29 juin 1873, qui fit tant de ravages dans le nord de l'Italie, on enregistra à Venise jusqu'à quatorze oscillations, ou, en d'autres termes, sept mouvements ascendants et sept descendants, qui se manifestèrent à des intervalles réguliers d'une seconde. Il y eut ensuite quelques commotions plus faibles. D'autres fois les mouvements se succèdent à des intervalles assez rapprochés, périodiques ou non, pendant des mois et même des années. Le tremblement de terre à la suite duquel s'éleva le Jorullo, au Mexique, en 1759, agita le sol durant trois mois. Du 28 octobre 1746 au 27 février 1747, on compta au Pérou 451 commotions. Au Chili on ressentit des secousses qui persistèrent du 19 novembre 1822 jusqu'au mois de décembre 1823. Mais le tremblement de terre qui paraît avoir duré le plus longtemps est celui de la Calabre. Le sol fut ébranlé presque quotidiennement de 1783 à la fin de 1786, et pendant la seule année 1783, Pignatore compta 942 secousses. S'il faut en croire le *Courrier de San-Francisco*, on en a senti plus de 500 dans l'espace de cinquante-huit heures pendant le tremblement de terre de Leone Pine, du 30 mars 1872. Il ne s'agit encore ici que des mouvements bien sensibles, et nullement des trépidations lointaines qui accompagnent plus ou moins longtemps les éruptions volcaniques et les tremblements de terre. La secousse elle-même est une commotion rapide, instantanée, qui dure au plus quelques secondes et qui surprend toujours l'observateur. Telle en est la violence dans des circonstances exceptionnelles, qu'en 1797, au dire de Humboldt, des hommes ont été lancés à environ 100 mètres de distance sur les collines de Rio-Bamba, comme par l'explosion d'une mine. Mais a-t-il été bien renseigné ? Une pareille impulsion se serait communiquée à tous les objets abandonnés à la surface du sol et même aux édifices, qui auraient été projetés dans les airs.

**Bruits.** — Les tremblements de terre un peu violents sont presque

toujours accompagnés de *bruits* particuliers, d'ailleurs appréciés de diverses manières. Tantôt on les compare à un tonnerre lointain ou à des détonations d'artillerie, tantôt à un roulement de chars sur une voie empierrée, à des froissements de ferrailles et d'objets métalliques et même à des mugissements souterrains. L'intensité en est très-variable, ainsi que la durée; quelquefois ils se transmettent assez loin par l'intermédiaire de l'atmosphère. Les bruits précèdent ou suivent les secousses, ils annoncent aussi les éruptions volcaniques; mais on signale des bruits souterrains sans secousses appréciables, et les tremblements de terre d'une faible intensité, comme ceux qui se manifestent de loin en loin dans le nord de l'Europe, ne sont accompagnés d'aucun bruit. En 1812, on entendit à Caracas une formidable détonation, qui se propagea sur une étendue de 1300 myriamètres carrés; elle coïncidait avec l'éruption du volcan de l'île Saint-Vincent, distante de 120 myriamètres. En février 1835, le jour même du tremblement de terre de la Nouvelle-Grenade, pareil phénomène eut lieu à Popayan, à Bogota, à Haïti, à la Jamaïque, à Caracas, où le bruit dura sept heures. Il n'y eut point de secousses dans toutes les localités qui viennent d'être indiquées. Au contraire, on éprouva de terribles commotions à Rio-Bamba, le 4 février 1797; mais elles n'étaient accompagnées d'aucun bruit, tandis qu'à Quito et à Ibarra retentit vingt minutes plus tard une effroyable explosion souterraine, qui ne fut pas entendue dans les localités intermédiaires de Tacunga et de Hambato. Le 20 octobre 1746, un quart d'heure après la destruction de Lima, éclata à Truxillo comme un coup de tonnerre souterrain, mais on ne ressentit aucune secousse. Le tremblement de terre qui occasionna de si grands dommages dans la vallée de Viège (Valais), en 1855, fut accompagné de bruits souterrains qui durèrent jusqu'en 1862.

**Effets physiques des tremblements de terre.** — Occupons-nous maintenant des *effets physiques* des tremblements de terre, c'est-à-dire de leur action sur le sol et sur les eaux. L'atmosphère est ici hors de cause, parce que, quoi qu'on ait pu dire, son rôle unique se borne à transmettre les bruits souterrains.

**Effets sur les eaux terrestres.** — Toutes les fois qu'un tremblement de terre affecte quelque peu le relief du sol, la circulation des eaux souterraines superficielles et des eaux courantes éprouve des modifications passagères ou permanentes en rapport avec les bouleversements du terrain. Le régime des sources peut se trouver changé du tout au tout, de façon que des eaux abondantes tarissent,

que de maigres filets prennent de l'importance, que de nouvelles fontaines apparaissent. La réaction se fait quelquefois sentir dans la circulation des eaux profondes et dans le débit de certaines sources minérales, qui perdent leurs propriétés pendant que d'autres en acquièrent de nouvelles. Les ruisseaux sont déviés et s'englouissent dans les crevasses subitement ouvertes ; d'autres fois les eaux détournées de leur cours s'accumulent dans des dépressions pour former des lacs, en même temps que se dessèchent des lacs anciennement existants. Tous ces phénomènes se produisirent en Calabre en 1783, et l'on vit des torrents d'eau boueuse jaillir de certaines crevasses. Pendant le tremblement de terre du 21 août 1846, des eaux chargées de sable se répandaient sur le sol en Toscane, et la même chose se renouvela à Kirmatchi, en Anatolie, le 21 avril 1851. Pendant le tremblement de terre de février 1855 qui renversa 160 mosquées à Brousse, toutes les sources thermales et autres furent taries pendant six jours ; en avril, de nouvelles secousses firent disparaître les sources ordinaires et augmentèrent le débit des eaux thermales, en même temps que se montrèrent des sources chaudes dont l'existence ne fut que momentanée. Le débit des puits artésiens se trouve quelquefois modifié par les tremblements de terre. D'après M. Hervé Mangon, les eaux du puits de Passy se sont troublées sous l'influence de commotions lointaines. En 1863, les forages du Sahara algérien s'obstruèrent. Pendant une éruption du Vésuve, qui ne fut cependant accompagnée d'aucune agitation sensible, les sondes de MM. Laurent et Degoussé se trouvèrent retenues à Naples dans deux puits, par de légères déviations du canal.

**Effets sur les eaux marines.** — Nous venons de voir que les tremblements de terre soulèvent dans les mers des vagues énormes et des ras de marée qui se transmettent à des distances extraordinaires. Des effets analogues ont été signalés dans les lacs. Aux exemples déjà cités je joindrai les suivants. Les secousses qui détruisirent Thèbes le 11 août 1853, projetèrent, assure-t-on, à une certaine hauteur dans les airs, les eaux du lac Copais et celles de la mer près de l'île d'Eubée. Pendant le tremblement de terre du 21 août 1856, il se manifesta un ras de marée très-violent sur toute la côte de l'Algérie. La mer s'abaissa de 60 centimètres à Philippeville et s'éleva d'un mètre à Bône, où le champ de manœuvres demeura inondé pendant douze heures ; elle monta de 3 mètres à Djidjelli, et de 5 mètres à Bougie, où elle ne reprit son niveau

qu'après cinq ou six grandes oscillations. C'est cette même vague qui renversa les marins de l'avisio *le Tartare*. Pendant le tremblement de terre du 13 août 1868, qui ravagea les côtes du Pérou et de la Bolivie, la mer se retira entre Arica et Islay au moment de la première secousse, puis une vague de 20 à 25 mètres de hauteur se précipita sur les basses terres, où elle s'avança à 5 ou 6 kilomètres, jetant les navires à la côte entre Caldera et Coquimbo et renversant tout sur son passage.

**Effets sur le sol.** — Mais c'est principalement sur la terre ferme que les tremblements de terre deviennent désastreux. Il est presque impossible d'en énumérer tous les effets ; aussi me bornerai-je aux plus habituels.

Le sol peut éprouver des ébranlements dans tous les sens, et même des mouvements d'ondulation. C'est ce qui arriva en Calabre, s'il est bien constaté que des arbres aient été inclinés, puis relevés, ainsi que le rapporte Dolomieu sur la foi de témoins oculaires. Les couches stratifiées se rompent, de nouvelles fissures apparaissent dans les roches massives. Sans doute les commotions de l'écorce solide du globe ont beaucoup contribué au morcellement des arêtes et des pics granitiques de certaines montagnes. C'est aux tremblements de terre que M. Gaudry attribue l'abondance des blocs qui jonchent le sol de la Grèce, au pied des escarpements. En 1783, sur les rivages du détroit de Messine, des villas et des jardins furent ensevelis sous d'énormes avalanches rocheuses arrachées aux pentes voisines. Quelquefois la terre s'entr'ouvre, et il se produit des gouffres ou de grandes fentes, tantôt parallèles, tantôt entrecroisées, tantôt rayonnant autour d'un centre. Pendant le célèbre tremblement de 1783, on vit se former, en Calabre, dans les environs d'Oppido, des fissures dont la longueur dépassait souvent une lieue et dont la largeur variait de quelques centimètres à 10 mètres. Elles engloutirent quatre fermes et plusieurs habitations, et se refermèrent, les unes brusquement, les autres assez lentement. Près de la même ville s'ouvrit un gouffre de forme elliptique, dont la longueur était de 155 mètres et la largeur de 61 ; le sol s'affaissa sur beaucoup de points en petits effondrements circulaires, dont quelques-uns étaient bordés de fissures en étoile. A Mileto, les secousses déterminèrent des glissements de terrains comparables à ceux qui se produisent dans les montagnes, quand le sous-sol est peu à peu miné par les eaux. Deux métairies occupant une superficie de plus d'un demi-kilomètre carré descendirent dans le fond d'une

vallée. Le mouvement du sol avait donc aidé aux eaux souterraines.

La plupart des actions ci-dessus n'ont qu'un effet passager. Après un temps plus ou moins long, le sol, momentanément déplacé, reprend sa position primitive et son ancien aspect. Les phénomènes qui restent à décrire impriment, au contraire, à la surface terrestre, des modifications permanentes. Un certain nombre se rattachent intimement aux éruptions volcaniques.

**Exemples de modifications permanentes de la surface du sol.**

— Le 16 juin 1819, un tremblement de terre, qui affecta le delta de l'Indus et les contrées voisines, détruisit la ville de Bondj, et ensevelit sous les eaux de la mer une surface de 242 lieues carrées, sur laquelle étaient situés le village et le fort de Sindré, dont une des tours seulement resta visible. En même temps se forma un grand pli de terrain, appelé Ullah-Bund, sorte de plateau déprimé de 16 lieues de longueur sur 6 de largeur et sur 3 mètres de hauteur. Ces événements coïncidèrent avec une éruption du volcan de Dénodur situé dans le pays de Kutch.

Pendant le tremblement de terre de 1822, la côte du Chili se souleva de 1 mètre à Valparaiso et de 1<sup>m</sup>,30 sur d'autres points. En février 1835, nouveau soulèvement, dont l'amplitude varia, suivant les lieux, de 60 centimètres à 3 mètres. L'île de Santa-Maria, située au sud-ouest de la Conception, s'éleva de 2<sup>m</sup>,4 du côté sud, et de 3<sup>m</sup>,4 du côté nord. A la Conception même, il y eut un exhaussement de 1<sup>m</sup>,5, qui s'effaça peu à peu, et dont il ne restait plus de traces deux mois après.

En 1855, la côte de la Nouvelle-Zélande se souleva partiellement, et le plus grand exhaussement atteignit 3 mètres.

Le groupe de Santorin, dans l'archipel grec, nous offre le spectacle de mouvements du sol pour ainsi dire incessants, et intimement liés aux phénomènes volcaniques. Les îles de Thérésia et de Santorin furent séparées l'an 236 avant Jésus-Christ. L'île d'Hiera sortit des eaux 150 ans plus tard ; elle s'accrut de divers îlots en 19, 726, 1427 après notre ère. L'île de Miera-Kameni date de 1573, et celle de Nea-Kameni de 1707. Le sol de l'archipel continue à s'agiter ; une nouvelle île apparut le 29 janvier 1866, et les mouvements n'ont pas discontinué depuis cette époque. L'île de Délos, si fort à propos sortie des flots pour donner asile à Latone, n'a certainement pas une autre origine.

Dans les champs Phlégréens, près de Naples, le monte Nuovo,

dont la hauteur atteint 134 mètres, et qui mesure 2500 mètres de circonférence à sa base, se forma le 29 septembre 1538. C'est à ce jour qu'on s'accorde à rapporter le dernier exhaussement du temple de Sérapis.

En 1759, une éruption volcanique modifia complètement le sol d'un petit canton du Mexique, autrefois recouvert de plantations de cannes à sucre et d'indigo, et maintenant transformé en un désert connu sous le nom de Malpais. Du 29 juin au 29 septembre, ce canton avait été agité par de fréquents tremblements de terre. A la dernière de ces dates, une terrible secousse, accompagnée d'un bruit formidable, déterminâ, dans une plaine de 3 kilomètres de longueur, et sur une surface de 3 à 4 milles carrés, un bombement dont le point culminant atteignait 166 mètres. Des roches embrasées furent projetées dans les airs avec beaucoup de cendre; des milliers de petits cônes laissant échapper des vapeurs, et appelés pour cette raison *hornitos*, c'est-à-dire petits fours, recouvrirent toute la protubérance. En même temps se formèrent le long d'une grande fissure, qui traversait le bombement du nord-est au sud-ouest, six cônes volcaniques, dont le plus considérable, le Jorullo, atteint une hauteur absolue de 360 mètres, et domine de 526 mètres le niveau primitif de la plaine. Comparables à ceux de Murols, en Auvergne, les hornitos ne s'élèvent qu'à 2 ou 3 mètres.

**Connexion intime entre les mouvements du sol et les éruptions volcaniques.** — Il y a donc, en une foule de circonstances, une connexion intime entre les tremblements de terre et les éruptions volcaniques, qui sont ordinairement précédées de bruits souterrains, de trépidations et de secousses. On peut voir aussi à quel point il devient difficile d'établir une ligne de démarcation bien nette entre les mouvements orogéniques, les mouvements séculaires et les dénivellements momentanés ou permanents qui se manifestent à la suite des tremblements de terre ou des éruptions ignées. Ainsi se trouvent justifiées les réserves dont j'ai cru devoir accompagner la classification des mouvements du sol adoptée dans cet ouvrage. On comprendra également que j'aie tenu à réunir à cette place les relations les plus authentiques des tremblements de terre, quoique plusieurs des faits rapportés se rattachent à d'autres modes de manifestation de l'activité souterraine. Quelques exemples achèveront de montrer l'étroite liaison qui existe entre les mouvements du sol et les phénomènes éruptifs.

L'éruption du Vésuve de l'an 79, qui engloutit Herculanium et

Pompéi sous une pluie de cendres, et qui coûta la vie à Pline l'Ancien, fut précédée d'un violent tremblement de terre. Pendant celui de Lisbonne, on rapporte que des flammes et de la fumée s'élançèrent d'une crevasse ouverte près d'Alvidras, et que des bruits souterrains se firent entendre. Des fumées épaisses, des flammes et des torrents de boue sortirent de plusieurs fissures pendant les tremblements de terre de Messine en 1783 et de Cumana en 1797 ; des eaux chargées de boues, de sables et même de matières charbonneuses et de carapaces siliceuses d'infusoires s'échappent fréquemment du sol pendant les commotions qui ébranlent les Andes du Pérou et du Chili, et qui souvent annoncent les éruptions des volcans.

**Si la nature du terrain exerce de l'influence sur l'intensité des tremblements de terre ?** — On a recherché si la nature du terrain n'exerce pas une influence quelconque sur l'amplitude et l'énergie des secousses. A cet égard les avis sont partagés ; mais il me semble que les observations sont trop peu nombreuses et trop contradictoires pour qu'on puisse rien conclure. A Lisbonne, en 1755, la partie de la ville bâtie sur le basalte et sur le calcaire crétacé souffrit peu, et la partie construite sur les argiles tertiaires fut bouleversée. En Calabre, en 1783, les montagnes granitiques se ressentirent à peine de la première commotion, qui couvrit de ruines le sol tertiaire subapennin, consistant principalement en marnes et en grès sablonneux. On remarqua au Chili, pendant le tremblement de terre de 1822, que les constructions établies sur le roc subirent de moindres dommages que celles qui s'élevaient sur les alluvions. Ces exemples semblent indiquer que les roches dures et massives sont moins fortement ébranlées que les roches meubles et friables ; les suivants montrent le contraire. De Humboldt assure que le tremblement de terre de Caracas, en 1812, se fit sentir beaucoup plus vivement dans la chaîne des Andes, composée de gneiss et de micacites, que dans les plaines voisines, formées de terrains moins anciens et moins résistants. De la Bèche ressentit une légère secousse à la Jamaïque, dans une maison bâtie sur le calcaire, tandis que les habitants d'une plaine d'alluvions sablonneuses, questionnés une demi-heure plus tard, lui déclarèrent n'avoir rien remarqué. Il est vrai que l'auteur de cette observation n'y attache pas une grande importance, et déclare, avec raison, qu'il est souvent difficile de constater les faibles secousses. Une expérience qui m'est personnelle prouve qu'elles échappent presque toujours aux per-

sonnes en mouvement. Le 25 juillet 1855, vers une heure après midi, je marchais assez lentement dans une rue de Montbéliard, quand mon attention fut attirée par des fragments de tuiles et des graviers qui tombaient de quelques toits. Au même moment, les habitants sortirent des maisons, se demandant entre eux s'ils avaient ressenti le tremblement de terre. Je n'avais moi-même rien éprouvé; et tous les promeneurs que j'eus rencontrés m'assurèrent qu'ils ne s'étaient aperçus de rien, tandis que dans les maisons on avait ressenti une commotion sur l'intensité et la direction de laquelle les avis étaient unanimes. Toutes les fois qu'il s'agit d'un tremblement de terre affectant de grandes surfaces, et dont le siège est, par conséquent, fort profond, j'imagine difficilement qu'un terrain soit plus fortement ébranlé qu'un autre. Les alluvions et les sols meubles forment toujours, en effet, un revêtement de peu d'importance au-dessus des roches massives, granites et autres, et participent au mouvement de ces dernières sans qu'elles puissent le modifier en aucune façon. En pareille circonstance tous les terrains sont solidaires et obéissent à une impulsion commune.

**Effets mécaniques des tremblements de terre.** — En ce qui concerne la surface même du sol, les effets des tremblements de terre varient en raison de l'intensité, du nombre et de la nature des secousses. Dans l'Afrique, dans l'Europe centrale, et en général dans toutes les contrées où ces phénomènes ne se produisent qu'à de longs intervalles, quelques meubles sont déplacés, les lustres oscillent aux plafonds, les portes et les fenêtres entrebâillées se mettent en mouvement, les pendules s'arrêtent quelquefois et les objets en équilibre peu stable sont précipités. Mais il y a des pays, tels que le midi de l'Italie, la Grèce et l'Asie Mineure, le Japon, le Pérou et le Chili, où les tremblements de terre arrivent fréquemment et ont une violence extrême. Alors les habitations sont renversées, les villes détruites, des contrées fertiles et habitées se transforment en déserts, et quelquefois la famine et les épidémies viennent augmenter le nombre des victimes, qui se comptent par milliers et dizaines de milliers. Quoique les relations grossissent presque toujours les désastres, ils sont quelquefois énormes. On en jugera par les exemples suivants.

Le 7 juin 1692, le tremblement de terre de la Jamaïque détruisit la ville entière de Port-Royal, bâtie sur un promontoire sablonneux qui s'éboula dans la mer à la première secousse. Presque toutes les constructions de l'île furent renversées, et d'immenses

quartiers de roches précipités des montagnes. Le 18 mars 1703, la ville de Yédo, au Japon, fut complètement saccagée : on assure que 200 000 personnes trouvèrent la mort. La première secousse du tremblement de terre de Lisbonne se fit sentir à neuf heures quarante minutes du matin ; elle dura  $1/10^e$  de minute. Les principaux édifices s'écroulèrent, ainsi que le quart des maisons particulières, et le désastre fut augmenté par un incendie. Il périt 30 000 personnes. La première commotion du tremblement de terre de la Calabre, en 1783, anéantit en moins de deux minutes la plupart des villages et des constructions élevées dans un rayon de huit lieues autour d'Oppido. Les récits portent à 40 000 le nombre des victimes ; il y eut en outre 20 000 personnes qui périrent de misère et de maladie. A Mendoza, dans le Chili, tous les édifices, à l'exception de deux églises qui conservèrent leur façade, furent renversés par la première secousse du tremblement qui eut lieu le 20 mars 1861, à neuf heures du soir. Elle ne dura pourtant que 6 secondes. Telle était l'amplitude des oscillations, qu'on ne pouvait rester debout, et que les étoiles paraissaient s'agiter dans le ciel. Le nombre des victimes dépassa 6000. Le tremblement de terre du 13 août 1868, dont le centre était entre Arequipa et Tacna, sur la côte du Pérou, s'étendit au sud jusqu'à Copiapo, à l'est jusqu'à la Paz et au nord jusque bien au delà de Lima. La première secousse se fit sentir à cinq heures du soir et dura 7 secondes. Elle détruisit les villes de Tacna, Arequipa, Arica, Islay, Iquique, Pasco, Juan Cavelica, Ibarra et beaucoup d'autres. Il y eut, assure-t-on, 2000 victimes au Pérou et 20 000 dans la république de l'Équateur ; les pertes ont été évaluées à 300 millions de dollars. On remarquera que la première secousse est toujours la plus désastreuse.

**Effets sur les êtres vivants.** — Pour donner une idée de l'impression produite sur l'homme et sur les animaux par les tremblements de terre, je ne saurais mieux faire que de transcrire le passage suivant de Humboldt, qui avait observé si souvent ces phénomènes : « Ce qui nous saisit, c'est que nous perdons tout à coup » notre confiance innée dans la stabilité du sol. Dès notre enfance, » nous étions habitués au contraste de la mobilité de l'eau avec » l'immobilité de la terre. Le sol vient-il à trembler, ce moment suffit » pour détruire l'expérience de toute la vie. C'est une puissance in- » connue qui se révèle tout à coup ; le calme de la nature n'était » qu'une illusion, et nous nous sentons rejetés violemment dans » un chaos de forces destructives. Alors chaque bruit, chaque

» souffle d'air excite l'attention ; on se défie surtout du sol sur lequel on marche. Les animaux, principalement les porcs et les chiens, éprouvent cette angoisse ; les crocodiles de l'Orénoque, d'ordinaire aussi muets que nos petits lézards, fuient le lit des fleuves et courent en rugissant vers la forêt. » Disons cependant que l'homme s'habitue avec une singulière facilité à tous les périls qui menacent son existence : l'insouciance proverbiale du Napolitain n'est égalée que par l'apathie du Chilien et du Péruvien, sans cesse exposés aux mêmes dangers. Les seules précautions que puissent prendre les habitants des pays ravagés par les tremblements de terre, c'est de ne construire que des habitations basses et massives.

**Si les mouvements du sol ont quelque relation avec l'état de l'atmosphère et les saisons ?** — Quoiqu'on ait dit, les mouvements du sol n'ont aucune espèce de relation avec l'état du ciel et de l'atmosphère. Ils arrivent par tous les temps, à toutes les heures du jour et de la nuit, dans toutes les saisons. Ces dernières propositions ayant été contestées, je crois devoir fournir les preuves de leur exactitude. Mon argumentation consistera à établir que rien ne démontre l'influence de la saison ou de l'heure sur la fréquence des tremblements de terre. C'est, en effet, à ceux qui émettent une assertion de la justifier, et l'on est fondé à s'inscrire en faux contre toute énonciation qui ne repose point sur des preuves suffisantes.

Je constate d'abord des divergences considérables parmi les auteurs qui soutiennent la doctrine de la relation entre la saison et les tremblements de terre. D'après M. Perrey, qui a consacré une partie de sa vie à cette étude, ces phénomènes sont plus fréquents au solstice d'hiver qu'à toute autre époque. D'après MM. Hoff, P. Merian, F. Hoffmann, ils se produisent au contraire plus souvent aux équinoxes. Au Pérou, la saison des pluies précède les tremblements de terre d'après M. Pissis, et les suit d'après de Humboldt. On conviendra qu'en présence d'assertions aussi contradictoires, émanant d'hommes également consciencieux et compétents, il devient assez difficile de se former une opinion. Le doute est permis, ou plutôt la conviction commence à se faire, et l'on se tient en garde contre une théorie étayée sur de pareils arguments. Mais entrons plus avant dans le débat.

Il y a incontestablement une relation intime entre les tremblements de terre et les actions volcaniques. Toutes les éruptions

jettent dans l'atmosphère des torrents de vapeur d'eau à laquelle on peut, à la rigueur, attribuer une certaine influence dans la production du phénomène. Cette vapeur se dégage même des laves incandescentes, où elle se trouve réellement à l'état de combinaison ou de dissolution, quelque étrange que le fait paraisse. On a donc imaginé que les infiltrations des grandes pluies, en donnant une activité nouvelle aux phénomènes volcaniques, rendaient plus fréquents les mouvements du sol qui en dérivent. Telle est l'opinion formelle de M. Pissis, contredite, nous venons de le voir, par celle de Humboldt. En Europe et dans les parties voisines de l'Asie et de l'Afrique, c'est surtout en automne et en hiver que se manifestent les tremblements de terre, d'après M. Perrey, et dans ces régions règnent les pluies d'hiver. Mais pour oser conclure à l'influence des pluies, il faudrait d'abord constater que, dans toutes les saisons, le plus grand nombre des tremblements de terre est précédé de grandes averses, ce qui n'a pas été fait, à ma connaissance. Autrement quelle importance attacher à des moyennes, surtout (et c'est ici le cas) lorsqu'il n'existe qu'une différence extrêmement faible entre les chiffres opposés? Maintenant, en supposant que la vapeur d'eau soit une des causes des éruptions volcaniques, et, partant, des tremblements de terre, ce qui n'est démontré en aucune manière, nous ne savons pas si les eaux superficielles pénètrent par infiltration jusqu'à la pyrosphère, ou plutôt si elles ne rencontrent pas les laves dans leur canal d'ascension. Alors la vapeur d'eau rejetée par les volcans serait la conséquence et non la cause des éruptions; de sorte que les pluies, et par suite les saisons, n'auraient rien à voir dans le phénomène des tremblements de terre.

Un argument de plus grande valeur est tiré d'une explication déjà ancienne des tremblements de terre, qu'on a supposés occasionnés par des marées intérieures de pyrosphère. En effet, disent les partisans de cette hypothèse, pourquoi la matière fluide centrale n'obéirait-elle pas aux attractions de la lune et du soleil aussi bien que les eaux des mers? Spéculant sur cette donnée, M. Perrey a trouvé que sur 5388 tremblements de terre, il y en a 2761 qui arrivent aux syzygies et 2627 qui arrivent aux quadratures. La différence en faveur des premières s'élève donc à 134 ou à  $1/40^e$ . Le même auteur a reconnu que sur 991 tremblements de terre pris entre les années 1761 et 1800, il y en a 525 pour le périégée et 466 pour l'apogée; la différence en faveur du périégée se montant à 69

ou  $1/16^e$  environ. Mais ici encore il me semble que les différences sont trop peu sensibles pour qu'on en puisse rien conclure. J'ajouterai que les tremblements de terre se produisent toujours de la manière la plus imprévue et qu'ils ne sont soumis à aucune périodicité, ce qui devrait inévitablement arriver s'ils avaient la même origine que les marées. Ils ne coïncident nullement avec ces dernières, et les explications qu'on a voulu donner de cette absence de relation ne me semblent pas, je dois le déclarer, de nature à porter la conviction dans les esprits. Je me résume en disant que, jusqu'à présent, aucun des faits invoqués en faveur de l'influence de la saison sur les tremblements de terre et en faveur de leur périodicité ne me paraît concluant.

**Causes des tremblements de terre.** — A mon avis, toutes les suppositions imaginées, toutes les théories édifiées dans le but de remonter à la *cause des tremblements de terre*, laissent également à désirer. Sans doute, des fissures instantanées peuvent se produire çà et là dans l'écorce solide, par suite du retrait du globe, et provoquer quelque déplacement dans les couches mal assujetties. Tel est peut-être le point de départ de certains tremblements locaux superficiels et de certaines trépidations. Mais, en ce qui concerne les grands tremblements de terre, je crois que les hypothèses du déplacement d'une atmosphère souterraine, ou de l'expansion subite de la vapeur d'eau introduite par les infiltrations jusque dans le voisinage de la pyrosphère, ou de grands éboulements de couches profondes, ne sont pas mieux justifiées que celles de marées intérieures et de décharges électriques, qui nous mènent droit aux orages souterrains de Pline et de l'antiquité. Dans l'état actuel de la science, ne vaut-il pas mieux s'abstenir, et dire une fois de plus : Je ne sais pas ?

**Régions des tremblements de terre.** — Nous avons vu que les tremblements de terre affectent de préférence certaines contrées. Il nous reste à faire connaître ces dernières.

Les régions les plus exposées aux tremblements de terre sont aussi les plus riches en volcans. Il y en a trois sur le globe, savoir : la *région américaine*, la *région asiatico-européenne* et la *région asiatico-océanienne* (fig. 64).

**1° Région américaine.** — Elle s'étend le long de la Cordillère des Andes et sur les bords du grand Océan, depuis les volcans des montagnes Rocheuses de l'Orégon jusqu'au volcan de San-Clemente dans le Chili, c'est-à-dire entre le  $46^e$  degré de latitude nord et le  $46^e$

degré de latitude sud. On peut dire d'une manière presque absolue que les tremblements de terre y sont continuels, tandis que le reste du continent se trouve dans un état de repos relativement complet. Cette région se subdivise en huit provinces ou en autant de groupes volcaniques séparés par des intervalles sans volcans. La première est celle de l'*Oregon*. Elle ne possède que trois volcans en activité, le Baker, le Renier et le Sainte-Hélène, et les tremblements de terre y sont moins fréquents et moins désastreux qu'ailleurs. La deuxième, celle du *Mexique*, compte 6 ou 7 volcans, dont les principaux sont le Popocatepetl, l'Orizaba, le Toluca, le Colima, tous en activité. Dans cette région, la ville de Guanajuato peut être considérée comme le centre des tremblements de terre. La troisième province, celle de l'*Amérique centrale*, comprise entre le 16° et le 10° degré de latitude nord, renferme une trentaine de volcans, tous en activité, ou ayant été en activité depuis les temps historiques. Les plus connus sont le Turrialva, le Rincon; le Consequina, le San-Vincente, le Pocaya et le volcan de Fuego. Dans cette circonscription la ville de San-Salvador fut presque anéantie en 1854 et en 1873 par des tremblements de terre. Plus étendue que la précédente, la province de la *Nouvelle-Grenade* et de l'*Equateur* se trouve comprise entre le 5° degré de latitude nord et le 2° degré de latitude sud. Elle renferme 18 volcans, dont 10 en activité. Dans le nombre se remarquent le Tolima, le Sorata, le Purace, le Pichincha, l'Antisana, le Cotopaxi, Capac-Urcu. Dans cette région la ville de Quito et la contrée du volcan de Tolima sont fréquemment ébranlées par les tremblements de terre; la ville de Rio-Bamba fut renversée le 4 février 1797. La cinquième province se compose du *Pérou* et de la *Bolivie*. Elle renferme 14 volcans, au nombre desquels ceux d'Arequipa, de Sahama et de Gualatieri se maintiennent seuls en activité. Cette circonscription a été désolée par de fréquents tremblements de terre, notamment en 1586, 1630, 1655, 1687, 1716, 1747, 1822, 1868; à la plupart de ces dates, la ville de Lima et beaucoup d'autres éprouvèrent de grands désastres. Le *Chili* forme à lui seul la sixième province, qui s'étend du volcan de Coquimbo à celui de San-Clemente. On y remarque en outre l'Aconcagua, l'Antuco, le Panguipulli, le Corcovado et 18 autres volcans. Sur le nombre total de 24, treize seulement sont en activité. Aussi fréquents et aussi redoutables que dans la région précédente, les tremblements de terre ont détruit ou bouleversé bien des villes, parmi lesquelles il faut citer Mendoza, Valdivia, la Concepcion, Valparaiso.

et Coquimbo. Les plus célèbres sont ceux de 1590, 1651, 1754, 1760, 1822, 1828, 1835, 1837, 1861, 1868. En dehors de la chaîne des Andes existe une septième province qui se rattache cependant, par le Venezuela, aux régions précédemment énumérées. Je veux parler des *Petites-Antilles*, où l'on remarque 5 volcans, dont trois actifs, savoir le volcan de Saint-Vincent, celui de Sainte-Lucie et la soufrière de la Guadeloupe. C'est un centre de commotions qui s'étendent fort loin dans tous les sens, et qui affectent souvent le midi des Etats-Unis, les Grandes-Antilles, le bassin de l'Orénoque et le Venezuela. On cite, dans cette circonscription, le tremblement de terre de la Jamaïque, qui renversa la ville de Port-Royal en 1692; celui de 1751, qui détruisit la ville de Port-au-Prince, capitale de l'île de Saint-Domingue; celui de 1797, qui renversa la ville de Cumana; celui de 1812, qui fit subir le même sort à la ville de Caracas; celui de Cuba, en 1826, et celui de la Pointe-à-Pître, en 1843. Les îles *Galapagos*, où il existe un très-grand nombre de cratères éteints et deux seulement en activité, peuvent être considérées comme une huitième province américaine, en relation avec le centre de la Nouvelle-Grenade et l'Équateur.

2° *Région asiatico-européenne*. — C'est la plus vaste du globe, puisqu'elle s'étend, avec de grandes interruptions, il est vrai, des îles du Cap-Vert et des Açores aux montagnes Célestes du Tian-chan, sur une longueur de 120 degrés en longitude et sur une largeur de 30 à 40 degrés en latitude. Moins homogène, moins naturelle que la précédente et plus pauvre en volcans actifs, cette région se subdivise en cinq centres ou provinces inégalement distantes, et séparées par des intervalles très-considérables où les tremblements de terre se font néanmoins sentir plus violemment et plus habituellement que dans les contrées voisines. La première de ces provinces est celle de l'*Atlantique*, comprenant les îles du cap Vert, les Açores, les Canaries, le Maroc et le sud-ouest de la péninsule ibérique. Toutes ces contrées sont fréquemment agitées par des tremblements de terre, au nombre desquels il faut citer celui qui renversa la ville de Praya, dans les Açores, en 1614, et le célèbre tremblement de terre qui détruisit Lisbonne en 1755. Formé par l'*Italie méridionale*, le deuxième centre renferme trois volcans principaux en activité : l'Etna, le Vésuve et le Stromboli. C'est celui de tous où les tremblements de terre arrivent le plus fréquemment. La *Grèce* et les *îles de l'Archipel grec* constituent la troisième province, dont le centre d'activité est marqué par le volcan de San-

torin. Elle se rattache par les îles Ioniennes à la région précédente, et par l'Asie Mineure à la suivante, qui comprend l'*Arménie* et une partie de la *Perse* au sud du Caucase et de la Caspienne, et ne renferme qu'un seul volcan en activité, le Demavend. Fort éloignée de la précédente, la province chinoise de *Tian-chan* constitue un cinquième et dernier centre volcanique, souvent bouleversé par les tremblements de terre.

3° *Région asiatico-océanienne*. — Elle commence au volcan de Saint-Elie, dans la ci-devant Amérique russe, et consiste en une chaîne presque ininterrompue de cratères, passant par les *îles Aléoutiennes*, le *Kamtchatka* et les *Couriles*, le *Japon*, les *Philippines* et les *Moluques*, qui forment autant de centres particuliers. Un peu au sud de l'Équateur se termine cette première ligne de volcans, qui en rencontre perpendiculairement une deuxième dirigée de l'ouest à l'est. Celle-ci pourrait être érigée en une grande région, distincte des trois précédentes. Elle commence à l'*île de Barren*, dans le golfe du Bengale, passe par *Sumatra*, *Java*, *Sumbava* et les *petites îles de la Soûde*, la *Nouvelle-Guinée* et les *îles Salomon*, la *Nouvelle-Calédonie*, et se termine à la *Nouvelle-Zélande*. Ces diverses contrées peuvent être regardées comme autant de provinces volcaniques moins nettement limitées, il est vrai, que celles de la grande ligne courant du nord au sud. Les cratères se trouvent, en effet, fort rapprochés du côté de l'ouest, et se disséminent de plus en plus à mesure qu'on se dirige vers l'est et le sud. La ligne elle-même s'infléchit en forme d'S. L'*archipel des Mariannes*, ceux des *îles Tonga* et de la *Société* constituent des provinces qu'on peut rattacher, la première à la grande ligne volcanique nord-sud, la deuxième à la grande ligne est-ouest. Dans cette immense région asiatico-océanienne, les cratères éteints ou en activité sont infiniment plus multipliés que partout ailleurs. Les tremblements de terre y sont aussi fréquents et aussi désastreux que dans le Pérou et le Chili : témoin ceux qui ravagent si souvent le Japon et les Philippines.

On voit que l'immense majorité des volcans forme une ceinture presque continue autour de l'océan Pacifique. Là se trouvent groupés, suivant de Humboldt, les sept huitièmes des cratères en activité de tout le globe. Ceux de la grande ligne asiatico-européenne sont infiniment plus disséminés, je l'ai déjà fait remarquer. En dehors de ces régions plus ou moins naturelles, existent quelques centres volcaniques indépendants, qu'on pourrait qualifier de spora-

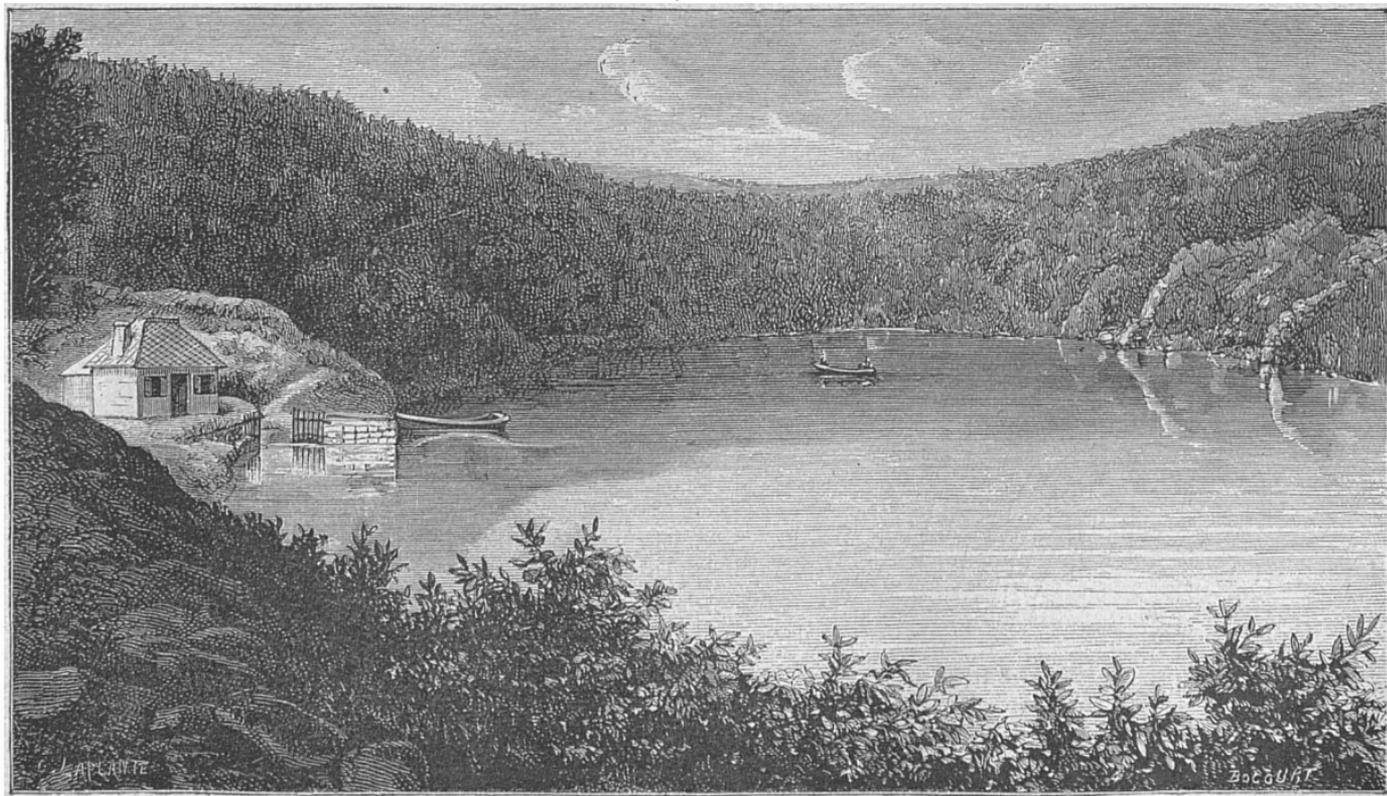


Fig 66. — Lac Pavin

dits. Ils consistent en un cône régulier formé par l'accumulation, autour de l'orifice souterrain, des cendres et des scories rejetées pendant les éruptions (fig. 68). Souvent ils émettent des coulées de laves, qui s'ouvrent une issue à la base ou sur les flancs du cône, dont elles renversent quelquefois toute une moitié. A chaque éruption violente le cône se modifie, soit qu'il s'élève par l'addition de nouvelles scories, soit qu'il se déprime par l'effet des

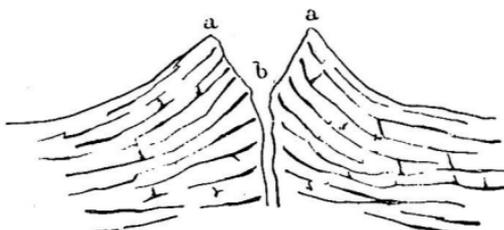


Fig. 67. — Coupe théorique d'un cratère de soulèvement. — *a*, bords du cratère; *b*, orifice de la cheminée dans le fond du cratère.

secousses, soit enfin qu'il reste ébréché par la sortie des laves. Le *cratère* est une cavité centrale ouverte dans le cône suivant son axe, et communiquant avec la *cheminée* souterraine du volcan, dont il forme la continuation au dehors. Le cratère peut se modifier aussi bien que le cône pendant les explosions. Quand le

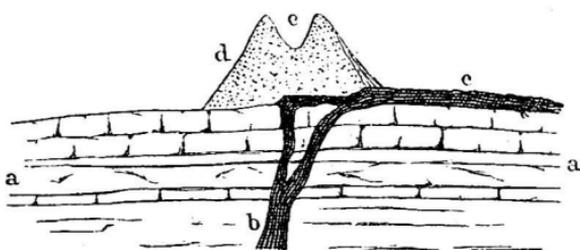


Fig. 68. — Coupe théorique d'un volcan à cône et à cratère. — *a*, sol géologique; *b*, cheminée; *c*, coulée de laves; *d*, cône; *e*, cratère.

volcan s'apaise, l'orifice souterrain demeure obstrué par l'accumulation des laves refroidies et des scories, qui comblent également une partie du cratère et en diminuent la profondeur. Dans les volcans éteints, ce dernier consiste seulement en une cavité arrondie en forme de coupe, d'où lui vient son nom. Comme exemple on peut citer le cratère du Pariou, le plus beau et le plus régulier de toute l'Auvergne. Il est presque inutile d'ajouter que l'orifice, au niveau du sol, de la cheminée du volcan, absolument inabordable pendant les éruptions, puis obstrué, reste toujours

inconnu, et à plus forte raison la cheminée elle-même. Tous les volcans ne sont pas également complets. Le cratère peut se trouver comblé par les éboulements; il manque aussi quand les scories ne sont pas rejetées en grande abondance ou quand la direction de la cheminée s'écarte de la verticale. Alors le cône se transforme en un monticule arrondi, tel que celui du volcan de Gravenoire près de Clermont; ce qui n'empêche nullement la coulée de laves de s'étendre quelquefois fort loin.

5° *Volcans mixtes*. — Le sol sur lequel repose le cône d'un volcan n'éprouve, dans la plupart des circonstances, ni affaissement ni soulèvement; de sorte que tout le relief de la montagne provient de l'entassement des scories. C'est ce qu'on peut observer en Auvergne avec la dernière évidence. Souvent aussi les anciennes coulées de laves augmentent beaucoup le relief du volcan, et forment au cône de déjection un soubassement plus vaste et plus élevé que le cône lui-même. Dans ce cas il est assez difficile de savoir si cette base a été ou non exhaussée par les mouvements du sol. Nombre de géologues ont admis l'affirmative, alléguant l'inclinaison bien manifeste des couches formées par les coulées autour de l'axe central du volcan. Des géologues non moins convaincus ni moins bons observateurs pensent au contraire que les coulées, mieux alimentées près du centre, s'amincissent à mesure qu'elles s'en écartent, et forment naturellement des plans inclinés au-dessus desquels s'étalent successivement les coulées plus récentes, dont la pente augmente ainsi peu à peu. L'expérience leur donne raison en ce sens qu'il est bien démontré qu'une coulée de laves peut se maintenir et se solidifier sur un plan assez incliné. Mais, d'un autre côté, on a en quelque sorte assisté au soulèvement du soubassement du Jorullo et d'autres petits volcans. Il paraît donc bien établi que, dans des cas sans doute exceptionnels, le terrain sur lequel repose un cône volcanique peut se soulever; mais je pense aussi que lorsque nous ne sommes pas témoins du phénomène, il est extrêmement difficile de le démontrer. Chaque volcan doit être l'objet d'une étude approfondie, à la suite de laquelle seulement on pourra se former une opinion sur la nature des événements qui lui ont donné naissance, et cette étude ne peut rien laisser préjuger relativement à d'autres volcans. C'est donc à peine si l'on ose adopter une cinquième catégorie de montagnes volcaniques, les *volcans mixtes*, qui consistent en un cône de déjection surmontant un cratère de soulèvement, et dont le Vésuve est l'exemple le

mieux caractérisé, s'il se rapporte réellement à cette catégorie (fig. 69).

Les volcans à cratère appartiennent à l'époque actuelle ; beaucoup sont éteints, ou du moins n'ont pas donné de signes d'activité depuis les temps historiques. Ils sont tantôt isolés, comme l'Etna et le

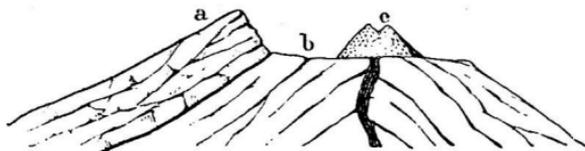


Fig. 69. — Coupe théorique du Vésuve. — a, Somma ; b, atrio del Cavallo ; c, cône actuel.

pic de Ténériffe, tantôt groupés, comme les volcans de l'Auvergne (fig. 70) et du Mexique. Dans ce cas, ils affectent une direction rectiligne, comme les cratères d'Auvergne ou du Chili ; ou une direction curviligne, comme ceux des Antilles et du Japon ; ou enfin ils se trouvent confusément rassemblés, comme les volcans de l'Islande et des Galapagos. La plupart ont une cheminée et un cratère uniques : ce sont les *volcans simples* ; d'autres consistent en un cône principal entouré de *cônes parasites* ou *adventifs* plus ou moins nombreux : ce sont les *volcans composés*. Le Vésuve, le Stromboli, les puys de l'Auvergne, appartiennent à la première catégorie ; l'Etna et le volcan de Bourbon, à la seconde.

**Marche générale d'une éruption volcanique.** — Voici quelle est la marche générale d'une éruption volcanique. Le phénomène s'annonce par des bruits souterrains, des trépidations du sol et même des tremblements de terre, qui cessent dès que s'écoule la lave. L'approche de celle-ci est quelquefois décelée par la fusion des neiges qui recouvrent le cône et le cratère. L'éruption débute d'ailleurs par une explosion due au dégagement d'une énorme quantité de vapeur d'eau et de gaz, qui projettent dans les airs des cendres, des scories, des quartiers de roc et des parcelles de lave incandescente, le tout retombant ensuite au pourtour de l'orifice, et contribuant à l'accroissement du cône. La vapeur d'eau se condense en nuages épais et orageux, déversant des torrents de pluie, qui transforment en boues les cendres volcaniques. Bientôt apparaît la lave ; elle s'épanche lentement du cône central ou des fissures ouvertes à sa base, ou enfin des cratères adventifs. L'éruption arrive alors à son maximum. Au fur et à mesure que s'écoule la lave, les phénomènes qui viennent d'être décrits diminuent d'intensité, le volcan s'apaise

peu à peu, malgré quelques recrudescences d'activité, la lave elle-même s'arrête, et bientôt des émanations gazeuses et des fumerolles

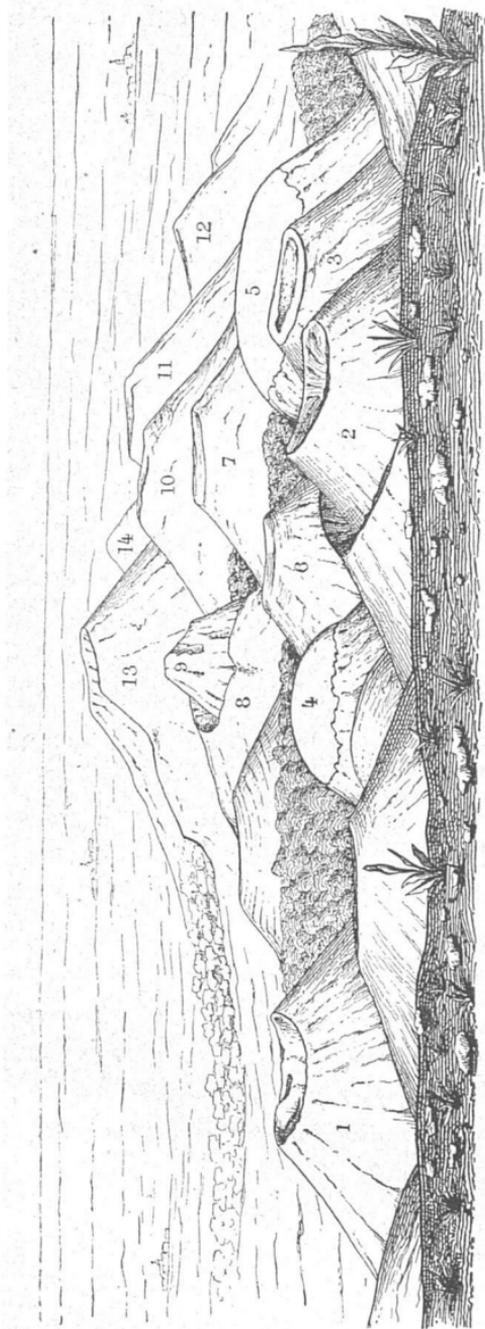


Fig. 70. — Volcans d'Auvergne, vus du sommet du puy de Dôme, côté nord.

1. Puy de Côme.
2. Puy de Pariou.
3. Puy des Goules.
4. Petit Sarcouy.
5. Grand Sarcouy.

6. Puy de Fraïsse.
7. Puy de Chaumont.
8. Puy des Gouttes.
9. Puy de Chopine.
10. Puy de la Corquille.

11. Puy de Junès.
12. Puy de la Nugère.
13. Puy de Louchadière.
14. Puy des Tressoirs.

témoignent seules de la récente éruption. Ces émanations persistent pendant un temps plus ou moins long, puis tout rentre dans un

calme absolu. Nous allons reprendre et décrire avec les détails qu'elles comportent les diverses phases d'une éruption volcanique.

1° *Bruits souterrains et trépidations.* — Ils précèdent toujours les éruptions, et cessent dès que la force expansive qui agitait l'écorce solide s'est ouvert une issue par la cheminée volcanique en refoulant la lave. Très-rarement ils persistent après la première explosion. On cite le volcan de Saint-Vincent, dans les Antilles, dont l'éruption du 30 avril 1812 fut précédée et suivie de tremblements de terre, qui durèrent dans la vallée de l'Ohio et à Caracas du mois de décembre 1811 jusqu'en 1813. Mais, dans ce cas particulier, y eut-il bien relation de cause à effet entre ces phénomènes ?

2° *Chaleur dégagée avant l'éruption.* — A l'approche de la lave, qui monte lentement vers le cône, il se dégage toujours une grande chaleur. Les effets en deviennent quelquefois sensibles, et annoncent une éruption prochaine. Alors les neiges éternelles recouvrant les immenses volcans des Andes se fondent, et se transforment en torrents, qui ravagent les contrées basses, en même temps qu'apparaissent dans leur nudité les flancs noircis de la montagne. Les explosions du Cotopaxi sont indiquées de cette manière, et, d'après de Humboldt, les parois du cône deviennent quelquefois incandescentes et brillent d'une lueur rougeâtre. En 1740 et en 1744, la calotte de neige qui recouvre d'habitude cet énorme volcan fondit en quelques heures. M. Pissis rapporte un fait également remarquable. Le 2 août 1861, un cratère nouveau s'ouvrit sur l'emplacement d'un glacier dans le centre volcanique de Chillan, au Chili. Vers le commencement de novembre, une masse énorme de glace et de scories fut précipitée dans la vallée voisine de San-Gertrudis, rasant, à la lettre, le fond de cette vallée, couverte alors de forêts, et la laissant remplie, sur un espace de plus de douze lieues, de troncs d'arbres, de scories et de quartiers de roc. Le même auteur pense que les eaux de la fonte de la glace ont beaucoup contribué à augmenter la violence de l'éruption, en s'infiltrant dans le foyer volcanique.

3° *Éruption des vapeurs et des gaz.* — La sortie de la lave est précédée par une énorme explosion de vapeur d'eau, entraînant ordinairement des gaz en assez faible quantité. C'est le plus souvent de l'air, de l'acide carbonique, de l'hydrogène carboné, de l'acide sulfureux, de l'acide chlorhydrique et de l'acide sulfhydrique. Mais la vapeur aqueuse domine de beaucoup. Elle s'élance verticalement en une colonne immense, qui s'élève quelquefois à plusieurs mil-

liers de mètres, et s'étale horizontalement à son sommet de manière à simuler un pin ou un champignon (fig. 71). Les nuages ainsi formés, dans lesquels la cendre ne tarde pas à intervenir, s'étendent beaucoup dans tous les sens, et se prolongent quelquefois très-loin du côté où le vent les chasse. Telle en est l'épaisseur qu'ils obscurcissent le ciel et qu'on a vu parfois une nuit profonde succéder au jour en peu d'instant. Ces nuages se chargent promptement d'électricité; l'éclair brille dans leur sein, et le grondement

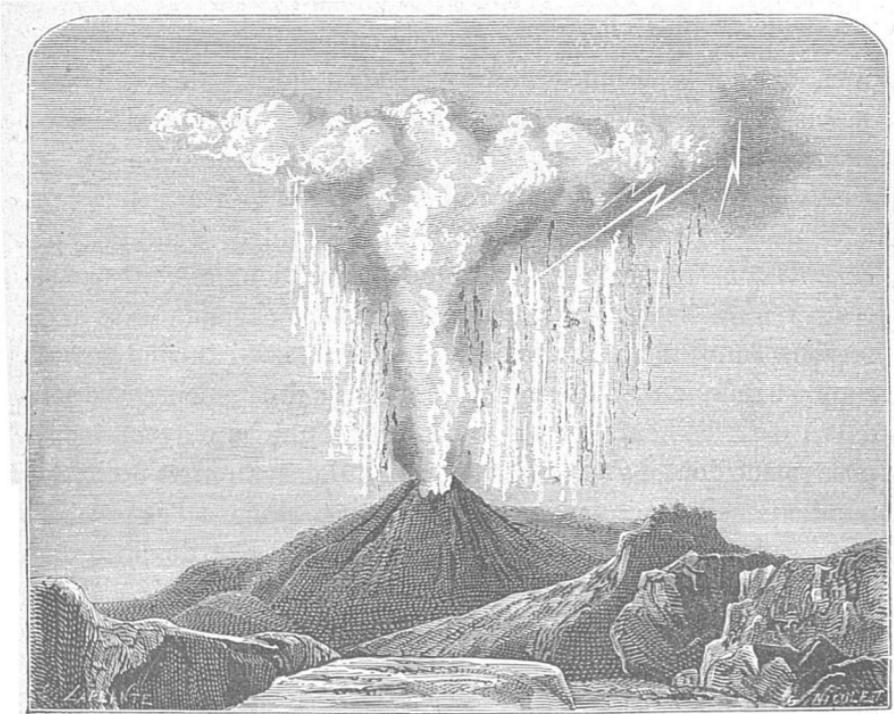


Fig. 71. — Une éruption volcanique : première phase.

du tonnerre vient s'ajouter aux détonations du volcan. On assure que des orages électriques se forment aussi dans les nuages composés uniquement de cendre sèche; les Italiens ont donné le nom de *ferilli* aux éclairs particuliers qui s'y manifestent. La vapeur aqueuse ne tarde pas à se condenser et à retomber en pluies diluviennes, ordinairement mêlées de cendre, pour donner naissance à des torrents boueux, dont les ravages peuvent s'étendre au loin. Tant qu'elle ne contient pas de cendre la vapeur reste blanche; mais elle noircit en proportion des poussières solides qui s'y introduisent.

Le premier effet de l'éruption est donc l'ouverture violente de la

cheminée et du cratère par l'expansion subite de la vapeur aqueuse. En même temps qu'elle s'élève dans les airs, cette vapeur projette à des hauteurs énormes les quartiers de roches et les scories qui obstruaient la bouche du volcan. Les cendres, puis les parcelles de laves ne se montrent que plus tard. Cette première explosion est ordinairement accompagnée d'une détonation formidable, à laquelle succède un bruyant sifflement avec de petites détonations intermittentes, aussi longtemps que dure l'émission des vapeurs.

4° *Projection des cendres et des scories.* — Les *cendres* consistent en une poussière grise d'une extrême ténuité. On admet généralement qu'elles proviennent d'une véritable porphyrisation, contré les parois de la cheminée, de parcelles de laves refroidies et solidifiées. Cependant la quantité en est parfois si prodigieuse qu'on hésite à leur attribuer toujours une pareille origine, et l'on se demande si elles ne résulteraient pas plutôt d'un froissement ayant sa cause dans l'ascension même de la colonne de lave, dont les parties supérieures, refroidies par le contact des parois de la cheminée, se trouveraient dans un état moléculaire analogue à celui du zinc, qu'une simple trituration réduit en poussière dès qu'il commence à se solidifier. C'est d'ailleurs là, on le comprend, une pure hypothèse, le phénomène dont il s'agit étant de ceux qui demeureront probablement à jamais inaccessibles à l'observation, sinon à l'expérience. Les *scories* ne sont autre chose que des parcelles de lave projetées dans les airs à l'état solide ou à l'état de fusion ignée. Dans ce cas elles prennent souvent une forme ovoïde, allongée, qui les fait ressembler à une poire ou plutôt à un fuseau fortement renflé à son milieu. On les appelle alors *bombes volcaniques*. Elles sont toujours assez rares. Sur le versant nord du puy de la Vache, en Auvergne, on en voit un grand nombre, dont le volume dépasse celui de la tête. Les scories ordinaires consistent en fragments irréguliers, tordus, contournés, remplis de vacuoles et de boursouflures, et quelquefois finement poreux et surnageant à la surface de l'eau. Ce sont alors les *pierres poncees*. Quand les fragments ne dépassent pas la grosseur d'un pois ou d'une noix, on les appelle *lapilli* ou *rapilli*. On peut observer d'ailleurs, dans les déjections volcaniques, tous les passages entre la cendre la plus fine et les quartiers de rochers de plusieurs mètres cubes.

Dès que les matériaux qui obstruaient l'orifice d'un volcan ont été lancés dans les airs par la première explosion, la vapeur d'eau et les gaz s'échappent d'abord à l'état de pureté, ou à peu près. Mais

à l'approche de la lave, les cendres ne tardent pas à se mêler à la vapeur, à laquelle elles finissent quelquefois par se substituer entièrement. A leur tour les rapilli et les scories se mêlent à la cendre et à la vapeur, et cette projection incessante de fragments de tout format ne s'arrête ou ne se ralentit qu'au moment où la lave commence à déborder le cratère. Alors est terminée la première phase de l'éruption, et quelquefois toute l'éruption, beaucoup de volcans ne laissant jamais échapper de laves. Ce sont ordinairement les plus grands et les plus élevés, par exemple les volcans des Andes du Pérou et de la Bolivie, à l'exception de l'Antisana.

La cendre et tous les matériaux solides rejetés pêle-mêle avec elle ne tardent pas à retomber dans le voisinage du cratère. Il s'opère même une sorte de triage, analogue à celui que nous avons reconnu dans la dispersion des alluvions. Les gros blocs de rochers, lancés moins haut, retombent les premiers, puis les scories de grand volume, puis les lapilli, puis enfin les cendres. Mais ces dernières, chassées par le vent, sont emportées quelquefois à des distances prodigieuses, et se déposent fort loin du lieu de leur origine. J'en ai donné plus haut de nombreux exemples. Assez rarement, les cendres sortent du volcan sans être projetées, et s'écoulent, à la manière d'un torrent, de fissures qui s'ouvrent sur les flancs du cône, ainsi qu'il arriva au Vésuve pendant l'éruption du 26 octobre 1822. C'est principalement aux nuages de cendres qu'est due l'obscurité accompagnant beaucoup d'éruptions volcaniques. Pendant la fameuse catastrophe de l'an 79, les ténèbres envahirent la Campanie. En 1766, à la suite d'une éruption de l'Hécla, il y eut une obscurité complète à Glaumba, localité située à plus de 50 lieues du volcan. Pendant celle du Vésuve de 1794, la nuit était si profonde à Caserte qu'on fut obligé d'allumer des flambeaux au milieu du jour. Le 1<sup>er</sup> mai 1812, à la Barbade, il se fit à midi une obscurité profonde occasionnée par les cendres du volcan de Saint-Vincent, distant de 167 kilomètres. En 1835, pendant une éruption du Cossibrina, la lumière était encore sensiblement affaiblie à la circonférence d'un cercle de 296 kilomètres de rayon. Mais l'exemple le plus étonnant de l'obscurité produite par les cendres est fourni par le volcan de Tamboro, dans l'île de Sumbava, qui fait partie de l'archipel de la Sonde. La nuit s'étendit jusqu'à Macassar dans l'île de Célèbes, et dura plusieurs jours consécutifs avec quelques intermittences. On trouvera plus loin le récit de cette éruption.

La cendre ne retombe pas constamment à l'état pulvérulent

Nous avons vu que souvent elle est entraînée par les pluies qui se précipitent du nuage orageux du champignon et la transforment en boue. C'est ainsi qu'en l'an 79 Herculanium fut enseveli sous des torrents de boue, tandis que Pompéi périt sous une pluie de cendres sèches. Le 19 février 1845, les courants boueux du Tolima entraînèrent des blocs de glace et de rochers jusque dans le rio Magdalena, et ensevelirent, sous une couche de vase de 7 à 8 mètres d'épaisseur, une superficie de quatre lieues carrées. Il y eut, assure-t-on, plus de 1000 victimes. Les torrents de boue sont d'ailleurs assez fréquents dans la chaîne des Andes. La boue provient quelquefois de l'intérieur même du volcan, où elle est contenue dans de vastes cavités dont on ne s'explique pas facilement l'origine, mais dont l'existence est démontrée par le fait suivant. Dans la nuit du 19 au 20 juin 1698, un des volcans des Andes de Quito, le Cargairazo, s'écroura de manière que de l'ancien cône il ne subsiste plus que deux énormes piliers. En même temps de grandes quantités de boues contenues dans les flancs de la montagne trouvèrent une issue, et se répandirent au dehors, recouvrant un espace de près de sept lieues carrées de tuf volcanique délayé et de vase argileuse remplie de petits poissons morts. Ces derniers appartenaient à une espèce répandue dans les ruisseaux du pays ; quelques-uns ont sans doute pénétré, par l'intermédiaire de courants souterrains, dans les cavités où ils se sont multipliés. Tout étonnant qu'il paraisse, ce fait, rapporté par de Humboldt, n'est pas unique sur le globe, et l'on sait que des poissons peuplent les nappes d'eau souterraines du Sahara et ressortent quelquefois par les orifices artésiens.

**Volume des cendres.** — Le volume des cendres est souvent prodigieux. Elles forment des couches stratifiées de plusieurs mètres d'épaisseur, mêlées de scories, dans le voisinage du puy de la Vache, en Auvergne. Pompéi est enfoui sous la cendre. Pendant l'éruption du Vésuve de 1822, il en tomba une couche de 1<sup>m</sup>,30 d'épaisseur, et la plupart des châtaigniers de la Somma périrent étouffés. En 1835, du 20 au 23 janvier, les cendres du Cossibrina, volcan de la chaîne des Andes, projetées sur un cercle de 296 kilomètres de rayon, recouvrirent une surface de 275 250 000 000 mètres carrés. Elles formaient une couche dont l'épaisseur s'élevait en moyenne à 127 millimètres dans le voisinage du volcan, mais qui s'amincissait graduellement jusqu'aux limites du cercle. On a donc pu admettre que les cendres constituaient un cône dont la

base avait 296 kilomètres de rayon et dont la hauteur était de 127 millimètres, et l'on a trouvé, par un calcul bien simple, que le volume des cendres non tassées s'élevait à 41 652 000 000 mètres cubes, équivalant à 3 888 000 000 mètres cubes de lave compacte.

**Force de projection des volcans.** — La force de projection est non moins étonnante que la quantité des matériaux de toute nature sur lesquels elle s'exerce. On ne peut l'estimer d'une manière absolue, car elle varie certainement suivant les volcans et suivant les éruptions. De cette manière on s'explique que d'Aubuisson ait pu la croire inférieure, et M. Élie de Beaumont supérieure à celle d'un boulet de canon. En 1799, les blocs lancés par le Vésuve restèrent de 20 à 25 secondes dans les airs, et s'élevèrent à près de 4 kilomètres ; on en a vu retomber sur la Somma, à 2 kilomètres, et même à Rosco-Reale, à 4 kilomètres du cratère. En 1822, des quartiers de rocs furent lancés par un des volcans de l'Islande à une distance de 11 kilomètres. On assure que des masses de 10 mètres cubes ont été projetées par le Cotopaxi jusqu'à 3 lieues de la montagne.

**Lueurs et flammes.** — Pendant toute la durée de l'éruption, mais surtout à l'époque de sa plus grande activité, alors que sont expulsées les cendres et les scories et que la lave va paraître, la colonne d'ascension et les nuages du dôme en champignon brillent pendant la nuit d'une lueur rougeâtre, qu'on est porté à attribuer à des flammes. Ce n'est pourtant que le reflet de la lave incandescente. Les flammes ne se montrent jamais que rarement et accidentellement. Elles proviennent de la combustion de gaz hydrogénés, qui s'échappent par les fissures des cratères ou qui sortent des flancs de la montagne. Elles ne forment donc, le plus souvent, que des traînées basses et déprimées, de faible éclat, et ne contribuent, en aucune manière, à l'illumination de la colonne ascendante. Il faut même quelque attention pour les découvrir, et pendant longtemps les explorateurs des volcans en ont mis l'existence en doute. Cependant Spallanzani signale des flammes bleuâtres dans le cratère de Vulcano ; Pilla en a vu dans celui du Vésuve, et M. Élie de Beaumont en a également aperçu qui s'échappaient des fissures latérales de l'Étna, avec un bruit de chalumeau. Elles étaient de couleur livide, et provenaient de la combustion de l'hydrogène sulfuré. Bory de Saint-Vincent a également aperçu des flammes dans le volcan de l'île de Bourbon.

Avant de terminer ce qui a rapport à la période de l'éruption précédant l'arrivée des laves, je dois indiquer ce que deviennent les matériaux solides de toute nature rejetés au dehors. On peut dire, d'une manière générale, qu'ils s'accumulent autour du volcan, en formant des couches grossièrement stratifiées, dont l'épaisseur est d'autant plus grande qu'on se rapproche davantage de l'orifice central. C'est sur le pourtour immédiat de cet orifice qu'ils s'entassent de préférence : telle est l'origine des cônes et des cratères. Les matériaux ainsi amoncelés demeurent sans aucune liaison entre eux ; aussi avons nous vu que le volcan change continuellement de forme. Quand on s'élève sur les talus du cône ou qu'on pénètre dans l'intérieur du cratère, les scories incohérentes s'éboulent sous les pieds avec un bruit presque métallique, et l'on peut descendre en quelques instants une pente escarpée en se laissant, en quelque sorte, entraîner par elles. Si l'on étudie la disposition même des matériaux, ce qui est facile dans les volcans à moitié démolis de l'Auvergne, on saisit à peine quelques indices de stratification, et l'on voit que les scories et les quartiers de rocs sont confusément entassés sans distinction de grosseur. Si l'on s'éloigne du cône, on trouve au contraire des couches nettement stratifiées ; mais elles ne sont plus composées que de menus fragments de lapilli et de cendres, ordinairement consolidés par les infiltrations et transformés en roches de diverse nature connues sous les noms de *tufs volcaniques*, *pépérites*, *tufas*, *pépérinos*, *moyas*, *trass*, *wackes*, selon les contrées. A leur surface ou dans leur intérieur gisent çà et là des bombes volcaniques. Beaucoup plus rarement les cendres retombent dans la mer ou dans des amas d'eau, et forment de véritables couches sédimentaires, qui peuvent renfermer les débris des animaux de l'époque. Ces diverses accumulations de matériaux incohérents ou stratifiés, ainsi que les coulées de laves, sont réunies sous la dénomination de *terrains* ou *formations volcaniques*.

5° *Arrivée de la lave.* — Après tous les préliminaires qui viennent d'être décrits, la lave paraît enfin dans le cratère. Ce serait ici le lieu de rechercher les causes de son ascension, si l'on osait espérer d'arriver à quelque résultat précis. Mais il faut bien confesser notre ignorance, à cet égard presque absolue. Disons seulement, chemin faisant, que si l'expansion de la vapeur d'eau n'est pas sans action sur le phénomène, elle n'en constitue nullement la cause essentielle, comme on l'a souvent prétendu. L'influence même de la vapeur aqueuse ne peut être niée. C'est la vapeur d'eau qui prépare les

voies à la colonne de lave ascendante en projetant au loin les matériaux qui obstruaient la bouche volcanique ; elle contribue sans doute aussi à son ascension, mais, selon toutes les probabilités, elle n'agit que pour bien peu de chose. C'est ce que j'essaierai de démontrer plus loin.

Une fois dans le cratère, la lave bouillonne ordinairement à sa surface, par suite du dégagement des gaz et surtout de la vapeur d'eau qui en imprègne toute la masse, et dont les bulles viennent crever au dehors avec le bruit d'un coup de tonnerre qui ne se prolonge pas ; ces bulles projettent des cendres et éclaboussures incandescentes. En même temps la lave se gonfle, s'élève lentement, pour s'affaisser ensuite et se déprimer. C'est ce que Spallanzani put observer, le 4 octobre 1788, dans le cratère du Stromboli, où les oscillations duraient huit ou dix minutes et avaient une amplitude de 6 mètres environ. L'intumescence était en grande partie provoquée par des bulles de vapeur de plusieurs pieds de diamètre, qui s'élevaient, sans doute en grossissant jusqu'à la surface, où elles faisaient explosion. De la Bèche, qui put étudier les mouvements de la lave dans le Vésuve, s'exprime ainsi : « Après avoir vainement » tenté à plusieurs reprises, au commencement de 1829, d'observer » la masse fluide dans le cratère du Vésuve, j'eus le bonheur d'y » pouvoir monter le 15 février, par un jour assez calme pour que » les vapeurs, en s'élevant majestueusement..... laissassent voir par » moment la matière incandescente dans la bouche volcanique. » C'est une circonstance qui se présente rarement, vu que, s'il » existe dans l'air le moindre mouvement, les vapeurs empêchent » de rien distinguer. Aux détonations succédait un moment de » calme, suivi d'une violente explosion qui lançait à une hauteur » considérable des pierres et de la lave incandescente, celle-ci re- » tombant la dernière en petites masses d'une pâte molle sur les » flans du petit cône. Lorsque la vapeur était dissipée, on distin- » guait la masse incandescente, qui paraissait comme en ébullition » par le dégagement des matières gazeuses qui s'en échappaient. » Bory de Saint-Vincent vit de même bouillonner la lave qui remplissait jusqu'au bord le cratère du volcan de Bourbon, et qui oscillait en vagues de feu se propageant du centre vers l'extérieur. D'après Ellis, la lave bouillonne continuellement, et d'une manière vraiment effrayante, dans le cratère de Kilauea (île d'Hawaïi), qui forme comme un lac embrasé de niveau à peu près constant. La matière incandescente y est d'ailleurs déversée par une vingtaine de petits

cônes en activité, sur 51 qui s'élèvent dans son intérieur, de sorte que le grand cratère représente plutôt une sorte de réservoir. Une ligne noire continue, que Goodrick trouva, en 1824, à 100 mètres au-dessus du fond, marque le niveau où la lave était montée autrefois avant de s'ouvrir une issue.

6° *Écoulement de la lave.* — Dans les volcans à cône peu élevé la lave se déverse souvent du cratère. Le fait se produit plus rarement dans le Vésuve, et moins souvent encore dans l'Etna, où le cratère central rejette des laves à peine une fois sur dix. Nous avons vu que les grands volcans des Andes, sauf l'Antisana, ne donnent jamais de coulées. On doit en conclure que la force ascendante qui provoque la sortie des matières en fusion n'est point illimitée, et qu'elle ne peut élever une colonne de lave au delà d'une certaine hauteur.

Toutes les fois que l'émission des matières fluides n'a pas lieu par le cratère central (et c'est là sans doute le cas le plus fréquent), elle s'opère par des crevasses, qui s'ouvrent dans les flancs du volcan, ou par les cônes parasites qui en entourent la base. Ces deux manières d'être tendent à se confondre en une seule, parce que les cônes parasites se forment au-dessus des fissures par où s'échappe la lave. L'Etna en fournit de très-nombreux exemples ; néanmoins quelques-uns de ses cônes sont tellement éloignés du cratère principal, que plusieurs géologues admettent leur indépendance du grand volcan, ou au moins leur alimentation par une cheminée particulière. Les crevasses latérales sont ouvertes par la pression de la lave, qui monte peu à peu dans le cratère, et se fraye aisément une voie à travers les scories meubles et incohérentes dont le cône est formé. Il suffit souvent, pour cela, que le niveau de la matière fluide, dans le cratère, dépasse quelque peu celui du point où elle s'ouvrira une issue. Quelquefois la pression est telle qu'une moitié du cône se démolit, celle qui subsiste constituant un de ces cratères égueulés dont les puy de la Vache, de Lassolas et de Louchadière, en Auvergne, offrent de si beaux exemples.

Arrivée au bord des cratères ou des crevasses, la lave se répand au dehors dans toutes les directions en obéissant toujours à la pente, comme les autres liquides. Sa vitesse dépend de l'inclinaison du terrain, de la fluidité et de l'abondance de la coulée. En 1805, la lave du Vésuve parcourut 7 kilomètres en 1 heure pour arriver jusqu'à la mer. Un autre courant sorti du même volcan le 27 février 1834, ne parvenait à la mer que le 9 mars suivant. En 1819, la lave de

L'Etna franchit d'abord 3600 mètres en 24 heures, puis, au fur et à mesure que le torrent de feu perdait de sa chaleur et recevait une alimentation moins abondante, il ne s'avança plus que d'un mètre ou deux par jour ; et cependant, au bout de 9 mois, on le voyait encore progresser quelque peu. Dolomieu parle d'un courant qui ne chemina que de 3800 mètres en deux ans ; on en cite qui n'étaient pas complètement immobiles au bout de dix années. D'après Dolomieu, la vitesse des courants du Vésuve varie de 180 à 7200 mètres par heure ; celle des laves de l'Etna ne paraît jamais avoir dépassé 400 mètres dans le même espace de temps.

Les coulées, ai-je dit, s'étalent comme un liquide à la surface du sol. Quand elles arrivent dans une vallée, elles la descendent à la manière d'un cours d'eau, et s'y précipitent souvent en cascades de feu. S'il se présente une dépression, la lave s'y accumule, en formant un lac dont le niveau s'élève jusqu'à ce que la matière fluide puisse se déverser. Sur un terrain horizontal ou peu incliné la coulée s'élargit beaucoup, tant que la pente ne dépasse pas  $1/2$  ou 1 degré. On ne peut d'ailleurs formuler aucune règle précise, les nappes de laves courant aussi capricieusement que les liquides, et obéissant seulement aux lois de l'hydrostatique. Les cratères éteints de l'Auvergne offrent de très-beaux exemples de coulées refroidies dans les conditions les plus variées : je mentionnerai surtout celles de Volvic, de Louchadière, du Pariou, de Gravenoire, de la Vache et de Las-solas, du Tartaret, et la plus vaste de toutes, celle du volcan de Côme. La lave ravage tout sur son passage ; elle envahit et recouvre les terres cultivées, incendie les forêts, renverse les murailles, détruit les habitations et les villes. A son approche on voit les arbres se tordre et s'enflammer. Quelquefois leurs troncs carbonisés se conservent indéfiniment dans la profondeur de la coulée. Les scories, les quartiers de roc, les terres éboulées et même les pans des murs, confondus et entraînés pêle-mêle, cheminent lentement, plongés dans la matière incandescente ou nageant à sa surface. C'est principalement quand elle renverse un obstacle qui l'avait momentanément arrêtée que la lave devient redoutable. On peut alors la comparer à un fleuve embrasé qui aurait rompu ses digues. Cependant, elle s'avance, en général, avec assez peu de rapidité pour que l'homme et les animaux en évitent les atteintes. Par la chaleur qu'elle dégage et en même temps par la pression qu'elle exerce, elle produit dans certains cas des effets d'ailleurs assez limités de métamorphisme, c'est-à-dire qu'elle altère et modifie

plus ou moins la nature des roches avec lesquelles elle se trouve en contact (fig. 72).

Les dimensions des coulées varient en raison de la durée de l'éruption, ou, ce qui revient à peu près au même, de l'abondance de la lave, puis en raison du degré de fluidité de celle-ci. La grande

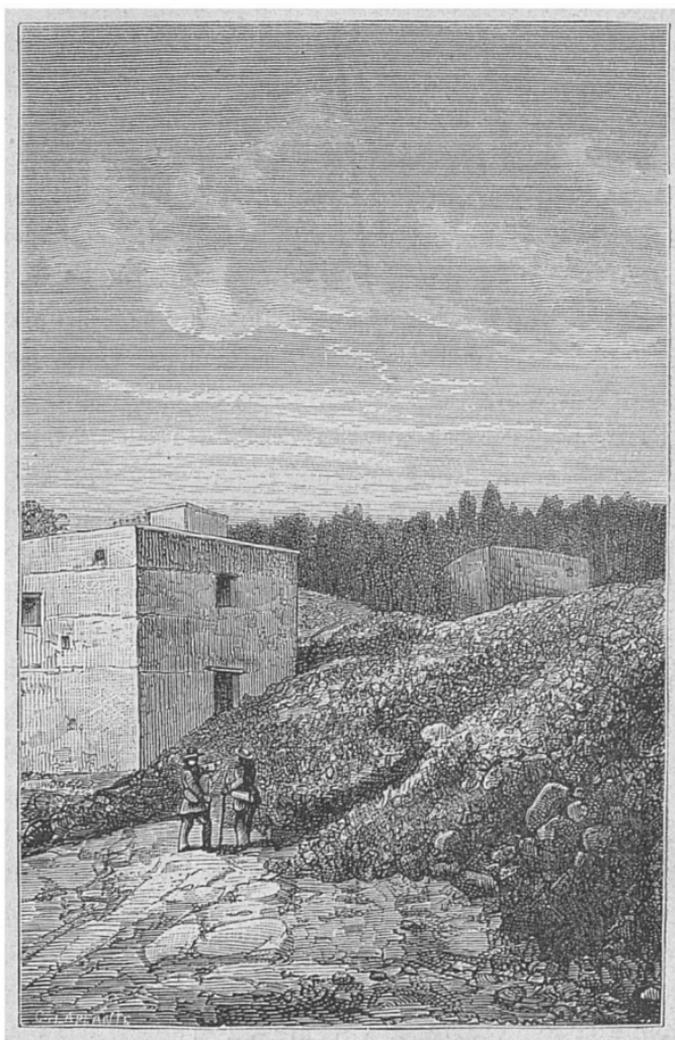


Fig. 72. — Une coulée de laves du Vésuve.

coulée du Vésuve de 1794, qui envahit Torre del Greco, a 4200 mètres de longueur sur une largeur qui oscille entre 100 et 400 mètres et sur une épaisseur de 8 à 10 mètres. La coulée de l'Etna qui menaça Catane en 1669, s'étend des Monti-Rossi à cette ville sur une longueur de 15 kilomètres et une largeur en moyenne de 3 kilomètres. La plus grande coulée du globe est sans doute celle du Skapta-Jokul,

en Islande. Elle date de 1783. Elle consiste en deux courants dirigés en sens inverse, dont l'un a 18 lieues sur 4, et l'autre 14 lieues sur 2, L'épaisseur atteint 30 mètres en moyenne et 40 mètres au plus. La coulée du volcan de Côme, en Auvergne, s'écarte également en deux branches, dirigées l'une au sud-ouest et l'autre au nord-ouest. La première a environ 7 kilomètres et la seconde 8 kilomètres de longueur; la plus grande largeur de celle-ci n'atteint pas 3 kilomètres, mais vers la base du volcan les deux coulées confondues mesurent ensemble plus de 4 kilomètres. On a essayé de cuber certaines coulées : je n'ai pas besoin d'avertir que les résultats de pareils calculs ne donnent jamais que des approximations, la profondeur de la couche de lave demeurant le plus souvent inconnue. Voici les chiffres qui paraissent offrir le plus de garantie. On porte à 5 millions de mètres cubes la coulée du Vésuve de 1797 et à 11 millions de mètres cubes celle du même volcan de 1794. Certaines coulées d'Auvergne atteignent, dit-on, 33 millions, et celle de Côme dépasse 57 millions de mètres cubes. La coulée de l'Etna de 1669 est évaluée à 1000 millions de mètres cubes. M. Dana porte à 5 milliards de mètres cubes le volume des laves vomies en 1840 par le Kilauea, et l'on estime que cette masse est cinquante fois plus grande que celle des matériaux enlevés pour le percement de l'isthme de Suez.

7° *Solidification de la lave.* — A la sortie du cratère la lave possède une température fort élevée, qui dépasse 1000 degrés sans atteindre cependant 1500 degrés. C'est du moins ce qu'on peut conclure d'une expérience de Davy, qui obtint la fusion immédiate d'un fil d'argent de  $\frac{1}{30}$  de pouce de diamètre, en le plongeant dans une lave du Vésuve de 1820, mais qui ne put, dans les mêmes circonstances, déterminer la fusion d'un fil de fer de pareille dimension. Sans avoir la fluidité de l'eau la lave est très-liquide. Vers 650 degrés elle commence à se solidifier, en devenant de plus en plus épaisse et visqueuse. On peut alors, en la pressant dans des moules métalliques, lui donner des empreintes et en fabriquer ces sortes de médailles grossières que l'on vend à Naples. Le point de fusion de la lave solidifiée et refroidie dépasse toujours 650 degrés; il paraît s'élever d'autant plus qu'elle contient moins d'eau en dissolution, de sorte que souvent les coulées demeurent fluides à une température bien inférieure à celle qui serait nécessaire pour les refondre. Le refroidissement s'opère avec une lenteur extrême. Spallanzani vit fumer, puis s'enflammer son bâton de voyage enfoncé dans une crevasse

d'une coulée de l'Etna arrêtée depuis 11 mois, mais encore rouge dans son intérieur, et qui émettait beaucoup de chaleur à certaines places. Des morceaux de bois jetés par Hamilton dans les fentes d'une lave du Vésuve sortie depuis trois ans et demi, et tout à fait solidifiée, prirent feu instantanément. Au dire de Massa, la coulée de la grande éruption de l'Etna de 1669 n'était pas entièrement refroidie au bout de 8 ans. On cite d'autres laves de l'Etna encore fumantes au bout de 26 ans. La grande coulée de l'Islande dont il a été question n'avait pas complètement perdu sa chaleur 11 ans après son émission. Il y a d'ailleurs beaucoup d'irrégularité eu égard à l'espace de temps employé par la lave à se refroidir. Cela dépend sans doute, en grande partie, de sa température au moment de la sortie. Tandis que la grande coulée de *Fosso grande*, rejetée par le Vésuve en 1858, a mis plusieurs mois à se solidifier, la plus importante de celles que ce volcan produisit en avril 1872, et dont l'épaisseur était d'environ 6 mètres, au dire de M. de Verneuil, s'est épanchée et consolidée en un jour et demi seulement.

**Fumerolles.** — Pendant toute la durée du refroidissement, la lave laisse échapper de grandes quantités de vapeur d'eau, qu'elle tenait en dissolution de la même manière que l'argent fondu peut renfermer de l'oxygène. Mais là se borne la ressemblance, l'oxygène se dégageant brusquement, et avec une explosion qui produit le rochage, tandis que la vapeur aqueuse se dissipe lentement, et d'une manière continue. Longtemps encore après sa sortie la lave émet, par conséquent, des vapeurs et des fumées plus ou moins épaisses, presque entièrement composées de vapeur d'eau. Ce sont les *fumerolles*, qui persistent jusqu'au refroidissement complet.

**Consolidation de la lave.** — Au fur et à mesure que se dissipe la chaleur la viscosité augmente et la marche du courant se ralentit. Bientôt il se revêt à l'extérieur d'une couche de scories noirâtres, qui finissent par se souder et par constituer une croûte solide dans l'intérieur de laquelle continue de cheminer le courant, avec un bruit que Spallanzani compare à celui de l'eau qui s'écoule dans les canaux d'irrigation couverts de glace. Quand vient à cesser l'alimentation, ce fourreau s'affaisse sur lui-même, et ses débris jonchent le sol. D'autres fois il acquiert assez de solidité pour persister, et il renferme alors dans son intérieur une véritable grotte. Maillard en indique plusieurs à l'île Bourbon. La plus grande qu'il ait vue ressemblait à un long boyau, d'un diamètre assez uniforme de 4 à 5 mètres et d'une étendue de plusieurs centaines de mètres. Elle

est terminée à sa partie inférieure par le plan de lave refroidie, et en haut par un éboulement qui empêche de la remonter plus loin. Ces cavernes rendent dangereuses les excursions dans le pays brûlé (c'est ainsi qu'on désigne les abords du volcan de Bourbon) parce que les fourreaux crèvent parfois sous les pieds du touriste, qui tombe dans leur intérieur.

**Aspect des coulées refroidies.** — Après un temps d'une longueur variable, les coulées de laves finissent par être complètement solidifiées et refroidies. Elles offrent alors des aspects assez variés, toujours en relation avec la pente et la configuration du terrain. Quand celui-ci est horizontal ou peu incliné, la lave, largement étalée, se présente comme une masse compacte recouverte de scories, et plus ou moins remplie de fissures de retrait. Si la pente s'accroît, le courant se rétrécit, et les fissures augmentent en nombre et en importance. Le champ de laves est alors comme un immense chaos : on dirait une mer dont les vagues se seraient solidifiées. Des blocs de tout format, de toutes dimensions, jonchent le sol, confusément entassés en petites collines séparées par des ravines qu'on ne franchit qu'avec peine. Toutes ces pierres, qui rendent la marche très-pénible, proviennent, pour la plupart, de la coulée elle-même, qui s'est profondément moreclée et fracturée par l'effet du retrait. Ces champs rocaillieux, où l'on ne voit de loin en loin que de maigres touffes de graminées et quelques buissons épineux, ont reçu en Sicile le nom de *sciarre*, et en Auvergne celui de *cheires*. La plus vaste et la plus sauvage de celles de l'Auvergne, la cheire du volcan de Côme, répond exactement à la description ci-dessus.

Quelquefois les coulées sont sillonnées par de grandes rides, ou bourrelets, dont la convexité regarde tantôt le haut, tantôt le bas de la pente. Dans le premier cas, elles sont formées par les parties consolidées de la croûte superficielle, arrêtées dans le milieu du bourrelet par un obstacle du terrain, et sous lesquelles la lave a continué son trajet ; dans le second, le bourrelet a été retenu par ses extrémités. Sur les pentes qui dépassent 25 ou 30 degrés, les coulées ne peuvent, en général, se fixer ; mais elles laissent des traces de leur passage, consistant en deux cordons latéraux de scories, qui marquent les bords de la coulée comme les moraines latérales indiquent ceux d'un glacier. En même temps, l'espace intermédiaire demeure recouvert de débris et de scories, comparables aux matériaux de la moraine profonde d'un glacier qui aurait disparu par la fusion.

8° *Fin de l'éruption.* — J'ai déjà dit qu'aussitôt que la lave com-

mence à se répandre au dehors, on voit peu à peu diminuer le nombre et l'intensité des explosions; l'émission des gaz et des vapeurs se ralentit rapidement, et après quelques intermittences, le volcan ne donne plus que de faibles marques d'activité. La lave finit par s'arrêter; elle se fige dans le cratère, qu'elle obstrue, et traverse, dans les coulées, toutes les phases de refroidissement qui viennent d'être décrites. Mais sa consolidation n'est pas toujours le dernier terme d'une éruption. Souvent les fûmerolles et les émanations gazeuses subsistent fort longtemps dans les cratères. Le volcan devient alors une *solfatare*. Quelquefois le terrain lui-même est comme imprégné de gaz. En Auvergne, par exemple, où les volcans avaient cependant perdu leur activité avant les temps historiques les plus reculés, beaucoup de caves des environs de Clermont sont envahies par l'acide carbonique dès que diminue la pression de l'atmosphère, et peuvent, en quelque sorte, remplacer le baromètre pour les pronostics du temps. Il est donc bien difficile d'indiquer rigoureusement la durée d'une éruption volcanique, surtout quand on cherche à la suivre dans ses dernières manifestations. Mais, dans le langage ordinaire, on la considère comme terminée dès que s'arrête la lave et que s'éteignent les fumées du cratère. Dans ce cas la période de grande activité ne dure que peu de jours, et le phénomène cesse le plus souvent au bout de quelques semaines ou de quelques mois. Nous verrons d'ailleurs bientôt que rien n'est plus variable que ce qu'on pourrait appeler le régime des volcans.

Je ne saurais mieux résumer tous les détails ci-dessus qu'en décrivant quelques éruptions. Deux exemples suffiront. Ils sont choisis de manière que l'un se rapporte à une éruption caractérisée par une violence inouïe dans le début et par une production de cendres extraordinaire, et que l'autre présente la marche complète et régulière de tous les phénomènes.

**Éruption du Tamboro en 1815.** — Voici en quels termes de la Bèche rapporte la première. Il s'agit du volcan de Tamboro, dans l'île de Sumbava, située à l'est de Java dans l'archipel de la Sonde.

« Les premières explosions furent entendues en différents points » très-éloignés, où on les prit généralement pour des décharges d'artillerie. Elles commencèrent le 5 avril 1815, et continuèrent plus » ou moins jusqu'au 10 du même mois, époque à laquelle les éruptions devinrent plus violentes. Le volcan lança une telle quantité » de cendres que le ciel en fut obscurci, et que de véritables ténèbres » régnèrent sur une étendue considérable. Un navire malais fut

» surpris en mer, le 11 juin, par une obscurité complète ; et après  
 » avoir dépassé le mont Tamboro, à la distance d'environ 5 milles,  
 » le commandant observa que sa base paraissait dans les flammes,  
 » tandis que sa cime se cachait dans les nuages. Ayant abordé pour  
 » faire de l'eau, il trouva le sol couvert de cendres sur une hauteur  
 » de 3 pieds. Plusieurs bâtiments avaient été jetés à la côte par la  
 » violence de la mer. En quittant Sumbava, les cendres qui, sur  
 » une étendue de plusieurs milles, flottaient à la surface de la mer  
 » sur une épaisseur évaluée à environ 2 pieds, gênèrent singulière-  
 » ment la marche du vaisseau. Le même observateur a constaté une  
 » agitation extraordinaire du volcan de Carang-Assam, dans l'île  
 » de Bali, à la même époque. Mais le récit le plus intéressant est  
 » celui du commandant du vaisseau croiseur *le Bénarès*, au service  
 » de la Compagnie des Indes orientales.

» Il se trouvait à Macassar (île de Célèbes), lorsque les explosions  
 » commencèrent. Le bruit ressemblait tellement à celui du canon  
 » que, supposant une attaque des pirates dans le voisinage, on em-  
 » barqua immédiatement des troupes sur le *Bénarès*, qui mit aussitôt  
 » à la voile pour aller à leur poursuite. Le navire revint le  
 » 8 avril sans avoir trouvé aucune cause d'alarme. Le 11, les pré-  
 » tendues décharges de canon recommencèrent au point de faire  
 » trembler par moment le vaisseau et le fort de Rotterdam. On fit  
 » alors voile vers le sud pour reconnaître la cause de ces explosions.  
 » Sur les huit heures du matin, 12 avril, l'horizon nous présenta  
 » vers le sud et l'ouest une teinte sombre qui avait considérable-  
 » ment augmenté depuis le lever du soleil, et qui, en s'approchant,  
 » prit une nuance rougeâtre. L'obscurité s'étendit bientôt à tout  
 » l'horizon. A dix heures elle aurait à peine permis de distinguer  
 » un vaisseau à une distance d'un mille ; à onze heures, nous ne  
 » distinguions plus qu'une très-petite partie du ciel à l'horizon dans  
 » la direction de l'est, d'où nous venait le vent ; alors commença à  
 » tomber une pluie de cendres, et le phénomène devint à la fois ter-  
 » rible et imposant. A midi le peu de lumière que nous recevions  
 » de la partie est de l'horizon disparut, et nous nous trouvâmes dans  
 » une obscurité complète pendant tout le reste du jour. Elle fut si  
 » profonde que la nuit la plus noire n'en approche point. Il était  
 » impossible de distinguer la main placée tout près de l'œil. Les  
 » cendres tombèrent sans interruption pendant toute la nuit ; elles  
 » étaient si ténues qu'elles pénétrèrent de tous côtés dans le  
 » vaisseau, malgré la précaution que nous prîmes de couvrir de

» toile le pont, de l'avant à l'arrière, aussi soigneusement que possible.

» Le lendemain matin à six heures l'obscurité était aussi profonde; mais, à sept heures et demie, le ciel commença à s'éclaircir; à huit heures on distinguait vaguement les objets sur le pont du vaisseau, et, dès lors, le jour revint très-promptement.

» L'aspect du vaisseau était alors des plus singuliers : il était recouvert sur toutes ses parties d'une poussière qui avait l'apparence d'une pierre ponce calcinée, et dont la couleur était à peu près celle des cendres de bois. En plusieurs endroits du pont le dépôt avait plus d'un pied d'épaisseur, et tout ce qu'on jeta à la mer devait peser plusieurs tommes; car, quoique cette cendre volcanique fût tombée en poudre impalpable, elle avait pris, par le tassement, une pesanteur spécifique assez considérable. Ainsi une pinte de cette matière se trouva peser 12 onces trois quarts. Elle était tout à fait insipide, et ne produisait sur les yeux aucune sensation douloureuse; son odeur, très-faible, ne ressemblait en rien à celle du soufre; enfin, mêlée avec l'eau, elle formait une pâte difficile à délayer.

» Le même vaisseau repartit de Macassar le 13, et se trouvait le 18 près de Sumbava. Aux approches de la côte, il rencontra une immense quantité de pierres ponces et d'arbres en partie cassés et brûlés. En entrant dans la baie de Binia, on trouva le fond du mouillage changé, et le navire toucha sur un banc qui, peu de temps auparavant, était encore recouvert de six brasses d'eau. Le rivage de la baie était entièrement couvert de cendres lancées par le Tamboro, qui est à une distance d'environ 40 milles. Les explosions entendues à Binia avaient été épouvantables, et les cendres étaient tombées en masses d'un tel poids qu'elles avaient enfoncé dans plusieurs endroits la maison du résident anglais. Aucun vent ne se faisait sentir à Binia; cependant la mer était violemment agitée, et les vagues, poussées vers le rivage, avaient rempli d'un pied d'eau le rez-de-chaussée des maisons. Le commandant du *Bénarès* étant, le 23, à la hauteur du mont Tamboro, à une distance d'environ 6 milles, observa encore que le sommet se perdait dans un nuage de fumée et de cendres, tandis que sur les flancs on voyait des courants de laves dont plusieurs avaient atteint la mer.

» Les explosions de ce volcan se firent entendre à des distances considérables : non-seulement on les remarqua à Macassar, qui

» en est distant de 217 milles nautiques, mais encore dans toutes les  
 » îles Moluques, dans un port de Sumatra éloigné de 970 milles, et  
 » à Ternate, à 720 milles.

» Le lieutenant Phillips, envoyé au secours des habitants, qui se  
 » trouvaient en proie à la plus horrible famine, apprit du rajah de  
 » Sangar que dans la matinée du 10 avril, sur les sept heures, on vit  
 » sortir du cratère trois colonnes de flammes bien distinctes, qui se  
 » réunirent à une grande hauteur dans l'atmosphère, et qu'ensuite  
 » toute la montagne sembla n'être qu'une masse fluide en feu. On  
 » ne sait trop quelle confiance on doit ajouter à cette apparence de  
 » flammes, car rien n'est plus fréquent que des illusions de ce genre  
 » dans les éruptions volcaniques; toutefois les circonstances qui  
 » l'accompagnent ici sont remarquables.

» L'agitation de la mer était extrême, et sa hauteur dépassa de  
 » 12 pieds les niveaux les plus élevés qu'elle eût atteints jusque-là.  
 » Les vagues, en roulant sur la terre, entraînaient les maisons et  
 » tout ce qui se trouva exposé à leur action, et détruisirent ainsi le  
 » peu de champs de riz qui existaient auparavant à Sangar. On con-  
 » çoit facilement que, dans une pareille catastrophe, plusieurs mil-  
 » liers d'habitants périrent et un grand nombre d'animaux. Toute  
 » végétation disparut complètement des parties nord et ouest de  
 » la péninsule, à l'exception de la sommité sur laquelle s'élevait  
 » le village de Tamboro, qui présentait encore quelques arbres  
 » debout. »

**Éruption du Vésuve en 1855.** — M. Palmieri a donné la descrip-  
 tion suivante de l'éruption du Vésuve arrivée en 1855.

« Dans la matinée du 1<sup>er</sup> mai, vers 4 heures, pendant que du  
 » sommet de la montagne s'échappait une quantité considérable de  
 » fumée, qui durait depuis trois jours, un sourd mugissement,  
 » répété par les remparts élevés de la Somma, annonça tout à  
 » coup le commencement d'un nouvel embrasement. Il se forma  
 » successivement douze bouches, qui vomirent de la lave et des  
 » blocs incandescents, mêlés à des globes de fumée lancés avec  
 » une grande violence et un bruit effroyable. Toutes ces bouches  
 » et tous ces cratères s'ouvrirent sur une même ligne, dans la  
 » direction du gouffre de décembre, sur la pente septentrionale du  
 » cône, pente qui formait précisément le chemin par lequel on des-  
 » cendait du sommet de la montagne. L'ouverture supérieure ne  
 » donna qu'une petite quantité de laves, qui se solidifia au pied de  
 » la montagne; mais les plus basses vomirent des laves abondantes,

» qui couraient sur la pente rapide comme l'eau dans un canal,  
» et formèrent deux fleuves incandescents qui, perdant de leur  
» rapidité à mesure qu'ils avançaient en serpentant dans l'*Atrio*  
» *del Cavallo*, se coagulèrent en un lac de feu qui aurait défié  
» l'imagination d'un poète. La matière liquide se déversa vers  
» l'ouest, du côté où la portait la pente légère du terrain, et le  
» 1<sup>er</sup> mai, à 7 heures 30 minutes du soir, la lave, après avoir  
» recouvert d'autres courants plus anciens, vint se jeter dans le  
» *Fosso della Veterana*. En tombant dans ce ravin, elle se précipita  
» du haut d'un rocher vertical, et forma la cascade la plus merveil-  
» leuse, détruite ensuite par l'énorme quantité de scories accumu-  
» lées dans le gouffre situé au-dessous. La matière incandescente  
» qui courait dans le ravin de la Veterana atteignit les flancs de  
» l'observatoire le 2 mai, à 5 heures du matin, et à 11 heures elle  
» se jeta dans le *Fosso di Faraone*, formant une seconde cascade  
» resplendissante comme la première. Le 5 mai, au soir, le courant  
» enflammé se montrait près des maisons de Massa et de San Se-  
» bastiano, puis, après une pose, il s'acheminait de nouveau, et  
» le 7, il se déversait sur les premières maisons et les champs de  
» ces deux villages, puis s'approchait de Pollena et de Cercola,  
» tournait à gauche sur les terres d'Apicolla, détruisait, avec une  
» vitesse incroyable, forêts, habitations champêtres et se précé-  
» pitait dans le ravin de Turrichio, répandant partout la désolation.  
» Quant aux cratères, ils furent tous en pleine activité pendant les  
» trois premiers jours ; mais le quatrième, on vit décroître la vio-  
» lence des plus élevés, les autres montrèrent à leur tour moins de  
» puissance, les mugissements intérieurs cessèrent et les pierres  
» furent lancées à une moindre hauteur et avec moins d'abondance.  
» Dans la soirée du 5, les cônes inférieurs surtout reprirent de la  
» vigueur, et la lave se déversa plus abondamment. On entendit  
» des retentissements alternatifs, comme ceux de deux massues qui  
» frappaient sur les parois d'une voûte. Ces bruits n'étaient pas  
» continus ; de temps à autre ils cessaient ou devenaient très-  
» faibles. Dans la soirée du 7, on vit croître la violence des  
» cratères les plus élevés ; dans une nouvelle excursion nous trou-  
» vâmes que l'un deux sifflait avec véhémence comme la sou-  
» pape de sûreté d'une énorme chaudière à vapeur, qu'un autre  
» mugissait à de courts intervalles avec un mugissement indéfi-  
» nissable. A partir de la soirée du 9, on n'entendit plus qu'un  
» sifflement semblable à celui que produit le vent en passant au

» travers d'une fissure étroite ; ce sifflement cessa dans la journée  
 » du 12. »

**Activité volcanique.** — J'ai dit que rien n'est plus irrégulier que le régime, ou en d'autres termes *l'activité des volcans*. Les lois qu'on a essayé de formuler à cet égard souffrent au moins autant d'exceptions que celles qu'on a voulu établir concernant l'ordre de succession des phénomènes pendant une éruption. Tel cratère ne rejette que des vapeurs, des cendres et des scories, tel autre n'émet que de la lave. Il peut y avoir également des différences extrêmes entre deux ou plusieurs éruptions consécutives du même volcan, aussi bien sous le rapport de la durée que sous celui de l'énergie et de la marche des diverses phases. Suivant les lieux et les circonstances, on observe tous les intermédiaires entre les explosions les plus désastreuses et les simples menaces bornées à quelques grondements souterrains. On a prétendu que l'activité volcanique est d'autant plus constante et plus régulière que le cratère se trouve plus rapproché du niveau de la mer, et l'on cite le Stromboli, qui n'a cessé de jeter de la lave depuis les temps les plus reculés de l'antiquité payenne, et le Kilauea qui ressemble à un lac de feu (fig. 73). Plus élevé, le Vésuve a des éruptions intermittentes, en général moins rares que celles de l'Hécla, du volcan de Bourbon et de l'Etna, qui le dépassent en altitude. L'activité des volcans géants de la Cordillère des Andes ne se réveille que de loin en loin, une fois par siècle peut-être. Mais on pourrait aussi mentionner une foule d'exceptions. Il existe au Japon, dans les îles de la Sonde et ailleurs des volcans intermittents moins élevés que le Stromboli ; et, d'un autre côté, le Sangay, qui est le cratère le plus actif de tous ceux de l'Amérique méridionale, et dont les éruptions désastreuses se renouvellent assez fréquemment, dépasse 5000 mètres. En cette circonstance comme en beaucoup d'autres, peut-être a-t-on voulu trop tôt formuler des lois.

Un exemple fera mieux comprendre ce que peut offrir d'irrégulier et d'imprévu l'activité volcanique. Avant l'an 79 de notre ère, le Vésuve paraissait éteint, et rien ne le distinguait de toute autre montagne conique. Il n'avait pas alors sa forme actuelle, et il consistait seulement dans le soubassement de lave amphigénique, couronné par le grand cirque de la Somma, dont le fond plat, appelé *Atrio del Cavallo*, était occupé par des vignes et des cultures. C'est là que campa Spartacus avec les esclaves qu'il voulait rendre libres. Régulièrement circulaire, le cratère de la Somma

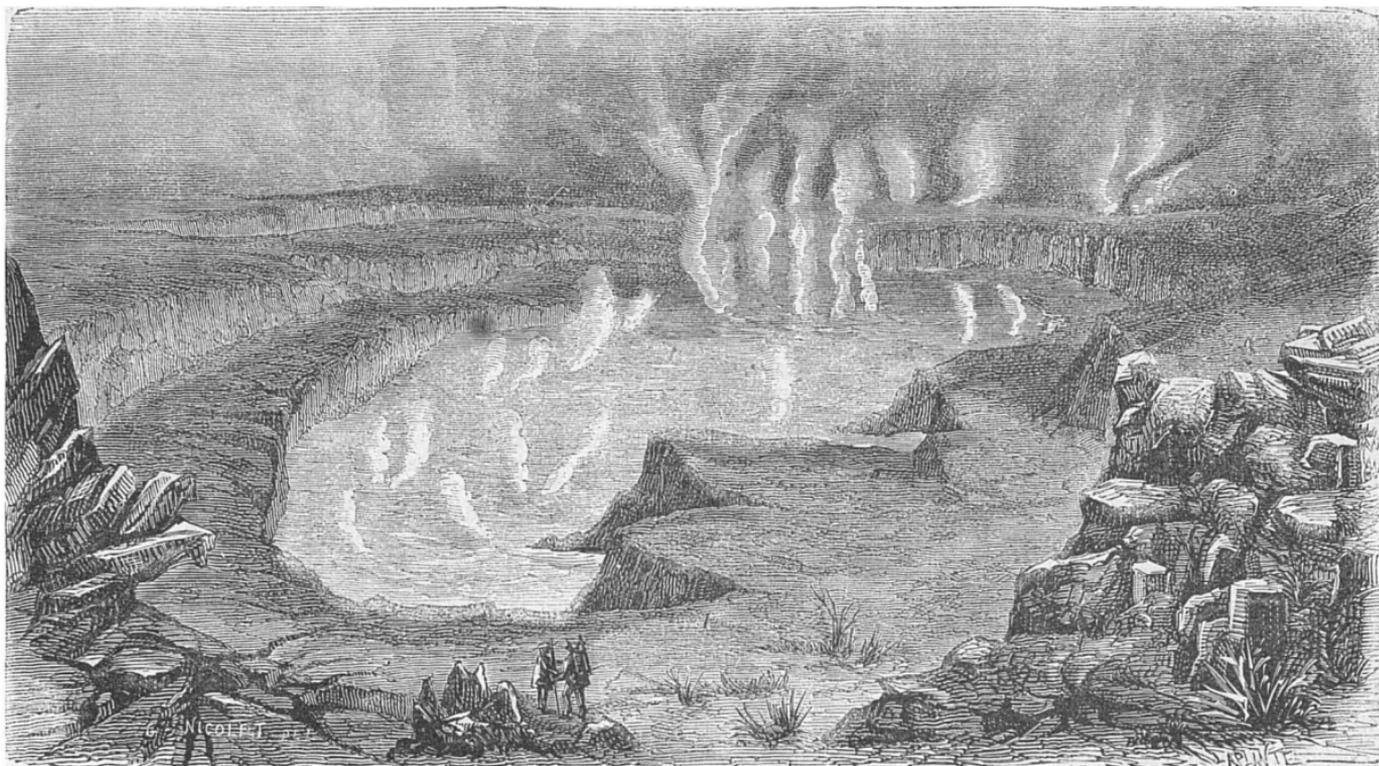


Fig. 73. — Cratère de Kilauea.

était alors ininterrompu ; le cône de déjection qui s'est formé dans son intérieur n'existait pas. Après un repos sans doute prolongé durant une longue suite de siècles, puisque rien n'avait fait soupçonner aux anciens l'origine volcanique de la montagne, le Vésuve se réveilla soudain, en l'an 79, par la terrible éruption qui détruisit Herculanium, Pompéi, Stabies et d'autres lieux, et qui coûta la vie à Pline l'Ancien. Un violent tremblement de terre, arrivé en 63, avait, en quelque sorte, annoncé la catastrophe. Cette première éruption, caractérisée par une abondance extrême de cendres et de lapilli, ne fut pas accompagnée de coulées ; elle modifia cependant l'aspect de la montagne par la destruction d'une moitié du cratère de la Somma. En 1036, le Vésuve vomit ses premières lavés. Après diverses intermittences, le volcan sembla de nouveau s'éteindre à partir de 1138. En 1306, une éruption assez faible parut être le dernier terme d'une activité qui s'effaça au point que les vignes et les forêts envahirent de nouveau le cratère, dont rien ne semblait présager le réveil. Cet état de choses se prolongea jusqu'en 1631, et depuis cette époque les éruptions se sont succédé de telle manière que le volcan est rarement demeuré en repos dix années consécutives, et que les fumerolles et les vapeurs persistent ordinairement dans les intervalles.

**Déplacements de l'activité volcanique : Vésuve et champs Phlégréens.** — Dans certaines régions volcaniques, l'activité souterraine subit des déplacements qui la portent tantôt sur un point, tantôt sur un autre. C'est ainsi que dans la contrée classique de Naples on a signalé, depuis longtemps, une alternance remarquable entre les éruptions du Vésuve et celles des champs Phlégréens, qui s'étendent entre Naples et l'île d'Ischia, et où Breislak a compté jusqu'à 27 cratères, les uns éteints, les autres en activité ou à l'état de solfatares. Avant l'année 79, les éruptions sont fréquentes dans les champs Phlégréens, tandis que le Vésuve paraît éteint. De 79 à 1138, c'est au contraire le Vésuve qui entre en activité, tandis que les champs Phlégréens sont dans le repos. De 1138 à 1631, les éruptions se déplacent encore une fois, et quittent le Vésuve pour agiter les champs Phlégréens, où le Monte-Nuovo fait apparition en 1538. A partir de 1631, l'activité abandonne définitivement la contrée des champs Phlégréens pour se transporter au Vésuve, où elle persiste encore. Il y a évidemment alternance ; mais dans d'autres centres volcaniques l'activité paraît se déplacer dans une direction constante, et en suivant une ligne déterminée.

Au Pérou, d'après de Humboldt, les éruptions se propagent lentement du sud au nord.

**Volcans éteints.** — Enfin il arrive souvent que l'activité volcanique abandonne complètement une région, dont les cratères paraissent éteints à jamais. C'est ce qu'on remarque en Auvergne, où il en existe une cinquantaine, la plupart d'une conservation admirable ; ils sont alignés du nord au sud sur une longueur de 40 kilomètres. La Haute-Loire, la Catalogne à Olot et d'autres contrées de l'Europe ont également les leurs. Un grand nombre de volcans géants des Andes paraissent éteints. Les cratères en repos sont, de beaucoup, les plus nombreux sur le globe, puisque de Humboldt ne compte que 407 volcans actifs, et que, dans le nombre, 223 seulement ont eu des éruptions depuis deux siècles. Au contraire, d'après Keith Johnston, 270 se trouvent dans ce cas. Cependant il ne faut pas attacher trop d'importance aux résultats numériques, variables suivant les époques, ni enregistrer prématurément la fin d'un volcan. L'exemple du Vésuve montre, en effet, que le prétendu mort peut avoir un terrible réveil, et continuer pendant des siècles son orageuse existence.

**Volcans nouveaux.** — Une dernière preuve du déplacement de l'activité souterraine du globe, c'est l'apparition de volcans nouveaux, tels que celui de Santorin, le Monte-Nuovo près de Naples, le Jorullo, l'île Julia, etc. Les uns semblent devoir rester permanents, les autres n'ont qu'une durée éphémère. Tel est le volcan sous-marin qui, en juin 1811, forma momentanément l'île de Sabrina, près de Saint-Michel, dans les Açores ; telle est encore l'île Julia. Cette dernière apparut en 1831, dans la Méditerranée, entre la Sicile et l'île de Pantelleria. L'éruption s'annonça par un tremblement de terre sous-marin ressenti par un navire le 28 juin. Dès les premiers jours de juillet, des bâtiments napolitains virent la mer fumer et bouillonner. La rumeur s'en étant répandue, des navires anglais arrivèrent de Malte pour reconnaître le volcan et prendre possession de la nouvelle terre. Le 19 juillet on put mesurer le cratère, qui s'élevait de 6 mètres environ au-dessus des eaux, encore fort agitées. L'accumulation des débris et des scories incessamment rejetés par le volcan avec une énorme quantité de vapeur aqueuse, agrandit et éleva peu à peu la nouvelle île, qui avait une lieue de tour et 60 mètres de hauteur le 4 août. Constant Prévost la visita à cette époque ; il reconnut qu'elle était uniquement formée par un entassement de scories. L'éruption s'arrêta

bientôt, et l'île Julia, incessamment attaquée et démolie par les vagues, ne tarda pas à disparaître complètement, fort à propos pour que le bon accord pût se rétablir entre les Anglais et les Napolitains qui, assure-t-on, s'en disputaient la souveraineté. A la fin d'octobre il n'en restait plus de traces ; mais le fond de la mer, élevé en cet endroit, n'était recouvert, en 1833, que de 3 mètres d'eau.

**Éruptions sous-marines.** — On voit, par cet exemple, que les bouches volcaniques peuvent s'ouvrir sur tous les points du globe, même dans la profondeur des mers. Dans ce cas l'éruption n'en suit pas moins sa marche ordinaire ; mais le mode de manifestation se trouve plus ou moins modifié par le milieu liquide. Les cendres et les ponces flottent à la surface sur des étendues quelquefois considérables, la mer bouillonne avec fureur et la colonne ascendante s'élance directement du sein des eaux.

**Régions volcaniques.** — Loin d'être uniformément distribués sur le globe, les volcans affectent des groupements particuliers qui constituent autant de *régions volcaniques*. Comme ces régions sont exactement les mêmes que celles des tremblements de terre, je me bornerai à renvoyer le lecteur à la description de ces dernières, qui servira ainsi à deux fins. On verra que l'immense majorité des cratères est rassemblée dans les archipels ou sur le rivage des continents. Il existe cependant aussi des volcans éteints ou en activité situés fort avant dans l'intérieur des terres, par exemple les anciens volcans de l'Auvergne et ceux du centre de l'Asie. Il ne faut donc pas se hâter de conclure à l'intervention directe des eaux marines dans les phénomènes volcaniques actuels.

**Causes des éruptions volcaniques.** — Je suis ainsi naturellement conduit à dire quelques mots de la *cause* des éruptions ; mais c'est plutôt dans le but d'exposer l'état de la question, que dans l'espoir de porter la lumière sur des faits qui sans doute resteront longtemps encore environnés d'obscurité. Quoique nous nous trouvions, si l'on peut ainsi s'exprimer, en contact plus intime avec les éruptions volcaniques qu'avec les tremblements de terre, puisque les premières rejettent au dehors des produits assez variés, il faut avouer que nous n'en savons pas beaucoup plus sur les unes que sur les autres. Dès qu'on veut sortir des généralités, on entre dans le domaine de l'hypothèse. Je ne rappellerai que pour mémoire les anciennes opinions qui succédèrent à la notion du feu central, si bien établie dans l'antiquité. Jusqu'au commencement du siècle, on expliquait les phénomènes volcaniques et les tremblements de

terre par des combustions souterraines de houilles et de bitumes ou par des embrasements spontanés, qu'on croyait reproduire en petit au moyen du volcan de Léméri. Nous avons vu précédemment que Davy, après sa découverte des métaux alcalins, fut un instant porté à attribuer les phénomènes éruptifs à des oxydations métalliques produites par les eaux souterraines, mais qu'après avoir vu les volcans de l'Italie, il renonça à son hypothèse. Gay-Lussac la reprit cependant, mais avec peu de succès. Il suffit, en effet, pour la renverser, de rappeler l'absence ou la grande rareté, dans les éruptions, des gaz hydrogénés, qui devraient se dégager en énorme proportion, s'il y avait une décomposition réelle de l'eau dans le sein de la terre. Je passe plusieurs autres théories, notamment celle d'une atmosphère souterraine, pour arriver tout de suite à l'opinion qui paraît réunir en sa faveur le plus de suffrages.

On ne peut nier l'intervention de l'eau dans les phénomènes volcaniques. Nous avons vu qu'un cratère endormi se réveille toujours par une explosion due à l'expansion subite d'une énorme quantité de vapeur aqueuse mêlée de quelques gaz. M. Fouché a évalué à 2 160 000 mètres cubes la masse d'eau rejetée par l'Etna pendant cent jours en 1865. La lave en est comme saturée, et les fumerolles persistent longtemps après l'éruption. Il n'est donc pas étonnant qu'on ait cherché à établir des relations de cause à effet entre la force expansive de la vapeur et les phénomènes volcaniques. Beaucoup de géologues pensent que l'eau superficielle s'infiltré jusqu'à la pyrosphère, et que sa vapeur repousse en dehors la lave incandescente. Mais l'alimentation souterraine ne se trouvant nullement en rapport avec la déperdition, le réservoir de la vapeur s'épuise rapidement, la pression qu'elle exerce sur la masse fluide de la pyrosphère diminue en proportion, la lave monte avec moins d'abondance, et bientôt cesse d'arriver. Le volcan rentre alors peu à peu dans un repos dont il ne sort qu'à l'époque où les infiltrations emplissent de nouveau le réservoir souterrain, et où la vapeur acquiert une tension suffisante. Comme preuves à l'appui, les mêmes géologues invoquent la situation à proximité des mers de l'immense majorité des volcans, et l'existence, dans les déjections et les fumerolles, des éléments des eaux marines, tels que l'acide chlorhydrique, la soude, la magnésie, etc. Ils rappellent aussi les expériences de M. Daubrée, démontrant que la chaleur favorise la pénétration de l'eau dans les roches par voie de capillarité, au lieu de l'empêcher. En effet, à la température de 160 degrés, une plaque

porreuse de grès bigarré de 2 centimètres d'épaisseur a été traversée par l'eau, malgré une contre-pression de deux atmosphères.

Voici maintenant les objections de diverse valeur qu'on peut opposer à cette théorie :

1° Certains volcans se trouvent à de telles distances des lacs et des mers que l'intervention de grandes nappes d'eau est infiniment improbable. On peut citer, par exemple, les deux volcans actifs de Tian-Chan, savoir le Pé-Chan et le Ho-Tchéou, situés à 2500 kilomètres de la Caspienne, à 3200 du lac Issikoul et à 3900 du lac Kalkach, qui sont les amas d'eau les plus rapprochés.

2° L'existence dans les déjections volcaniques du chlore, du sodium et d'autres éléments contenus dans les mers ne prouve nullement l'intervention des eaux salées, ces produits se rencontrant en Auvergne et dans d'autres contrées fort éloignées de tout rivage. D'un autre côté les volcans rejettent aussi, et souvent avec abondance, du soufre, du carbone, du fer et beaucoup d'autres corps simples étrangers aux océans. Il semble donc plus naturel d'admettre que toutes ces substances proviennent directement de l'intérieur du globe.

3° Peut-être est-il délicat de trop généraliser les résultats de l'expérience de M. Daubrée. De ce qu'une plaque de 2 centimètres d'épaisseur a été traversée, à une température de 160 degrés et malgré une pression de 2 atmosphères, on peut hésiter de conclure que la même chose arrive à l'écorce solide du globe, dans laquelle le liquide devrait s'infiltrer à une profondeur de 20 kilomètres au moins, malgré une contre-pression qu'on ne peut guère évaluer à moins de 6800 atmosphères, et devrait supporter une température de 1000 degrés et plus.

4° Si les éruptions avaient pour cause unique la pression exercée par la vapeur d'eau, on expliquerait difficilement la longueur et l'inégalité des intermittences de la plupart des volcans. Quelle que soit la lenteur des infiltrations, elles s'opèrent évidemment d'une manière uniforme et continue, de façon qu'en des temps égaux, ou à peu près, la même quantité de vapeur s'emmagasine dans les réservoirs souterrains. Il n'est donc pas facile de comprendre qu'à un certain moment tout dégagement de vapeur puisse cesser, et que le volcan s'éteigne pendant un temps quelquefois très-long, pour acquérir ensuite de nouvelles forces. Cela ne se concevrait que dans le cas où les infiltrations cesseraient avec l'éruption et demeureraient longtemps interrompues. Mais, pour peu qu'elles continuent,

il y a production incessante de vapeur, et en quelques instants la pression regagne son intensité première et force la lave à se déverser. Si l'on admet l'hypothèse de l'action exclusive de la vapeur d'eau, il semble donc que les éruptions devraient consister uniquement en un épanchement de lave régulier et fort lent, ou à peine soumis à de courtes intermittences, et que les longues périodes de repos, ainsi que l'explosion violente qui les termine, ne pourraient se produire. Tous les volcans ressembleraient au Stromboli.

5° Il est difficile de comprendre de quelle façon devrait se comporter l'eau souterraine pour déterminer l'ascension de la lave. En effet, nous ne pouvons guère imaginer autre chose qu'une atmosphère de vapeur emprisonnée entre l'écorce solide et la pyrosphère, agissant en vertu de sa force d'expansion et poussant au dehors la colonne de laves, de même que la pression de l'air élève la colonne barométrique, ou mieux encore, de même que la force élastique de la vapeur d'une chaudière fait monter le mercure d'un manomètre. Mais alors le gisement de l'atmosphère de vapeur souterraine ne peut se trouver directement au-dessous de l'ouverture de la cheminée volcanique dans la pyrosphère, autrement la vapeur s'échapperait par la cheminée au fur et à mesure qu'elle se produirait. Dans de telles conditions on peut bien comprendre qu'elle acquière d'abord une tension suffisante pour surmonter l'obstacle que lui oppose la lave figée dans le cratère, et déterminer l'explosion initiale, mais on ne peut concevoir qu'elle puisse forcer la lave à monter. Il faut donc que le réservoir souterrain de la vapeur se trouve à côté de l'ouverture inférieure de la cheminée. Mais alors on est fort embarrassé d'expliquer l'explosion initiale et le dégagement préalable de cette énorme quantité de vapeur par lesquels débute toute grande éruption. La théorie suppose, en effet, que la vapeur qui s'accumule peu à peu dans le réservoir n'y pénètre qu'à la suite d'infiltrations lentes et continues. La force élastique s'augmente dans la même mesure. Il semble donc que la vapeur doive élever peu à peu la lave fluide dans la cheminée volcanique, sans y pénétrer directement elle-même, et sans pouvoir s'échapper au dehors avant que le niveau de la matière pyrosphérique se soit abaissé jusqu'à l'orifice inférieur de la cheminée. S'il en était ainsi, les éruptions volcaniques débuteraient par l'émission de la lave, et c'est le contraire qui a lieu. Comme les coulées de lave ne laissent guère dégager la vapeur d'eau que lorsqu'elles commencent à se

refroidir, on ne peut supposer que l'explosion initiale soit produite par une accumulation, dans la cheminée, de vapeur aqueuse émise par la lave ascendante, ni que l'abondance de la vapeur dissoute dans la lave fluide fasse tuméfier celle-ci au point qu'elle finisse par déborder après l'explosion. Il paraît plus vraisemblable que la lave rencontre l'eau et s'en imprègne pendant son trajet ascendant, et qu'ainsi la vapeur empêche plutôt qu'elle ne favorise la sortie de la matière incandescente.

6° Certains volcans, tels que le Stromboli, dont l'activité est permanente depuis des siècles, n'émettent guère d'autre vapeur que celle qui est dissoute dans la lave.

7° La pression de la vapeur n'est pas nécessaire pour faire monter la lave, puisque les roches éruptives anciennes, porphyres, ophites, diorites, et même les trachytes et beaucoup de basaltes se sont épanchées lentement, sans explosion et sans que rien trahisse la présence et, à plus forte raison, l'intervention de gaz ou de vapeurs. D'une autre part, Cordier avait trouvé par le calcul que la quantité de laves rejetées à l'extérieur par une contraction du globe de 1 millimètre seulement, suffirait pour alimenter 500 éruptions volcaniques, à raison de 1 kilomètre cube pour chacune d'elles, ce qui dépasse de beaucoup la moyenne. Si l'on rapproche ces deux ordres d'idées, on se sent porté à considérer le retrait incessant de la partie périphérique de la planète comme une des causes principales, pour ne pas dire la cause unique de l'expulsion au dehors des roches ignées, à toutes les époques.

8° Si la pression exercée par la vapeur aqueuse était la seule cause de l'ascension de la lave dans les cheminées volcaniques, il faudrait, pour que la matière incandescente pût arriver jusqu'au sommet de l'Etna, par exemple, que cette vapeur possédât une force d'expansion de près de 6800 atmosphères. Le calcul a été fait en supposant une épaisseur de 20 kilomètres seulement à l'écorce solide du globe depuis la pyrosphère jusqu'au niveau de la mer, et en donnant à la lave une densité de 3. Mais nous n'avons aucune idée de ce que peut être la force élastique de la vapeur dans ces conditions extraordinaires, et nous ne savons même pas si, malgré la haute température des régions profondes, l'énorme pression à laquelle elle serait soumise ne maintiendrait pas l'eau à l'état d'un liquide n'ayant qu'une faible puissance d'expansion. En supposant, au contraire, la vapeur douée de toute sa force élastique, qui serait alors prodigieuse, on comprend difficilement qu'elle se résigne à

agir, comme dans un manomètre, pour faire monter la lave, au lieu de s'échapper directement par les fissures du sol ou par la cheminée volcanique elle-même.

Tel est à peu près, si je ne m'abuse, l'état du problème. Les objections, surtout les deux dernières, me paraissent assez graves pour qu'il soit permis de réclamer des preuves sérieuses, l'existence de la vapeur dans la lave et son émission pendant l'épanchement des coulées ne démontrant nullement qu'elle est la cause de l'ascension de la matière embrasée. Je me garderai donc d'exprimer une opinion personnelle, estimant qu'il est plus sage et en même temps plus profitable à la science d'ajourner tout débat pour la résolution duquel on ne possède pas les éléments suffisants.

**Produits rejetés par les volcans.** — Je terminerai cette étude des phénomènes volcaniques par une énumération rapide des *produits rejetés par les cratères*. Ils seront indiqués sous trois titres différents, selon qu'ils se présentent à l'état solide, à l'état liquide ou à l'état de gaz et de vapeur.

1° *Produits volcaniques solides.* — Ce sont d'abord des roches à tout état de division, depuis la poussière impalpable formée par la cendre, jusqu'aux masses énormes des coulées de laves. Elles paraissent ordinairement bulleuses, boursouffées, vacuolaires; beaucoup ressemblent aux scories noirâtres de nos forges; quelques-unes sont vitreuses ou au moins recouvertes d'une croûte luisante et en apparence vitrifiée. Suivant qu'elles se présentent en grandes masses ou en fragments incohérents, on les appelle *laves* ou *scories*. Elles sont tantôt de nature feldspathique, tantôt de nature pyroxénique. Outre leurs éléments minéralogiques constitutifs, elles peuvent renfermer accidentellement de l'eau, de l'acide chlorhydrique, de l'hydrogène sulfuré, de l'acide sulfureux, de l'acide sulfurique, du sel ammoniac, des chlorures de sodium, de potassium, de manganèse, de fer, de nickel, de cobalt, divers sulfates, des cristaux de fer oligiste, etc. Les volcans rejettent encore des chlorures anhydres de potassium, de sodium, de manganèse, de fer, de cobalt, de cuivre, du sel ammoniac, de l'acide borique, du réalgar, des carbonates de chaux et de soude, du fer oligiste et du soufre, qui provient sans doute de la réduction de l'hydrogène sulfuré. Plusieurs des composés ci-dessus ne se rencontrent dans les laves qu'à la suite de transformations opérées postérieurement aux éruptions.

2° *Produits volcaniques liquides.* — Ce sont surtout de l'eau, divers carbures d'hydrogène et de l'acide sulfurique hydraté provenant de la décomposition de l'hydrogène sulfuré, et transformant souvent les roches en gypse, en alunite, en sulfate de fer, etc.

3° *Produits volcaniques gazeux.* — Ce sont surtout de l'oxygène, de l'azote, de l'acide carbonique, de l'hydrogène protocarboné, de l'acide chlorhydrique, de l'acide sulfureux.

**Émanations volcaniques.** — Il est d'un intérêt particulier d'étudier l'ordre de production des *émanations volcaniques* qui se dégagent de la lave immédiatement après son émission. M. Charles Deville les a réparties en un certain nombre de groupes, que je réduis à trois, avec M. Vézian, et qui se succèdent en général dans l'ordre suivant, quoiqu'il y ait des exceptions, et que les trois groupes passent insensiblement de l'un à l'autre.

1° *Émanations sèches ou fumeroles sèches.* — Elles consistent en chlorures anhydres de potassium, de sodium, de fer et de cuivre et en fluorures et sulfates alcalins; elles ne renferment point d'eau, non plus que de gaz carbonés. On ne les observe que dans les volcans en activité, et pendant que la lave possède sa température la plus élevée; elles manquent dans les éruptions qui ne donnent point de laves.

2° *Émanations sulfurées.* — Elles se produisent dès que la vapeur d'eau se dégage de la lave, et sont formées de vapeur aqueuse, d'acide chlorhydrique, de sel ammoniac, d'acide sulfureux, d'acide sulfurique, d'acide sulfhydrique et de soufre en vapeur. Plusieurs de ces matières proviennent de la réaction de la vapeur aqueuse sur les chlorures des émanations sèches, et d'autres résultent de la décomposition du gaz sulfhydrique. Elles indiquent une diminution de température et un ralentissement dans l'action volcanique.

3° *Émanations carbonées.* — Elles consistent en vapeur d'eau, azote, acide carbonique, hydrogène, hydrogène carboné et carbures liquides, et précèdent le refroidissement complet de la lave. Nous avons vu que les dégagements d'acide carbonique marquent le dernier terme d'une activité qui s'éteint, et qu'elles persistent souvent pendant des siècles, par exemple en Auvergne et dans les champs Phlégréens où existe la célèbre grotte du chien.

**Tableau des corps simples rejetés par les volcans.** — M. Élie de Beaumont a donné le tableau suivant des corps simples rejetés par les volcans. Les astérisques indiquent l'existence, dans les

émanations ou dans les roches, de la substance dont le nom est inscrit à la première colonne de gauche.

CORPS SIMPLES	EXISTANT DANS LES ÉMANATIONS VOLCANIQUES.	EXISTANT DANS LES ROCHES VOLCANIQUES.
Potassium . . . . .	"	"
Sodium . . . . .	* Plus abondant que le potassium.	* Plus souvent que le potassium.
Calcium . . . . .	* A l'état de gypse hydraté.	"
Magnésium . . . . .	"	"
Aluminium . . . . .	* Alum des sulfatés.	"
Manganèse . . . . .	* Des traces au Vésuve.	"
Fer . . . . .	* Chlorure, devenant fer oligiste.	"
Cobalt . . . . .	* Presque pour mémoire.	"
Nikel . . . . .	" id.	"
Plomb . . . . .	* Infiniment peu.	"
Cuivre . . . . .	* Chlorure : Vésuve, Etna.	"
Hydrogène . . . . .	* Vapeur d'eau.	* Dans les minéraux hydratés.
Silicium . . . . .	"	* Le plus abondant.
Carbone . . . . .	* Surtout dans les intervalles des éruptions.	"
Bore . . . . .	* Acide borique : Vulcano.	"
Titane . . . . .	"	* Fer oxydulé titanifère.
Arsenic . . . . .	* Réalgar : Vulcano.	"
Azote . . . . .	* Sels ammoniacaux.	"
Sélénium . . . . .	* Fort peu : Vulcano.	"
Soufre . . . . .	* Très-habituel.	"
Oxygène . . . . .	* Eau.	"
Chlore . . . . .	* Beaucoup de chlorures.	"
Fluor . . . . .	"	Quelques fluorures.

M. Palmieri a signalé le thallium et l'acide borique dans les fumées du Vésuve qui suivirent l'éruption du 26 avril 1872.

**SOLFATARES.** — Elles s'appellent aussi *souffrières* ; mais le nom italien a prévalu, on ne sait trop pourquoi. Ce sont, en général, d'anciens cratères dans lesquels ne subsistent plus que de faibles traces d'activité ; cependant on en connaît aussi loin des volcans, par exemple l'*Azufra* de Quindiu et une autre soufrière ouverte dans les schistes cristallins des Andes de Quito. Les dépôts de soufre, qui s'y accumulent en quantités souvent assez grandes pour donner lieu à des exploitations régulières, proviennent toujours de la décomposition de l'hydrogène sulfuré, qui se transforme en eau et en acide sulfureux. Ce dernier s'oxyde quelquefois et se change en acide sulfurique, lequel réagit sur les roches en contact, et opère des transformations analogues à celles que j'ai mentionnées dans les galeries de Bagnères-de-Luchon. Les soufrières se rencontrent presque exclusivement dans les pays volcaniques, tels que les

Andes, l'Islande, les champs Phlégréens. C'est là que se remarque la célèbre solfatare de Pouzzole, vaste cratère elliptique mesurant un kilomètre dans sa plus grande longueur.

**ÉMANATIONS GAZEUSES.** — Elles consistent, soit en *acide carbonique* soit en *hydrogène protocarboné*. Plus intimement liées aux phénomènes éruptifs, les premières n'existent, en général, que dans les centres volcaniques, où elles succèdent aux solfatares et aux fumerolles. Dans les Andes, l'acide carbonique se dégage quelquefois du sol avec tant d'abondance, pendant les tremblements de terre, qu'il détruit des troupeaux, s'il faut en croire les auteurs. On désigne fréquemment sous le nom de *mofettes* les émanations de gaz délétères, au nombre desquels figure l'acide carbonique en première ligne.

Beaucoup plus indépendants de l'action volcanique, les dégagements hydrogénés consistent en jets ascendants d'hydrogène carboné, qui s'échappent des fissures du sol et qu'on peut enflammer. On les appelle alors *sources inflammables*, *fontaines ardentes*, *feux éternels*, etc. Ils sont utilisés dans plusieurs contrées, notamment en Chine, pour le chauffage, l'évaporation des eaux des salines et même l'éclairage. On en connaît sur beaucoup de points du globe, et souvent fort loin des centres volcaniques, par exemple à Madère, à Parme, à Bologne et ailleurs sur le revers nord des Apennins ; en Crimée, en Caramanie, à Bakou et dans le voisinage de la mer Caspienne ; au Bengale, en Chine, à Java, dans l'État de New-York, etc.

**SOURCES BITUMINEUSES.** — Les carbures liquides accompagnent quelquefois les éruptions volcaniques. M. Ch. Deville en signale dans les émanations du Vésuve. La source de bitume du puy de la Poix, près de Clermont-Ferrand, touche à la région volcanique de l'Auvergne, et beaucoup d'autres se rencontrent dans les centres éruptifs. L'analogie qu'on ne peut méconnaître entre les carbures gazeux et ceux qui n'existent qu'à un état plus concret semble indiquer, entre tous ces produits, certaine communauté d'origine. Tels sont les motifs qui m'ont déterminé à placer les sources bitumineuses dans la catégorie des phénomènes où se trahit l'action de l'activité souterraine du globe. Il est bien entendu que je ne parle pas ici des carbures divers provenant manifestement des amas de combustibles fossiles.

Les sources bitumineuses sont ainsi appelées parce qu'elles rejettent au dehors des produits odorants et inflammables rappelant

plus ou moins le bitume, et connus sous les noms de *bitume*, *naphte*, *asphalte*, *pissasphalte*, *pétrole*, *huile minérale*, etc. Elles s'ouvrent, soit à l'extérieur, soit dans les profondeurs des lacs ou des mers; auquel cas le bitume surnage, comme dans la mer Morte. Souvent ce sont des amas souterrains qui jaillissent à la manière des eaux artésiennes par les forages pratiqués dans le but d'en extraire les produits. Le Canada et les États-Unis renferment d'immenses et nombreux gisements de cette nature. Souvent encore le bitume, sans doute déversé par des sources anciennes, imprègne les terrains de sédiment au point que l'exploitation en devient avantageuse : telles sont les asphaltes du Val-de-Travers, dans le canton de Neuchâtel. C'est en grande partie le bitume qui noircit les calcaires des anciennes formations. Assez fréquemment les huiles minérales se rencontrent dans les gisements de sel, et l'on a signalé une certaine corrélation entre les éruptions de boues imprégnées de sel et les émissions des carbures d'hydrogène gazeux ou liquides.

On connaît des sources bitumineuses dans une foule de contrées, par exemple à Alais, en Auvergne, en Italie, dans les îles Ioniennes, en Sibérie, sur les bords de la Caspienne, en Chine, dans les deux Amériques, etc. Quelquefois le bitume est entraîné avec des eaux salées, et se rassemble, à leur surface, en gouttelettes et en taches miroitantes, comme par exemple dans la région des puits inflammables de la Chine, où M. Bertrand indique près de 10 000 sondages, qui ont été forés sur un espace de près de 50 lieues carrées, et qui déversent de l'eau salée depuis un temps immémorial. Dans l'île de la Trinité, le bitume recouvre un lac de 3 milles de tour. Ailleurs, ce sont de véritables sources, par lesquelles il s'écoule presque pur, par exemple au puy de la Poix. Celle-ci est fort peu abondante; on range au contraire les sources de Zante, dans les îles Ioniennes, parmi les plus productives. Elles existaient au temps d'Hérodote, et comme elles donnent annuellement 100 barils de 100 livres chacun, elles ont fourni, à ce taux, 23 000 000 de livres d'huile depuis que cet historien en a fait mention. Mais ce rendement n'est que peu de chose en comparaison de celui des mines de pétrole du Canada et des États-Unis. Elles ont donné lieu à des exploitations si considérables que je ne puis me dispenser d'entrer dans quelques détails. Voici en quels termes M. Gauldrée-Boileau, ingénieur des mines et consul de France au Canada, en mentionne la découverte récente :

**Sources de l'Amérique du Nord.** — « Les sources de bitume » ont été découvertes à Oil-Springs, au milieu de magnifiques forêts.

» On voyait le pétrole sortir de terre en différents endroits. Il bouil-  
 » lonnait et s'accumulait dans les cavités du sol, où il formait des  
 » espèces d'étangs naturels. En hiver, l'huile s'ouvrait un passage  
 » à travers les couches de glace de plus d'un pied d'épaisseur, et  
 » ces efforts étaient accompagnés de bruits souterrains qui se fai-  
 » saient entendre à une certaine distance. Au mois de juin 1861,  
 » un habitant de Port-Huron du nom de Shaw se mit à creuser un  
 » puits, auquel il consacra tout son avoir, et qui atteignit la pro-  
 » fondeur de 66 mètres sans lui donner le moindre résultat. Il était  
 » à bout de ses ressources et presque désespéré. Il allait donc être  
 » forcé d'interrompre ses travaux.... quand tout à coup, à une pro-  
 » fondeur de 67 mètres, l'huile se mit à jaillir avec une violence  
 » inouïe. Elle n'a pas cessé de couler depuis lors.... On ne savait  
 » d'abord comment contenir le pétrole, qui débordait de toutes  
 » parts. Maintenant on a creusé de vastes bassins pour le recevoir,  
 » et l'on a établi des appareils destinés à modérer la production,  
 » qui continuerait à être de 2178 à 2904 hectolitres par jour, si on  
 » ne la réglait pas.... Un quatrième puits vient d'être ouvert dans  
 » la même région. La veine d'huile minérale a été atteinte à une  
 » profondeur de 283 pieds, et le liquide a jailli à une hauteur de  
 » 24 pieds au-dessus de l'orifice du puits ; il a coulé à raison de  
 » 8 barils par minutes ; 10 000 barils ont même été perdus avant  
 » qu'on ait pu se rendre maître de cette sorte d'éruption de pé-  
 » trole. »

Les quatre sources dont il est ici question fournissent ensemble à peu près 12 000 hectolitres par jour, ce qui donne, pour un an, 438 000 mètres cubes de pétrole. On en a trouvé depuis, dans une vaste zone dirigée du nord-est au sud-ouest parallèlement aux Alléghanis, et qui s'étend du lac Ontario à la Virginie. Le haut Canada et les États de New-York et de Pensylvanie sont les régions les plus favorisées. Il y a en Pensylvanie des puits dont le débit journalier se monte à 220 000 litres d'huile, représentant une valeur de 50 000 francs. La production totale pour l'Amérique du Nord a été de 7 394 000 barils en 1872. Dans toute la contrée oléifère, il suffit de creuser le sol à une profondeur qui varie de 10 à 150 mètres. Le pétrole y est emmagasiné dans des fentes et des crevasses verticales, ou à peu près, ouvertes dans les terrains de sédiment inférieurs, siluriens et devoniens. C'est surtout à partir du terrain silurien supérieur qu'il devient abondant. D'après M. Gauldrée-Boileau, les couches horizontales n'en contiennent que par exception ; les couches

inclinées en renferment davantage, mais les riches gisements n'existent que dans les couches disloquées. On attribue l'ascension de l'huile, dans les forages, à la pression exercée par sa vapeur à la surface des réservoirs souterrains. Après avoir coulé pendant un certain temps, le jet se déprime peu à peu, et l'huile cesse de monter jusqu'à la surface du sol ; mais on continue de l'extraire au moyen de pompes.

**Origine des bitumes.** — Quelle est l'origine des huiles minérales et des carbures désignés sous le nom général de bitumes ? Deux opinions se trouvent en présence : l'une admet que tous ces produits sont le résultat d'une sorte de distillation souterraine des houilles et des combustibles fossiles ; l'autre soutient, au contraire, que les bitumes ont été formés directement dans le sein de la terre aux dépens des éléments inorganiques. Celle-ci paraît gagner du terrain, malgré son invraisemblance. A l'époque où M. Virlet a donné, sur les sources de Zante, les détails rapportés plus haut, on ne connaissait pas les mines de l'Amérique septentrionale, et néanmoins cet auteur pense que toutes les houillères du monde n'auraient pu produire les carbures liquides existant à la surface du globe. On doit également faire entrer en ligne de compte la quantité considérable de bitume qui imprègne les terrains de sédiment, et qui démontre l'origine fort ancienne de cette substance. Il faut aussi remarquer que les gisements d'huile minérale n'ont assez souvent aucune relation avec ceux de combustibles. Le cas paraît évident pour les nappes de la péninsule d'Arnya, près de Cumana et de Curiaco, qui découlent des schistes cristallins et des roches primitives, et qui ne peuvent ainsi provenir de distillation souterraine. Comme les combustibles fossiles les plus riches en bitumes n'en renferment que de faibles quantités, chaque gisement d'huile minérale devrait correspondre à des amas de charbon infiniment plus étendus, ce qui n'est pas. Enfin, pour expliquer la formation du pétrole par des distillations de combustibles, il faudrait imaginer sur le globe une quantité de houille ou plutôt d'antracite énormément plus grande que celle qui existe réellement. Je dois ajouter que la formation directe des carbures liquides aux dépens de la matière inorganique ne semble plus un fait miraculeux, depuis que M. Berthelot et M. Morren ont fabriqué des composés organiques, notamment l'acétylène, en combinant directement le carbone et l'hydrogène. L'existence bien constatée de produits analogues dans les émanations volcaniques et dans certaines mé-

téorites, à la surface desquelles la vie ne s'est sans doute jamais manifestée, semble également prouver l'origine inorganique de toutes ces substances.

**SALSES.** — On les appelle encore *volcans de boue*. Ce sont, en effet, des cônes et des cratères en miniature, qui s'élèvent peu à peu par l'accumulation de boues rejetées du sein de la terre, à la suite d'éruptions gazeuses. L'eau dans laquelle la boue se trouve délayée renferme presque toujours du sel marin ; elle entraîne souvent des gouttelettes de bitume. Les gaz sont l'hydrogène protocarboné, l'hydrogène pur, l'azote, l'acide carbonique, l'oxygène. Ils ne sont pas les mêmes partout, ni dans un même lieu à toutes les époques. A Macaluba, en Sicile, il se dégagait de l'hydrogène carboné, de l'oxygène et de l'acide carbonique. Dans les salses de Turbaco, près Carthagène (fig. 74), de Humboldt ne trouva guère que de l'azote,

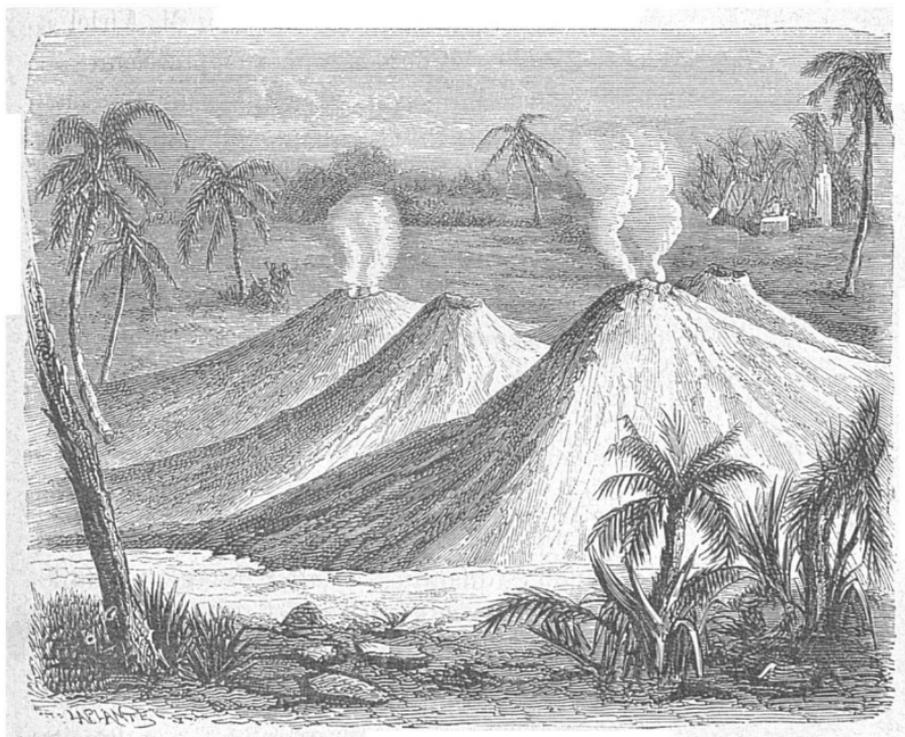


Fig. 74. — Salses de Turbaco.

tandis que cinquante ans plus tard M. Acosta, puis M. Vauvert, y ont reconnu en grande abondance des gaz hydrogénés inflammables.

**Vulcancitos.** — Les salses de cette localité, appelés *vulcancitos*, consistent en une vingtaine de cônes tronqués, de 6 à 8 mètres de hauteur et de 60 à 80 mètres de circonférence à leur base. Les cra-

tères sont des ouvertures circulaires de 4 à 8 décimètres de diamètre ; ils renferment toujours de l'eau, sans cesse agitée et comme bouillonnante par le dégagement des gaz. La température de la boue, prise par M. Vauvert, n'est cependant que de 30 degrés ; de Humboldt l'avait trouvée de 27 degrés et demi : c'est donc à peu près la moyenne du lieu. Il se manifeste deux petites explosions toutes les 5 minutes. Les salses de Macaluba n'ont pas même 1 mètre de hauteur. On connaît encore des volcans boueux dans le Modénaï, en Crimée, dans le Caucase, sur les bords de la mer Caspienne, à Java, etc.

**SOFFIONI.** — Ici encore, la dénomination italienne a prévalu sur celle de *soufflards*, infiniment moins harmonieuse. Ce sont des jets permanents de vapeur d'eau qui s'élancent avec bruit des fissures du sol dans certains centres éruptifs, mais quelquefois assez loin de tout volcan actif. Cependant l'analogie avec les dégagements des cratères et des fumerolles n'en est pas moins manifeste. Les plus connus existent en Toscane, où ils forment des groupes de 10 à 30 à Monte-Cerboli, Castel-Nuovo et Monte-Rotundo, disposés le long d'une fracture presque rectiligne. La vapeur s'échappe en jets de 10 à 20 mètres de hauteur, et atteint une température de 105 et même 120 degrés. L'eau condensée se déverse dans des bassins appelés *lagoni* ; elle renferme de l'acide borique, qui alimente une exploitation assez importante, et pour l'extraction duquel la chaleur des soffioni est utilisée. Il se forme aussi du gypse et des dépôts de soufre dans le voisinage.

**GEYSERS.** — On appelle ainsi des jets ascendants d'eau bouillante ordinairement chargée de matières incrustantes. Les plus remarquables, sinon les plus nombreux, existent en Islande, où l'on en compte une centaine à 44 kilomètres au nord-ouest de l'Hécla, rassemblés dans un rayon de 300 mètres. Le terrain est un tuf siliceux formé par l'eau même des geysers, et recouvrant une lave épaisse ; il passe quelquefois à une sorte de meulière. M. Robert a reconnu que la silice ainsi rejetée constitue un dépôt de 2 lieues de longueur sur 1/4 de lieue de largeur ; la surface est ondulée et forme des collines en pente douce dont quelques-unes ont jusqu'à 33 mètres de hauteur. Ce revêtement siliceux est percé de nombreuses ouvertures, par lesquelles s'élanche la vapeur, et dont quelques-unes occupent le sommet de petits cônes édifiés peu à peu par l'accumulation de la silice. Trois de ces geysers se distinguent par leur importance : se sont le Strokk, le Rikum et le grand Geysir,

dont le nom a été adopté comme dénomination générique de tous ses analogues. Il existe dans la Nouvelle-Zélande des geysers moins connus, mais plus nombreux et aussi remarquables que ceux de l'Islande. C'est par milliers qu'ils se comptent, assure-t-on, dans l'île septentrionale, et leurs éruptions présentent les mêmes phénomènes d'intermittence que ceux de l'île danoise. Leurs eaux déposent également des incrustations siliceuses. J'emprunte à une relation assez récente du voyage de la *Reine Hortense* dans les mers du Nord la description suivante du grand Geyser d'Islande et de ses éruptions (fig. 75).

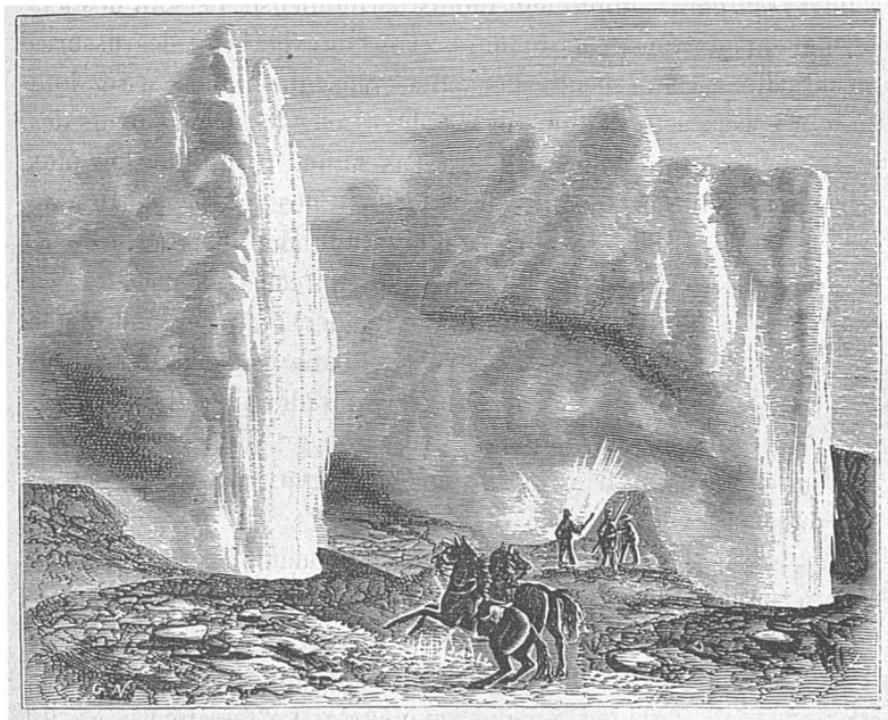


Fig. 75. — Geysers d'Islande.

« Le grand Geyser se distingue par un cône de concrétions siliceuses offrant au sommet un bassin évasé au centre duquel son orifice est percé. Le bassin a 16 mètres sur 18 mètres ; sa profondeur est de 1<sup>m</sup>,5 environ ; la saillie du cône est de 5 mètres ; au milieu s'ouvre un puits de 3 mètres de diamètre et de 23 mètres de profondeur. C'est par ce canal que s'élèvent les eaux bouillantes, qui jaillissent à des intervalles réguliers en une gerbe de 30 à 50 mètres de haut. L'éruption du Geyser n'a pas lieu d'un seul coup ; elle se compose de plusieurs éruptions graduées, et n'atteint

» son maximum qu'après cinq ou sept minutes. L'eau forme alors  
 » une gerbe évasée couronnée de gros flocons blancs de vapeur ; elle  
 » retombe en une pluie dense que les rayons du soleil irisent de  
 » magnifiques arcs-en-ciel. Après l'éruption, l'eau recueillie par le  
 » bassin s'engouffre dans le puits ; on peut alors pénétrer dans le  
 » bassin, et en approchant de l'orifice, on voit l'eau limpide et ver-  
 » dâtre osciller de 1 mètre à 2<sup>m</sup>,50 au-dessous du bord. Elle remonte  
 » ensuite lentement, et au bout de quelques heures elle vient rem-  
 » plir le bassin, dont elle déborde par plusieurs échancrures.  
 » A partir de ce moment et jusqu'à une nouvelle et grande éruption,  
 » il se produit, à des intervalles qui varient entre une heure et  
 » demie et deux heures, des détonations souterraines qui annon-  
 » cent de petites éruptions et d'énormes bouillonnements élevant  
 » l'eau jusqu'à 1<sup>m</sup>,50. Les grandes éruptions se reproduisent à des  
 » intervalles de six, de douze, de vingt-quatre et même de quarante-  
 » huit heures ; il y en a en moyenne une par jour. La tempé-  
 » rature de l'eau, à la surface du bassin, varie de 76 degrés jusqu'à  
 » 90 degrés, la limite supérieure correspondant naturellement au  
 » moment le plus voisin d'une grande éruption. Au fond du puits  
 » il se manifeste un maximum de 127 degrés avant une grande  
 » éruption et de 123 degrés après. On a calculé que l'activité du  
 » geyser pouvait être représentée par celle d'une chaudière à vapeur  
 » de la force de 700 chevaux. »

D'après M. Robert, l'eau du grand Stroock a une température de 111 degrés à 13 mètres de profondeur.

L'eau des geysers d'Islande est chargée de silice incrustante, qui se dépose naturellement sur le sol, dont elle augmente l'épaisseur, en donnant naissance à une sorte de tuf siliceux, à structure un peu lamelleuse, connu en minéralogie sous le nom de *geysérite*. Cette substance imprègne tous les objets en contact, et les transforme en fausses pétrifications analogues à celles de Saint-Allyre et de Saint-Nectaire en Auvergne. Des troncs de bouleaux ont même été complètement minéralisés et silicifiés. A Carlsbad, où des jets saccadés d'eau bouillante s'élancent à 2 ou 3 mètres de hauteur, les incrustations sont de nature calcaire.

**Théorie des geysers.** — Les geysers, qu'on pourrait appeler volcans d'eau, se rattachent étroitement aux phénomènes volcaniques actuels, dont ils ne sont sans doute qu'une manifestation particulière. Je ne rapporterai aucune des théories assez nombreuses imaginées dans le but d'expliquer l'ascension et l'intermittence des

jets d'eau chaude, parce qu'elles ne consistent qu'en pures hypothèses. La plus accréditée imagine que le liquide des jets intermittents parcourt un canal souterrain replié en une  $\infty$  renversée à la manière des manomètres. Mais il serait presque miraculeux que dans l'espace relativement restreint occupé par les geysers de l'Islande et par ceux de la Nouvelle-Zélande, existassent autant de canaux ainsi confectionnés qu'il y a de jets intermittents. D'un autre côté, comme plusieurs jets sont continus et que d'autres ressemblent plutôt à des fumerolles, il faudrait inventer presque autant d'hypothèses qu'il se présente de cas particuliers ; et l'on ne voit pas ce que la science aurait à gagner à ces jeux d'esprit.

**SOURCES MINÉRALES.** — Sous ce titre on doit comprendre toutes les sources amenées à la surface par des canaux plus ou moins ascendants, et alimentées par des eaux provenant de la circulation souterraine profonde, quelle que soit d'ailleurs la nature de ces eaux, et fussent-elles même chimiquement pures. Elles se distinguent des sources ordinaires en ce que ces dernières sont entretenues par la circulation souterraine superficielle déjà décrite, et qu'elles suivent toujours une pente descendante, sauf en quelques circonstances exceptionnelles, aussi bien dans leur trajet souterrain que dans leur parcours à la surface du sol. Telle est la théorie ; mais je dois avouer qu'il se présente des cas douteux, dans lesquels on ne peut aisément reconnaître si des eaux chargées de principes minéraux viennent de la surface ou des profondeurs du globe, les canaux souterrains demeurant presque toujours inaccessibles. Le plus souvent, mais non constamment, les eaux des sources minérales, communément désignées sous le nom d'*eaux minérales*, se distinguent de celles des sources ordinaires par des propriétés particulières, qu'elles tiennent de diverses substances en dissolution. Souvent aussi leur température est fort élevée : ce sont alors des *sources thermales*. Quelques-unes de ces dernières se rattachent si intimement aux geysers par la nature de leurs eaux et par leur origine, qu'il n'est pas toujours possible de les en distinguer facilement ; et comme la transition des sources thermales aux sources minérales froides est tout à fait insensible, on ne peut se refuser à réunir les sources minérales aux phénomènes éruptifs, dont elles représentent la manifestation la plus affaiblie. Les détails suivants relatifs à la *circulation profonde* des eaux souterraines achèveront de faire bien comprendre ce que c'est qu'une source minérale.

**Circulation profonde des eaux souterraines.** — Nous avons vu

précédemment qu'une partie des eaux pluviales qui pénètrent dans l'intérieur du sol, y rencontrent des couches imperméables, dont elles suivent les pentes pour se déverser au dehors et former les sources ordinaires. Mais une autre portion des eaux superficielles provenant, soit de la pluie, soit des cours d'eau, soit des lacs et des mers, descend à de plus grandes profondeurs dans l'écorce solide du globe, qui s'en trouve entièrement imbibée, au moins dans ses couches les plus extérieures. Cette eau s'infiltré de proche en proche par les failles et les fissures grandes ou petites qui morcellent cette écorce solide ; elle imbibe les roches en apparence les plus compactes, et la chaleur paraît favoriser plutôt que gêner l'action de la capillarité. Cependant, ce trajet souterrain doit avoir des limites, puisque la température augmente avec la profondeur. Il arrive un moment où le liquide vaporisé se trouve repoussé vers la surface du sol. A quelle distance peut-il ainsi pénétrer ? C'est ce qu'on ne peut dire ; car si l'existence de l'eau dans les laves incandescentes ne prouve pas du tout qu'elle s'avance jusqu'à la pyrosphère, on ne saurait pourtant affirmer que les résultats obtenus par M. Daubrée ne se réalisent également à des températures beaucoup plus élevées que celles où il a expérimenté. Si donc il est bien évident que l'eau qui circule dans des canaux en masse un peu considérable ne pénètre pas au delà du point où elle rencontre une chaleur capable de la volatiliser, on ne peut guère assigner de limite à la circulation capillaire dans l'intérieur des roches, ni même affirmer qu'elle ne s'étende jusqu'à la pyrosphère. Quoi qu'il en soit, les filets d'eau souterrains qui descendent dans des canaux et des crevasses sont repoussés au dehors, sans doute par l'expansion de la vapeur dont ils fournissent eux-mêmes les éléments. Quant les infiltrations sont abondantes et profondes, et que les canaux offrent partout un diamètre suffisant, on peut imaginer que la vapeur se forme en telle quantité qu'elle refoule à l'extérieur l'eau bouillante, et qu'elle s'élançe elle-même en jet ascendant à la surface du sol. Si le liquide se trouve arrêté à une moindre profondeur dans sa circulation souterraine, et que la production de vapeur soit plus faible, des eaux chaudes s'écoulent des sources minérales ; et l'on comprend que dans des circonstances particulières, comme par exemple dans le cas où l'ascension du liquide est aidée par la pression ou le dégagement de quelque gaz, les eaux aient le temps de se refroidir complètement en se rapprochant de la surface du sol. Telle est l'idée que nous pouvons nous former de la circulation profonde ; telles

sont les hypothèses au moyen desquelles on cherche à expliquer l'origine et le mode d'ascension des eaux minérales. Il faut ajouter que ces eaux se chargent pendant leur double trajet souterrain de diverses substances, dont la chaleur favorise la dissolution.

**Température des sources minérales.** — Rien n'est donc plus variable que la température des sources minérales ; on peut en juger d'après le tableau suivant.

Courmayeur.....	30°,4	Carlsbad.....	73°
Mont Dore.....	45°	Plombières.....	74°
Barèges.....	48°,9	Ax.....	75°
Néris.....	51°	Olette.....	78°
Bourboule.....	52°	Chaudes-Aigues.....	80° à 82°
Cauterets.....	55°	La Trinchera.....	97°
Bagnères-de-Luchon.	58°,9	Soffioni.....	105°
Aix-la-Chapelle.....	61°,7	Strock.....	111°
Bade.....	65°	Grand Geyser.....	127°

La température est constante pour les sources chaudes ou très-chaudes, et peu variable pour les autres. Les sources minérales proprement dites, dont la chaleur ne dépasse guère la moyenne du lieu, ont également, en toute saison, une température plus uniforme que les sources ordinaires, et cela se comprend aisément, puisqu'elles arrivent de régions plus profondes.

**Composition des eaux minérales.** — La *composition* des eaux minérales offre tant de diversité, que beaucoup ne peuvent entrer exactement dans l'une des nombreuses catégories établies dans le but de les distinguer sous le rapport de leur teneur en substances solides ou gazeuses. Voici néanmoins les groupes qui sont le plus généralement adoptés.

1° *Sources acidules ou gazeuses.* — Elles renferment en dissolution de l'acide carbonique, qui leur communique une saveur piquante, aigrelette et assez agréable : telles sont les célèbres eaux de Seltz, qui ont donné leur nom à toutes leurs congénères gazeuses. Souvent elles sont en même temps ferrugineuses, comme celles de Royat et de beaucoup d'autres localités de l'Auvergne ; quelquefois elles sont alcalines, comme à Vichy, Carlsbad, etc. Plusieurs rentrent dans la catégorie des sources thermales, ainsi que beaucoup de celles des groupes suivants.

2° *Sources sulfureuses.* — Elles renferment de l'hydrogène sulfuré ou des sulfures alcalins, qui leur donnent l'odeur des œufs pourris ; la plupart sont en même temps des sources thermales, et plu-

sieurs jaillissent à une température fort élevée. Comme exemple on peut citer les eaux de Baguères-de-Luchon, de Barèges, de Cauterets, d'Aix-la-Chapelle.

3° *Sources alcalines.* — Elles sont chargées de carbonate de soude, qui leur donne une saveur amère et urineuse. Très-souvent elles dégagent de l'acide carbonique, au point qu'on peut tout aussi bien les réunir aux sources acidules; quelques-unes sont thermales. Les eaux de Carlsbad, de Spa, de Vichy, de Plombières, etc., appartiennent à cette catégorie.

4° *Sources salines.* — On peut désigner ainsi toutes celles qui renferment en dissolution un ou plusieurs sels solubles; elles ont une saveur amère ou salée. Les sels les plus habituels sont le chlorure de sodium et les sulfates de soude, de magnésie, de chaux, quelquefois associés à des sulfures alcalins. On peut citer les eaux d'Epsom et de Sedlitz comme des types classiques.

5° *Sources ferrugineuses.* — Elles contiennent du sulfate ou du carbonate de fer, qui leur donne une saveur styptique particulière; elles dégagent souvent de l'acide carbonique, par exemple en Auvergne.

6° *Sources calcaires.* — Elles sont plus ou moins chargées de carbonate de chaux, qu'elles déposent sur les objets en contact. A cette classe appartiennent les sources incrustantes de Saint-Nectaire et de Saint-Allyre en Auvergne, dont les eaux jaillissent du sol granitique. Au contraire, une foule de sources incrustantes, alimentées par les eaux de la circulation souterraine superficielle, rentrent dans la catégorie des sources ordinaires.

7° *Sources siliceuses.* — Ce sont des eaux chaudes, souvent bouillantes, chargées de silice incrustante, et qui ne se distinguent des geysers que parce qu'elles s'écoulent au niveau du sol au lieu de s'élaner dans les airs par jets intermittents. Mais la parenté de quelques-unes avec les geysers est si étroite qu'on ne peut les en séparer dans un classement. Aussi ne doit-on pas hésiter à considérer ces derniers comme des sources minérales qui jaillissent dans des conditions particulières. Souvent la silice est associée à l'hydrogène sulfuré. Après les geysers, l'exemple le mieux caractérisé des sources siliceuses est fourni par celles de l'île de Saint-Michel, dans les Açores. A Furnas les eaux ont une température de 97 degrés, et recouvrent le terrain environnant d'un tuf siliceux qui incruste et même pétrifie les végétaux en contact. On cite encore

des sources pareilles au Mexique, dans les montagnes Rocheuses, dans les Indes, etc.

**Substances dissoutes.** — Je dois répéter que les catégories ci-dessus n'offrent rien d'absolu, telle eau étant à la fois gazeuse, alcaline, saline, et même sulfureuse. On se décide alors, pour le classement, d'après la matière qui domine. Aussi, le plus souvent, les eaux minérales ont-elles une composition infiniment plus complexe que ne l'indique le titre de la catégorie à laquelle elles appartiennent. Une analyse de Berzelius des eaux de Carlsbad y a révélé l'existence de plus de 30 substances tant organiques que minérales. Au fur et à mesure que se perfectionnent les procédés d'investigation semble augmenter le nombre des matières dissoutes, et l'on peut dire la même chose, dans une certaine mesure, des eaux ordinaires. En 1809, on ne connaissait que 5 corps simples dans les eaux de Vichy ; en 1827, on en connaissait dix, et ce nombre était doublé en 1862. Voici, d'après Lecoq, les corps simples qui ont été signalés dans les eaux minérales :

Oxygène.	Silicium.	Fer.
Hydrogène.	Carbone.	Zinc.
Soufre.	Potassium.	Cobalt.
Chlore.	Sodium.	Nickel.
Brome.	Lithium.	Étain.
Iode.	Cæsium.	Antimoine.
Fluor.	Rubidium.	Titane.
Azote.	Baryum.	Cuivre.
Phosphore.	Calcium.	Plomb.
Arsenic.	Magnésium.	Argent.
Bore.	Aluminium.	Or.
	Manganèse.	

Certaines sources chaudes renferment en outre une matière organique appelée *glairine* de son aspect ou *barégine* du nom de la ville de Barège, où elle abonde dans les eaux thermales. Je ne rapporterai aucune des hypothèses au moyen desquelles on essaye d'en expliquer la provenance, assuré que la science ne peut en tirer profit. Une algue particulière végète fréquemment dans les eaux sulfureuses dont la température dépasse 50 degrés sans atteindre cependant 80 degrés ; elle pullule à Bagnères-de-Luchon et dans la plupart des sources des Pyrénées. On signale des insectes aquatiques dans les eaux de l'Arkansas (États-Unis), dont la température s'élève jusqu'à 60 degrés.

Les eaux minérales se distinguent des eaux douces ordinaires plutôt par la spécialité que par la quantité des substances dissoutes. Très-variable de source à source, la *teneur en principes organiques ou minéraux* est généralement constante pour chacune d'elles. Sur 100 parties en poids, les eaux dont les noms suivent donnent à l'évaporation les proportions de matières minérales indiquées au tableau ci-dessous.

Luxeuil.....	0,236	Eau de mer.....	3,530
Seine en amont de		Carlsbad.....	5,459
Paris.....	0,360	Wiesbaden.....	7,454
Fontaines de Berne.	0,478	Schoenbeck.....	10,354

En général, les eaux très-chaudes sont les moins chargées. A la longue les sources minérales fournissent des quantités considérables de produits. D'après Cordier (cours de 1860) celles de Vichy donnent par an 4400 quintaux métriques de carbonate de soude, et la totalité des matières qu'elles rejettent pendant le même espace de temps s'élève à 4560 quintaux métriques, ce qui, en 50 siècles, équivaut à 24 millions de quintaux métriques ou 1 million de mètres cubes, qui formeraient une couche de 1 mètre d'épaisseur recouvrant un carré de 1 kilomètre de côté.

**Volume des sources minérales.** — Rien de plus variable, également, que le *volume* des sources minérales, dont les unes ne laissent échapper qu'un maigre filet, tandis que d'autres sont de véritables torrents. Le tableau suivant donne le débit, en mètres cubes et pendant 24 heures, de quelques sources bien connues.

	Mètres cubes.
Cauterets.....	392
Luchon (sources réunies).....	406
Chaudes-Aigues.....	993
Gros Escaladou (à Amélie-les-Bains)....	1000
Royat (Puy-de-Dôme).....	1296
Saint-Laurent de Louèche (Valais).....	1500
Olette (Pyrénées-Orientales).....	1772
Bourbon l'Archambault.....	2400

Lecoq estime que sur environ 500 sources minérales que renferme le Plateau central de la France, les 231 qui ont été jaugées produisent ensemble 12 064 mètres cubes en 24 heures, et qu'en accordant à chacune des 281 autres un débit moyen de 10 mètres cubes, on aurait, au minimum, 14 874 mètres cubes pour le volume

des eaux minérales du centre de la France, soit 620 mètres cubes par heure et 10 mètres cubes par minute. D'après Cordier, les sources les plus abondantes rendent jusqu'à 400 000 mètres cubes par an, et les sources ordinaires, de 10 à 12 000 mètres cubes.

**Régime des sources minérales.** — En général, le régime des eaux minérales est constant, les plus grandes averses ou les sécheresses les plus prolongées n'exerçant aucune influence sur le débit. Cela doit nous tenir en garde contre les théories qui supposent une corrélation entre les grandes pluies et les mouvements du sol. Si l'inaltérable uniformité du régime des sources minérales prouve, en effet, la lenteur et la continuité régulière des infiltrations qui les alimentent, à plus forte raison les eaux superficielles parviennent-elles plus lentement et plus régulièrement encore à la région plus profonde qui est le siège habituel des tremblements de terre, en supposant qu'elles y parviennent. Le degré d'abondance ou de rareté des eaux superficielles ne peut donc influer en rien sur ces phénomènes. Si, de même, elles alimentent les éruptions volcaniques en arrivant jusqu'à la pyrosphère, cette alimentation est également constante et régulière, et les intermittences entre les éruptions deviennent impossibles.

**Nombre des sources minérales.** — Le nombre actuel des sources minérales est fort grand ; mais on ne peut l'indiquer avec précision, même pour une contrée limitée, parce qu'il s'augmente fréquemment à la suite d'un examen plus minutieux du sol. Pour la France seule, le recensement de 1844 avait donné 473 sources ainsi réparties : Pyrénées, 248 ; Plateau central, 143 ; Vosges 46 ; Alpes, Jura et Corse, 32 ; Ardennes et Hainault, 4. Un relevé plus récent opéré par les soins de l'Académie de médecine indique, pour la même contrée, 864 sources minérales, dont environ 200 dans le Plateau central. Or, M. Lecoq en signale plus de 500 dans cette région, en déclarant qu'il omet plus de 100 filets ou suintements sans importance. En Auvergne même, une foule de petites sources, qui feraient la richesse d'autres contrées, s'écoulent paisiblement sans être exploitées.

**Relation entre le terrain et la nature des eaux minérales.** — On a recherché s'il existe quelque relation entre la nature du terrain et les propriétés des eaux minérales, et l'on est arrivé aux résultats généraux suivants. Les sources les plus chaudes s'écoulent des terrains massifs et cristallins ou des terrains de sédiment inférieurs ; cependant, les terrains d'origine volcanique, dont quelques-

uns sont très-récents, en recèlent un grand nombre. Dans l'un et l'autre cas, l'influence de la chaleur centrale est manifeste. Ces eaux renferment principalement de l'acide carbonique, de l'hydrogène sulfuré, de la silice et des carbonates de soude et de chaux. Les terrains de sédiment moyens, ou secondaires, émettent des eaux généralement moins chaudes, où dominent les sels de soude, à l'exception du carbonate, les sels de magnésic et le sulfate de chaux. L'hydrogène sulfuré, l'acide carbonique et la silice y deviennent rares. Les eaux des terrains de sédiment supérieurs, ou tertiaires, sont généralement froides, et ne renferment guère que des sulfates de chaux et de magnésic et des sels de fer. Je dois ajouter que, dans les terrains superficiels, on ne distingue pas toujours aisément les eaux minérales des eaux douces accidentellement chargées de quelque principe particulier, et que ces terrains, qui recouvrent tous les autres, dissimulent souvent l'origine des sources, dont le point de départ se trouve quelquefois dans des massifs beaucoup plus anciens.

**PHÉNOMÈNES ÉRUPTIFS EN GÉNÉRAL.** — Il nous reste à jeter un coup d'œil sur l'ensemble des phénomènes éruptifs pendant la succession des temps géologiques.

Les émissions de roches incandescentes remontent aux époques les plus reculées. A chaque instant les fissures de l'écorce solide ont laissé échapper au dehors des produits ignés extrêmement variés, dont la nature et la succession seront indiquées dans la partie de cet ouvrage consacrée aux phénomènes anciens. Toutes ces éruptions, surtout les premières, ont eu lieu lentement, paisiblement si j'osais dire ainsi, et sans explosion ; rien n'y dénote l'intervention des gaz et de la vapeur d'eau. A ce régime de tranquillité relative a succédé assez brusquement, vers les débuts de l'époque actuelle, celui des volcans qui viennent d'être décrits. Les solfatares et les anciens dépôts de soufre ont dû, par conséquent, se produire dans d'autres conditions que les dépôts actuels. Nous ne savons rien des anciennes émanations gazeuses. Les sources de bitume remontent au moins à l'origine des terrains de sédiment, puisque les couches les plus profondes de ces derniers sont fréquemment imprégnées de cette substance. Les salses, les soffioni, les geysers, semblent plutôt les conséquences de l'activité volcanique actuelle, quoi qu'on ne puisse affirmer qu'ils n'aient existé autrefois. Enfin les sources minérales sont fort anciennes ; et, dans la première moitié des temps géologiques, ou à peu près, elles ont eu une abondance extraordi-

naire, au moins celles qui ont fourni le calcaire, la magnésie, la silice et l'oxyde de fer qui forment des couches si puissantes dans les terrains de sédiment inférieurs et moyens.

---

## CHAPITRE IV

### PHÉNOMÈNES ORGANIQUES

**Phénomènes organiques.** — Je désigne ainsi toutes les actions de la vie organique, animale ou végétale, qui laissent des traces sur le globe et qui concourent, soit à la destruction, soit à l'édification des terrains actuels. Je ne dirai cependant que peu de choses des *destructions* opérées par les êtres vivants, car elles n'ont qu'une importance infiniment petite. Ce sont surtout des perforations et des cavités d'aspect particulier, creusées dans les roches par des oursins et par des mollusques dits lithophages appartenant aux genres *Pholas*, *Lithodomus*, *Saxicava*, *Teredo*, etc., et dont quelques-uns entament aussi le bois des digues et des navires. Les perforations se remarquent surtout dans les calcaires; mais les roches plus dures, les granites mêmes, n'en sont point exempts, puisque l'on a trouvé, sur les côtes de la Bretagne et ailleurs, des oursins logés dans des roches cristallines. Ce n'est pas ici le lieu d'indiquer les procédés, d'ailleurs assez mal connus, au moyen desquels les animaux perforants se construisent leurs demeures; ce qu'il importe au géologue de savoir, c'est que tous ces êtres ne vivent qu'au niveau supérieur des mers et sur les rivages, de sorte que les perforations des roches par les coquilles lithophages décèlent toujours les anciennes lignes littorales. La falaise de Pouzzoles et les colonnes du temple de Serapis en offrent des exemples remarquables.

Toutes les autres actions organiques ont pour résultat l'*édification* directe ou indirecte de *terrains*. Elles seront énumérées sous le nom des animaux ou des plantes qui les produisent. On verra que les couches ainsi formées ont en général d'autant plus d'importance que les êtres qui leur donnent naissance sont plus petits et plus imparfaits. Ce fait assez curieux avait été déjà signalé par Lamarck.

**VERTÉBRÉS.** — Sauf les gisements de guano, les animaux vertébrés

ne contribuent que pour bien peu de chose à l'édification des terrains. Autrefois leur intervention était un peu plus importante. Ce sont des vertébrés, et principalement des mammifères, qui ont formé les dépôts d'*ivoire fossile* de Sibérie, les *brèches osseuses* ou agglomérations d'ossements cimentés par de l'argile et les amas d'*album græcum* de certaines cavernes. Les *coprolithes*, ou excréments fossiles, sont tellement répandues dans plusieurs assises de sédiment qu'on les exploite pour l'amendement des terres. Elles proviennent généralement de reptiles (fig. 76).



Fig. 76 — Coprolithe de reptile.

Bien connu comme engrais, le *guano* est formé par l'accumulation des excréments d'oiseaux de mer et de leurs dépouilles. C'est une sorte de terre grise ou brune, qui se présente en amas de 10 à 30 mètres d'épaisseur, grossièrement stratifiés suivant la pente du terrain sous-jacent. Son origine est fort ancienne, car on en signale au Pérou un amas horizontal supportant une assise de 3 mètres de diluvium avec coquilles marines, le tout recouvert par un guano plus récent, à la surface duquel se remarquent des alluvions modernes. On connaît deux espèces de guano : le *terreux* et l'*ammoniacal*. Celui-ci admet lui-même deux variétés : le *guano brun*, plus ancien et d'odeur fétide, et le *guano blanc*, qui se forme sous nos yeux. Le guano terreux a perdu ses matières azotées, dissoutes à la longue et entraînées par les pluies ; il ne conserve que ses phosphates, et constitue un engrais moins actif que le guano ammoniacal. Voici la composition de ce dernier. Les échantillons analysés proviennent des îles Cinchas.

Matière organique et sels ammoniacaux...	52,52
Phosphate de chaux insoluble.....	19,52
Acide phosphorique.....	3,42
Sels alcalins, etc.....	7,56
Silice et sable.....	4,46
Eau.....	15,82

---

100,00

Le guano ne peut se former que dans les contrées où pullulent les oiseaux de mer, et où, par conséquent, les eaux sont très-poissonneuses. Il est en outre indispensable, pour que ce produit con-

serve toute son ammoniacque, qu'il soit déposé dans des lieux où ne tombe aucune pluie. Or, cette double condition se trouve réalisée sur les côtes du Pérou et du Chili situées entre le 2° et le 24° degré de latitude sud. C'est là qu'existent les célèbres dépôts des îles Cinchas, estimés à 361 millions de quintaux, et qui naguère excitèrent la convoitise d'un gouvernement européen et furent le prétexte d'une injuste agression. Plus au sud, dans le Chili, abonde le guano terreux, qu'on trouve aussi dans les îles Galapagos et dans les contrées voisines où il tombe de la pluie. Des gisements de guano sont encore signalés en Patagonie et dans la baie de Saldanha, sur la côte occidentale d'Afrique.

**ARTICULÉS.** — Dans les temps actuels ces animaux n'exercent qu'une action bien minime. Il faut cependant mentionner certains crustacés presque microscopiques de la famille des Cypris, qui pullulent quelquefois au point de constituer des couches entièrement composées de leurs carapaces. Il faut encore citer les Serpules, sorte de vers marins qui sécrètent des tubes calcaires, dans lesquels elles vivent, et qui se multiplient si prodigieusement qu'elles forment de vrais récifs autour de certaines îles. Il faut enfin signaler les dépôts de *cuica* ou boules de terre, qui semblent provenir d'un ver de grande taille, et qui, d'après S. Wisse, forment des accumulations de 4 à 20 mètres d'épaisseur dans les hautes vallées des Andes de la République de l'Équateur. L'origine de ce dépôt paraît fort ancienne, et même remonte au delà de l'époque actuelle. Autrefois l'action des articulés était un peu plus importante. On connaît des couches de calcaires et de marnes lacustres à *Cypris* plus développées que celles qui se forment sous nos yeux. Dans les terrains d'eau douce de la Limagne, il existe une assise de 2 mètres et plus remplie de fourreaux de larves de phryganes, et s'étendant sur une superficie considérable.

**MOLLUSQUES.** — A mesure qu'on descend l'échelle zoologique s'augmente l'importance des terrains formés aux dépens des êtres ayant eu vie. A cet égard les mollusques l'emportent de beaucoup sur les animaux des catégories précédentes, ainsi que le prouvent les faits suivants.

Sur les bords du Sénégal, il existe des bancs d'une sorte d'huître d'eau douce, appelée éthérie, assez importants pour être exploités comme pierre à chaux. Dans la Louisiane, l'Alabama et ailleurs aux États-Unis, des coquilles bivalves appartenant aux genres *Unio* et *Gnathodon*, comblent les lacs et les marais, et forment des couches

de plusieurs mètres d'épaisseur. La ville de Mobile est bâtie sur un terrain ainsi constitué. En face de la côte orientale de la Floride et du port de Saint-Augustin s'élève, à 4 mètres au-dessus de la mer, l'île d'Anastase, qui a plus de 3 lieues de long. Elle consiste uniquement en un amas de coquilles marines réunies par un ciment calcaire. La roche ainsi formée est assez dure, et fort recherchée pour les constructions. A certains niveaux les coquilles sont parfaitement intactes et ont conservé leurs couleurs. Dans un étang situé sur la côte orientale de la Corse, et qui communique avec la mer, existe une petite île entièrement composée d'huîtres. Elle s'élève de 25 mètres au-dessus des eaux. Suivant Newbold, les roches du golfe de Suez consistent en débris de coquilles et de polypiers, et appartiennent à l'époque actuelle. Un mouvement séculaire du sol les a portées à 20 mètres au-dessus de la mer ; la ville de Cosséir et plusieurs autres lieux habités s'élèvent sur ce terrain. Je dois arrêter ici cette énumération, que je pourrais beaucoup prolonger ; et j'ajouterai que, dans une foule de localités, le sable des plages et des dunes est presque entièrement composé de débris et de coquilles.

Autrefois les mollusques édifiaient des assises encore plus importantes et infiniment plus étendues : il suffit de citer les calcaires à gryphées et les lumachelles à astartes et à virgules dans les terrains jurassiques ; les grès à *Ostrea columba* dans les terrains crétacés, et une foule d'assises du calcaire grossier et des autres parties du terrain tertiaire.

**GRINOÏDES.** — Ces animaux ont presque disparu de la faune actuelle ; mais autrefois ils ont puissamment contribué à l'édification des terrains de sédiment. On connaît, à divers niveaux, des massifs entièrement composés de fragments et d'articles d'encrines, communément appelés *entroques*, et transformés en calcaire spathique : tel est le marbre des Encaussines, dans le terrain carbonifère de Mons ; tels sont les calcaires à entroques de la Franche-Comté et de la Bourgogne, dans le terrain jurassique.

**POLYPIERS.** — En tout temps les polypiers ont élevé des massifs énormes : Il en existe dans la plupart des terrains de sédiment, et les formations coralliennes ont à notre époque une extrême importance. Les êtres infimes qui les édifient construisent des demeures se rapportant généralement à deux types, savoir les polypiers en boule ou *massifs* (fig. 77) et les polypiers *branchus* ou ramifiés (fig. 78) ; et leur rôle, dans l'édification des roches, est

ordinairement différent selon qu'ils appartiennent à l'une ou à l'autre catégorie.

Souvent, néanmoins, les deux ordres de polypiers contribu en

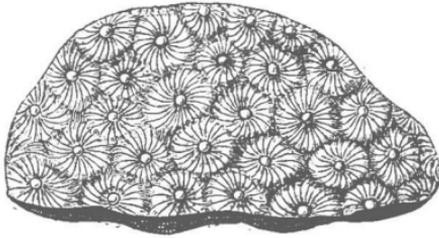


Fig. 77. — Polypier massif.

à peu près dans une égale mesure à cette édification. Ils croissent alors pêle-mêle et enchevêtrés les uns dans les autres, et leurs

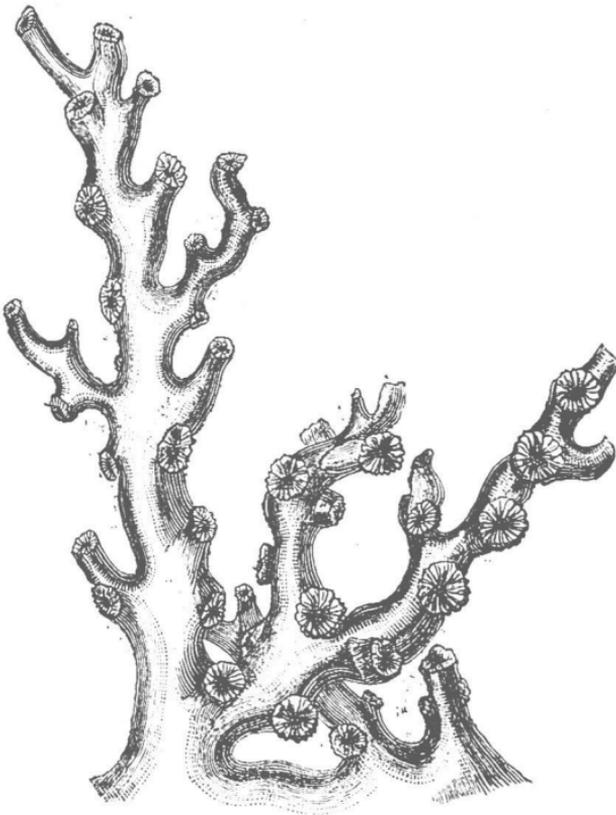


Fig 78. — Polypier branchu.

intervalles ne tardent pas à se combler par des sables, des débris de diverse nature ou par une boue calcaire provenant, soit des détrit

des mollusques et des vieux polypiers, soit d'une véritable sécrétion opérée par les polypiers vivants. Je n'ai pas besoin de dire que le calcaire ainsi sécrété a été préalablement éliminé des eaux de la mer. Les polypiers et les débris s'entassent de cette manière sur des épaisseurs considérables, les vivants prenant en quelque sorte racine sur les morts. Ces actions multiples ont pour résultat définitif la production de roches blanchâtres, plus ou moins compactes, remplies de coraux, de coquillages et de débris de toute nature, et passant tantôt à la lumachelle, tantôt au calcaire oolitique, tantôt enfin au calcaire friable et crayeux. Dans ce dernier cas, l'intervention des foraminifères et des organismes inférieurs vient s'ajouter aux effets ci-dessus indiqués. Souvent les roches ainsi formées ressemblent à s'y méprendre à l'oolite corallienne du Jura et de l'Angleterre : telle est du moins l'opinion de M. Marcou, qui a pu observer les unes et les autres. Plusieurs bancs sont fort durs, résonnent sous le marteau et fournissent d'excellentes pierres de construction. Il arrive souvent aussi que les polypiers massifs constituent presque toute la roche, à l'exclusion des polypiers branchus ; peut-être alors est-elle plus dure et plus homogène, et renferme-t-elle moins de veines sableuses et de débris d'oursins et de mollusques.

**Conditions d'existence des polypiers.** — Les roches coralliennes se forment surtout à de faibles profondeurs, les polypiers qui leur donnent naissance se tenant généralement dans une zone superficielle, dont la limite inférieure ne s'étend guère au delà de 40 à 50 mètres. C'est donc dans cette zone que vivent les principales espèces qui élèvent les récifs, les unes plus haut, les autres plus bas. Il s'agit ici, bien entendu, de limites moyennes, car on commence à trouver maintenant des polypiers coralligènes à toutes les profondeurs. Il en existe dans la Méditerranée à plus de 2000 mètres, et les sondages récemment opérés dans les mers profondes, et notamment ceux que dirigea M. Pourtalès dans les eaux de la Floride, ont fourni des faits importants de nature à modifier beaucoup les anciennes théories. D'un autre côté, les petits êtres qui construisent les récifs ne peuvent vivre qu'à condition de se trouver constamment dans l'eau marine et d'être à l'abri des rayons directs du soleil. Les formations madréporiques en voie d'accroissement se maintiennent donc toujours au-dessous du niveau des basses mers, et ne peuvent exister sur les côtes où les rivières déversent de trop grandes quantités d'eau douce. Si donc un banc de roche corallienne s'élève au-

dessus de la mer, c'est qu'il y a eu un soulèvement du sol, ou c'est que les vagues ont exhaussé le récif en y entassant des sables et des débris.

**Accroissement des polypiers.** — Les polypiers consistent d'ailleurs, comme chacun le sait, dans la réunion d'une immense quantité de petits zoophytes vivant d'une vie commune, et édifiant en un calcaire très-dur une demeure qui les renferme tous. Cette demeure, qui est le polypier même, s'accroît incessamment par le développement de nouveaux individus. M. Dana, qui a fait une étude spéciale de ces constructions, a trouvé que les polypiers branchus s'allongent d'environ 4 centimètres par an, au maximum, mais que diverses causes réduisent le développement moyen à la moitié de cette quantité. Les polypiers en boule s'accroissent plus lentement ; cependant on ne peut rien indiquer de général, chaque espèce ayant un mode d'évolution particulier qui peut être favorisé ou retardé suivant les circonstances. Si maintenant on veut essayer de calculer la rapidité avec laquelle se forment et s'étendent les roches coralliennes, il faut tenir compte des sables, des coquilles des mollusques, des annélides et des oursins et des débris de toute espèce qui viennent incessamment s'intercaler dans la masse. M. Dana estime à un quart environ les apports de cette nature, et, en faisant la part de la destruction, il admet que, tout compensé, les massifs coralliens ne s'accroissent pas, en général, de plus de 3 millimètres par an. A ce compte les bancs de l'île de Clermont-Tonnerre, qui dépassent 600 mètres d'épaisseur, datent de près de 200 000 ans. A Taïti les massifs coralliens ont 76 mètres ; aux îles Gambier ils atteignent 360 mètres, et autour de Fidji, 600 et même 900 mètres. Disons cependant que les polypes ne construisent pas de roches coralliennes dans toutes les circonstances. Sans parler des espèces non sociales, je rappellerai les observations effectuées sur les côtes de la mer Rouge par Ehrenberg et Hemprich. Les coraux y abondent, mais ne s'entassent pas les uns sur les autres. Ils recouvrent seulement les bas-fonds d'une couche dont l'épaisseur ne dépasse pas la hauteur des polypiers branchus qu'elle renferme, et qui protège plutôt les rivages qu'elle ne contribue à leur extension. Telle est la nature, tel est à peu près le mode de formation et d'accroissement des roches coralliennes de l'époque actuelle ; il reste maintenant à en indiquer les diverses manières d'être et les gisements sur le globe.

**Récifs.** — Les roches coralliennes constituent habituellement des

massifs plus ou moins importants désignés sous les noms de *récifs*. Selon leur disposition, on distingue les *récifs côtiers*, les *récifs-barrières* et les *récifs annulaires* ou *atolls*.

**Récifs côtiers ou frangés.** — Les premiers, aussi appelés *récifs frangés*, se forment seulement le long des rivages avec lesquels ils se trouvent en contact immédiat, et qu'ils bordent comme une ceinture de largeur variable. Leurs dimensions, en effet, dépendent de la forme ou plutôt du relief de la plage sous-marine, car ils s'arrêtent brusquement où la profondeur devient trop considérable. Ils se terminent alors, du côté du large, par des murailles presque verticales. Comme les animaux des polypiers périssent dans l'eau douce ou simplement saumâtre, les récifs sont interrompus au débouché des rivières, et coupés de canaux à parois abruptes qui conduisent plus avant dans la mer les eaux fluviales. Ceux qui entourent l'île de France ont une largeur de 100 mètres, et leur surface, presque unie, est rarement découverte aux basses mers. A l'île Bourbon, où les rivages sont plus rapides, les récifs forment des massifs isolés. En général, les récifs frangés se rencontrent sur les côtes à pente roide où l'eau reste toujours limpide, car les polypiers redoutent les vases et les troubles plus encore que les eaux douces.

**Récifs-barrières.** — Des *récifs-barrières* sont ainsi appelés parce qu'ils s'étendent dans la mer parallèlement aux côtes, avec lesquelles ils ne sont jamais en contact ; ils forment ainsi comme une barrière interposée entre le rivage et la haute mer (fig. 79). Ils ne s'établissent que sur les plages basses ou bordées de bas-fonds, et se maintiennent loin du bord, soit pour éviter le mélange des eaux douces, soit à cause des vases et des impuretés qui souillent certains rivages, soit enfin parce qu'ils n'y rencontrent pas une profondeur suffisante. Ils sont principalement constitués par des polypiers massifs, et s'accroissent, ainsi qu'il a été dit, par l'implantation de nouvelles colonies, dont les interstices se remplissent de débris de toute nature. Quand le récif atteint le niveau des basses mers, il continue à s'élever, et finit par se maintenir au-dessus des eaux ; mais alors les polypiers superficiels ont cessé de vivre, et le massif ne s'exhausse plus désormais que par les atterrissements marins. Peu à peu le terrain se consolide et se couvre d'herbes, puis de cocotiers et d'autres plantes dont les graines ont été transportées par les vagues ou par les oiseaux, et le récif finit par devenir une île habitable et quelquefois habitée. Les récifs-barrières en voie d'accroissement continu sont toujours sous-marins. Ils constituent

des bandes d'une largeur variable, qui s'inclinent doucement du côté des terres, et s'élèvent au contraire comme une muraille presque verticale du côté du large. Ces longues bandes, interrompues et coupées de passes vis-à-vis de l'embouchure des rivières et dans les endroits trop profonds, laissent entre elles et le rivage une sorte de chenal où la mer n'a que peu de hauteur, et qui se transforme en lagune dans le cas où le récif vient à faire saillie au-dessus des eaux. Leur intérieur se remplit de sable et de boue calcaire, où végètent des polypiers branchus d'espèces particulières, et où s'établissent des holoturies, qui contribuent beaucoup à la destruction

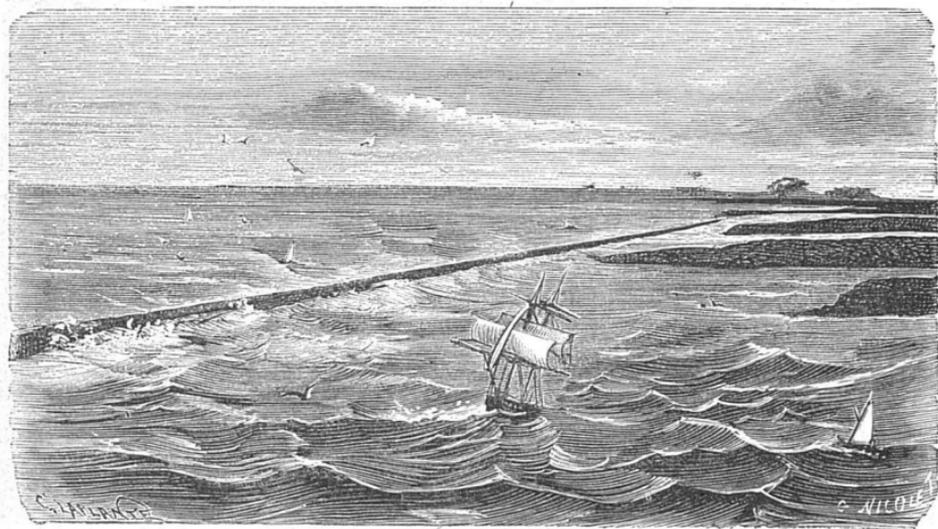


Fig. 79. — Récif-barrière de la côte de Pernambuco.

des coraux. Les débris de ceux-ci viennent alors s'ajouter à ceux des mollusques et des échinodermes.

**Dimension des récifs-barrières.** — La largeur de la plupart des récifs-barrières n'excède pas quelques centaines de mètres. Le plus grand nombre de ceux de l'archipel de la Société est éloigné du rivage de 3 à 4 kilomètres. Le récif d'Hogolen, dans l'archipel des Carolines, se tient à une distance des terres les plus voisines qui varie de 2 lieues  $1/2$  à 8 lieues. Les plus grands récifs du globe s'étendent au large de la côte occidentale de la Nouvelle-Calédonie et de la côte orientale de la Nouvelle-Hollande. M. Darwin assigne aux premiers une longueur de 180 lieues, et aux seconds, une longueur de 400 lieues. Ils se maintiennent à une distance de la côte oscillant entre 8 et 24 lieues, et le canal qui les en sépare est un bas-fond sablonneux recouvert de 20 à 50 mètres d'eau.

**Récifs annulaires ou attolls.** — Les *récifs annulaires* ou *attolls*, ou encore *îles lagouns*, peuvent être considérés comme des récifs-barrières repliés de manière à former un anneau complet. Le côté de la pente rapide regarde la haute mer; celui de la pente douce et insensible fait face à l'intérieur de l'anneau, dont le centre est occupé par une lagune circulaire dans toutes les circonstances (et c'est le cas le plus fréquent) où le récif s'élève au-dessus de la mer. L'attoll constitue alors une île circulaire, souvent habitée, renfermant dans son intérieur un lac salé, également de forme ronde (fig. 80). Quand le récif reste au-dessous du niveau de l'eau, on dit que l'attoll est sous-marin. Tous ont ainsi débuté, leur mode d'exhaussement étant le même que celui des récifs-barrières. Dans l'une et l'autre circonstance, l'anneau est coupé de passes plus ou moins nombreuses, établissant libre communication entre la mer et la lagune intérieure. Les polypiers massifs entrent surtout dans la composition du récif annulaire; tandis que la lagune, toujours peu profonde, et en tout point comparable au chenal qui sépare les récifs-barrières de la côte, ne nourrit que des polypiers branchus, incessamment attaqués par les holoturies, et dont les débris, enfouis dans du sable et de la vase calcaire, s'entassent sous les eaux et élèvent lentement le fond de la lagune. Du côté de la haute mer, la pente du récif dépasse toujours 45 degrés; en tout cas elle est beaucoup plus rapide que celle des cônes volcaniques les plus escarpés. Ordinairement l'anneau est en cercle presque parfait; assez rarement s'allonge-t-il en ovale ou devient-il irrégulier. Sa largeur varie de 250 à 500 mètres. Quand il est émergé, il ne dépasse que de quelques mètres le niveau de la mer, s'élevant brusquement du côté du large et s'abaissant en pente insensible du côté de la lagune, ainsi qu'il a été dit. La profondeur de celle-ci est de 40 à 70 mètres; mais dans les grands attolls des Maldives elle peut aller jusqu'à 90 et même 100 mètres. Rarement le bassin intérieur communique avec la mer par plus de 2 ou 3 canaux; on en compte cependant 42 dans l'attoll de Sudavia. Les dimensions absolues des attolls, c'est-à-dire la longueur du diamètre extérieur de l'anneau, sont d'ailleurs assez variables. Dans l'archipel des îles Basses, les plus petits n'atteignent pas 3 kilomètres, et les plus grands dépassent 10 lieues. Dans les Maldives, on cite des attolls elliptiques qui mesurent plus de 25 lieues de longueur sur 8 ou 9 de largeur.

**Origine des attolls.** — Depuis longtemps on a cherché à expliquer la cause de cette singulière disposition en anneau de la plupart

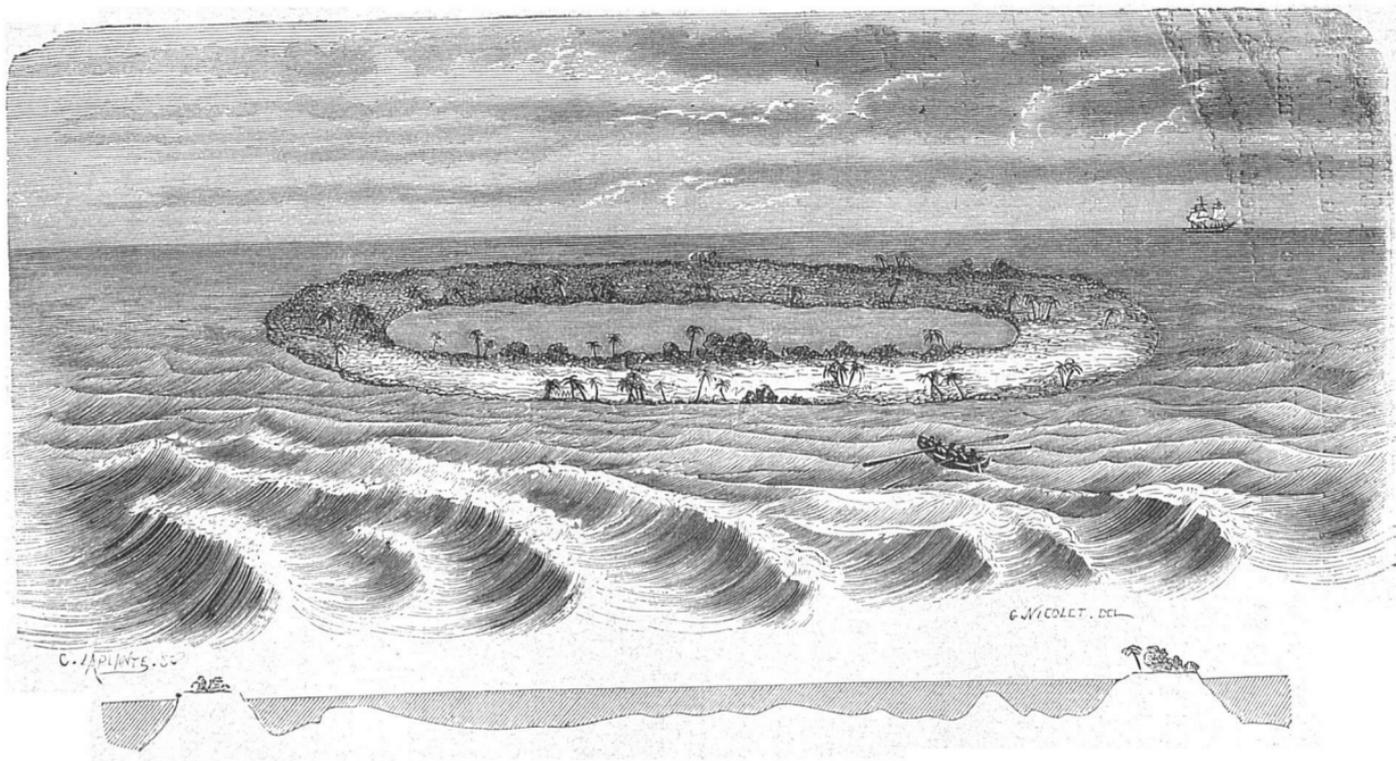


Fig. 80. — Atoll des Cocos.

des récifs de la mer des Indes, et du grand Océan ; mais les théories qui se sont succédé ne paraissent pas entièrement satisfaisantes. Je ne rapporterai que les deux plus connues. Comme des polypiers s'accroissent et prospèrent surtout du côté du large, où ils sont le plus exposés aux vagues et aux coups de mer, Chamisso pensait que les colonies les plus vigoureuses se portaient toujours à l'extérieur, et qu'un massif corallien s'élevant au-dessus d'un bas-fond devait, à la longue, se rapprocher de la surface par sa périphérie, et, par conséquent, former un anneau. M. Darwin n'est pas de cet avis. Il combat également l'opinion qui donne aux atolls des volcans sous-marins pour soubassement. L'exemple de l'île Julia montre, en effet, avec quelle facilité sont balayés par les vagues les cratères qui surgissent d'aventure au milieu des flots. D'un autre côté, M. Darwin fait remarquer qu'à partir de l'extrémité orientale des îles Basses, jusqu'à l'ouest des îles Carolines, sur un développement de plus de 110 degrés en longitude, puis, dans la région des archipels des Maldives, des Laquedives et des Chagos, sur une longueur de plus de 500 lieues, existent d'innombrables atolls, presque tous parvenus au même degré de développement, c'est-à-dire dépassant le niveau des mers, et, par conséquent, ne s'exhaussant plus que par l'action des vagues. Il ne lui semble pas probable que, dans ces immenses étendues, des chaînes sous-marines aient eu à la même hauteur tous leurs sommets, sur lesquels se seraient édifiés les atolls ; car les montagnes terrestres n'offrent point d'exemple d'un nivellement aussi parfait. Il pense résoudre la difficulté en imaginant que les atolls se sont établis sur des îles qui s'affaissent peu à peu, au fur et à mesure que s'élève le récif. Celui-ci forme d'abord une ceinture autour de l'île, et appartient alors à la catégorie des récifs côtiers, puis se transforme en atoll, par suite de l'abaissement du terrain sous-jacent. De cette manière, les polypes se trouvent toujours à la profondeur nécessaire à leur multiplication.

Telle est l'hypothèse la plus généralement adoptée. Elle soulève néanmoins contre elle de sérieuses objections. La seule donnée sur laquelle elle s'appuie, c'est que les coraux ne vivent pas à de grandes profondeurs. Sur le pourtour des atolls et des récifs, les dragages ne ramènent que des polypiers morts dès qu'on pénètre au delà de 40 ou 50 mètres ; et cependant le soubassement corallien s'enfonce bien davantage sous les eaux. Il faut donc qu'il ait été jadis plus rapproché de la surface ; d'où l'idée fort naturelle d'un affaissement insensible du fond de la mer.

Au premier abord on peut trouver surprenant que cet affaissement, dont la durée en certains lieux (île de Clermont-Tonnerre, îles Fidji) a été de plusieurs milliers de siècles, se soit opéré avec une si parfaite régularité. En effet, le fond de la mer a dû s'abaisser constamment d'une quantité égale à celle dont s'élevaient en même temps les récifs; autrement ces derniers n'auraient pas été maintenus dans la zone sous-marine hors de laquelle ils ne peuvent prospérer. Mais comme la chose n'est pas absolument impossible, on ne doit reprocher à l'hypothèse, à ce premier point de vue, que le manque absolu de preuves matérielles.

Une objection plus grave, et qui semblerait plutôt donner crédit à la théorie de Chamisso, est tirée de la manière d'être de certains attolls composés de l'archipel des Maldives. Comme le nom l'indique, ce sont des récifs annulaires ou elliptiques, généralement de très-grandes dimensions, qui sont formés eux-mêmes d'anneaux plus petits ayant lagune à leur centre, et disposés de manière à circonscrire un espace circulaire renfermant une lagune beaucoup plus grande. Ce sont, par conséquent, des anneaux formés d'anneaux. Dans l'attoll composé de Tilla-dou-Mate, dont le grand diamètre est de plus de 25 lieues, les attolls secondaires, également elliptiques, ont une longueur de 2 à 4 kilomètres du côté de la haute mer; ceux qui bordent la grande lagune centrale sont plus petits, et la profondeur de la lagune particulière de chacun d'eux ne dépasse pas 10 à 14 mètres. Tous ces attolls en miniature s'élèvent brusquement au-dessus du soubassement commun qui constitue l'anneau de l'attoll général. Dans la lagune intérieure de chacun d'eux, s'entassent les fragments et les vases calcaires, tandis que leur bord extérieur est formé par les polypiers vivants. Ces petits attolls ressemblent donc absolument aux grands; seulement ils sont groupés, comme il vient d'être dit, sur une plate-forme commune circulaire et de niveau. Cette plate-forme sous-marine n'a donc subi aucun des affaissements partiels qui seraient nécessaires pour expliquer l'édification de chacun des attolls secondaires qui la recouvrent; et si l'on imagine un affaissement général, il est impossible d'expliquer pourquoi les coraux se sont rassemblés en une foule de points de manière à constituer autant d'attolls secondaires, au lieu de se répandre sur toute la surface du soubassement et de former ainsi un attoll unique.

**Régions coralligènes.** — (Fig. 81-82.) Les *régions coralligènes* du globe sont actuellement comprises entre les tropiques, et s'en



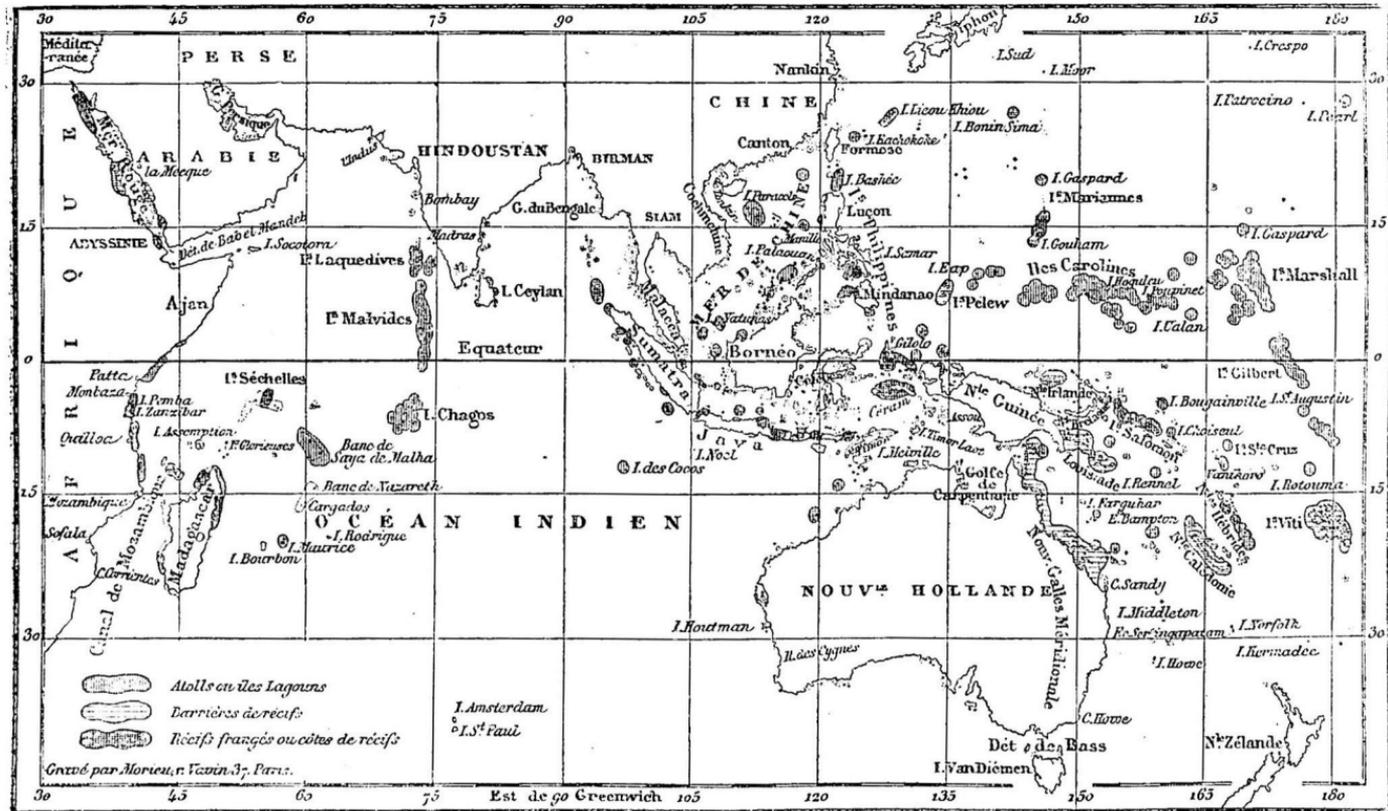


Fig. 82. — Carte des îles et des récifs de polypiers dans l'Océan Indien et les mers de Chine.

éloignent peu au nord et au sud. Les récifs s'étendent pourtant davantage en dehors de la zone torride dans l'hémisphère boréal, toujours plus chaud que l'hémisphère austral à pareille latitude. Les polypiers ne prospèrent, en effet, que dans une eau dont la température ne s'abaisse guère au-dessous de 24 degrés. Cependant on en voit dans les mers plus froides. Ainsi, certaines espèces abondent, à Port Jackson, dans des eaux de 15 à 20 degrés, et l'on connaît des Polypiers jusqu'à Porto-Santo, près de Madère, où la température descend à 14°,44 en hiver. Les récifs s'avancent exceptionnellement jusqu'à 33° de latitude dans les mers de la Floride, réchauffées par le Gulf-Stream, tandis qu'ils manquent aux îles Galapagos situées sous la ligne, mais dont les eaux sont refroidies par le courant polaire antarctique. Cependant, comme ces eaux se maintiennent constamment au-dessus de 16 degrés, et dépassent souvent 20 degrés, on se demande s'il n'y a pas aussi là un fait de dispersion fortuite. Quoi qu'il en soit, les régions les plus riches en récifs sont, en général, renfermées dans les parties centrales du Grand Océan, de la mer des Indes et dans le golfe du Mexique. Dans cette dernière mer il n'y a que des *récifs côtiers*, qui s'étendent à partir des petites Antilles jusqu'à la Floride et aux Bermudes, occupant également quelques points des grandes Antilles et tout le littoral nord de Cuba. Dans le Grand Océan les mêmes récifs se trouvent un peu partout, mais ils abondent principalement dans une large zone s'étendant du sud-est au nord-ouest, et commençant aux îles Toubouani, au sud de l'archipel de la Société, pour se continuer par les îles de Cook, des Amis, des Navigateurs, les Nouvelles-Hébrides, l'archipel Salomon, et s'épanouir ensuite dans les Moluques, les Philippines et les îles de la Sonde. On en connaît quelques stations sur la côte orientale d'Afrique depuis la mer Rouge jusqu'au Mozambique, autour de Madagascar, aux Séchelles et aux Mascareignes, puis aux îles Sandwich. Les *récifs-barrières* se trouvent çà et là dans les mêmes régions, formant une bande parallèle à la précédente mais située plus au sud. Les points les plus riches sont les archipels de la Société et de Viti, la Nouvelle-Calédonie, la côte nord-est de la Nouvelle-Hollande et les archipels de la Louisiane et de la Nouvelle-Irlande. Il en existe également aux îles Pelew, puis dans la mer Rouge et aux îles Comores. Enfin les *attolls* constituent une troisième bande parallèle aux deux premières, mais située plus au nord, et courant de l'archipel des Gambier et des Îles-Basses jusqu'aux îles Paracels dans les mers de la Chine, passant par les îles

d'York, Ellice, de Gilbert, les Carolines, une partie de l'île Pelew et des Philippines. Un autre groupe fort important est constitué par les archipels des Laquedives, des Maldives, des Chagos et les bancs de Saya de Malha, dans la mer des Indes. On en connaît aussi plusieurs groupes sporadiques en dehors de ces limites, notamment l'archipel des Cocos, au midi de Sumatra.

**Développement des récifs dans le passé et dans l'avenir.** —

Les récifs avaient-ils un grand développement aux époques géologiques anciennes? La réponse à cette question n'est pas facile; car s'il paraît certain qu'à aucun moment les roches coralliennes n'ont atteint une épaisseur comparable à celle qu'on leur connaît aujourd'hui, on sait, d'autre part, que les régions coralligènes ont jadis occupé beaucoup plus d'espace sur le globe. A l'époque jurassique, par exemple, les coraux avaient une extrême extension; ils s'avançaient infiniment plus au nord, au moins sur l'emplacement actuel de l'Europe, puisqu'on en a trouvé, en Angleterre, sous le 55° degré de latitude. Alors l'étendue dans le sens horizontal compensait peut-être le développement actuel dans le sens vertical. A l'époque crétacée, la limite des coraux s'était rapprochée de l'équateur. A l'époque tertiaire, les récifs sont presque inconnus; mais les polypiers continuent d'effectuer leur retraite du même côté, occupant sur le globe une aire de plus en plus circonscrite. L'énorme développement actuel et la multiplicité des espèces constitue donc une véritable recrudescence; cependant, quoi qu'on en ait dit, il est contestable que l'avenir appartienne aux coraux, et qu'ils soient destinés à envahir la majeure partie des Océans. Si, en effet, beaucoup de passes se combleraient, si beaucoup de bas-fonds s'exhaussent dans les mers du Sud, il faut, en premier lieu, faire la part des organismes inférieurs, dont le rôle a été jusqu'ici méconnu; il faut ensuite considérer que la plupart des atolls et des récifs, limités par la profondeur du côté du large, ne peuvent gagner qu'en hauteur, sans envahir beaucoup de terrain. Par la force même des choses, la mesure de l'importance et du rôle des polypiers, dans les temps futurs, est donc encore un de ces problèmes dont la solution appartient à l'avenir.

**MICROZOAIRE ET MICROPHYTES.** — Les êtres ne forment pas une série unique et continue dont les principaux termes connus ou inconnus seraient séparés par un espace à peu près équivalent. On remarque bien çà et là des suites plus ou moins homogènes; mais au lieu de s'ajouter les unes aux autres pour composer une sorte de chaîne.

elles se placent, au contraire, les unes à côté des autres, de manière que leurs termes analogues se correspondent dans le sens horizontal. Un des exemples les plus remarquables de ce mode de relations est fourni par les deux règnes organiques. Bien inférieurs aux animaux à tous égards, les végétaux ne peuvent les suivre de manière à continuer une série. Aux animaux, les plus imparfaits ne succèdent pas, en effet, les plantes les plus élevées en organisation. C'est, au contraire, par leurs types les plus dégradés que se touchent les deux règnes, qui se développent ensuite chacun de son côté, et en se tournant le dos, si j'osais ainsi m'exprimer. Le contact a lieu d'une manière si étroite, qu'une foule de productions inférieures ont été longtemps ballottées entre les deux règnes, et successivement revendiquées par les botanistes et par les zoologistes. On est aujourd'hui à peu près d'accord, quoiqu'il ne soit pas toujours facile de constater, sur des êtres microscopiques et parfois infiniment petits, s'ils produisent ou non de la matière verte, et s'ils se nourrissent aux dépens du monde organique ou du monde inorganique. Quoique les limites entre les deux règnes soient donc à peu près tracées, je ferai cependant comme si elles n'existaient pas, et je décrirai, sous un titre commun, les actions diverses des animaux et des végétaux inférieurs concourant à l'édification des terrains actuels. Souvent, en effet, ces actions se mêlent et se confondent, quand elles ne sont pas identiques,

**Spongiaires.** — Les seuls groupes de *microzoaires* que nous ayons à considérer sont les *spongiaires*, les *foraminifères* et les *polyscistités*. Les premiers, connus sous le nom d'*éponges*, consistent en une sorte de squelette de fibres cornées, disposées en un réseau serré et renforcé par des spiculés calcaires ou siliceux. Ce support renferme une masse vivante molle, de nature sarcodique, c'est-à-dire extensible et homogène, et qui résulte de l'agrégation d'innombrables petites masses ou cellules (fig. 83). A l'époque actuelle les spongiaires se détruisent facilement, et laissent peu de traces de leur existence; mais il n'en était pas de même autrefois. Plusieurs de leurs familles, aujourd'hui éteintes, possédaient des téguments assez durs, et leurs représentants pullulèrent au point que ces animaux ont beaucoup contribué à l'édification de certaines roches crétacées. Souvent aussi ils ont été détruits postérieurement à la consolidation de l'assise qui les renferme, et celle-ci demeure remplie de perforations. On en a de nombreux exemples dans le terrain jurassique, où les cavités ont aussi été produites par des zoophytes.

**Foraminifères et polycistinés; diatomées.** — Les foraminifères ou rhizopodes sont des animaux souvent microscopiques, consis-



Fig. 83. — Éponge.

tant en une gelée molle, recouverte d'une mince coquille calcaire criblée d'ouvertures par lesquelles sortent des filaments excessive-

ment ténus. Ordinairement divisée en plusieurs loges, cette coquille est le plus habituellement turbinée ou enroulée dans un plan, et quelquefois d'une rare élégance (fig. 84, 85). Les polycistinés ne se distinguent des foraminifères que par leur coquille siliceuse. Les uns et les autres habitent surtout les eaux marines. Quant aux microphytes, les seules dont nous ayons à nous occuper appartiennent à la famille des *diatomées*. Ce sont de simples cellules, qui se multiplient par division, et dont la forme varie suivant les genres. Chaque cellule ou individu est renfermé dans une enveloppe

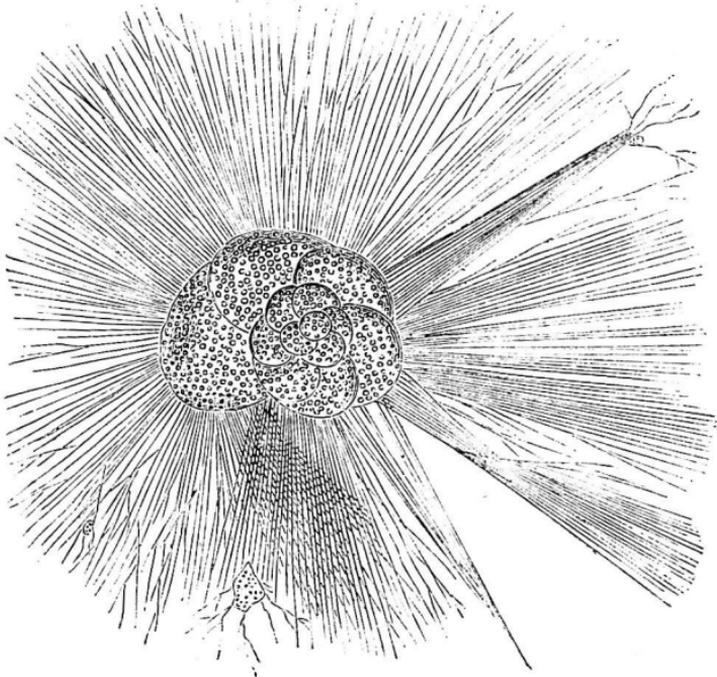


Fig. 84. — Foraminifère.

siliceuse, formée de deux pièces creuses ou valves parfaitement semblables et symétriques, revêtues quelquefois d'ornements fort élégants.

**Terrains édifés par les microzoaires et les microphytes. —**

Les terrains édifés sous nos yeux par tous ces petits êtres ont une grande importance. On en jugera par les exemples suivants. Plancois avait compté 6000 foraminifères dans une once de sable de l'Adriatique. A. d'Orbigny en a trouvé jusqu'à 480 000 dans 3 grammes de sable de la mer des Antilles. Seuls ou mêlés aux polycistinés et quelquefois aux diatomées, ils encombrent les passes, élèvent les rivages et comblent les ports, notamment celui d'Alexan-

drie. Ehrenberg attribue l'obstruction de l'Elbe aux dépouilles de microzoaires, les uns marins, les autres d'eau douce, qui trouvent la mort quand ils sont entraînés dans le milieu contraire à leur nature. Il signale à Lunebourg un banc de 14 mètres d'épaisseur, entièrement formé de ces animaux, dont beaucoup encore vivants. Depuis un siècle il s'est déposé à Wismar, d'après le même auteur, une vase renfermant 64 800 mètres cubes d'êtres microscopiques à carapace siliceuse, ce qui fait 648 mètres cubes chaque année. A l'entrée du Frische-Haff, les ensablements du port de Pilau reçoivent annuellement de 7200 à 14 000 mètres cubes des mêmes orga-

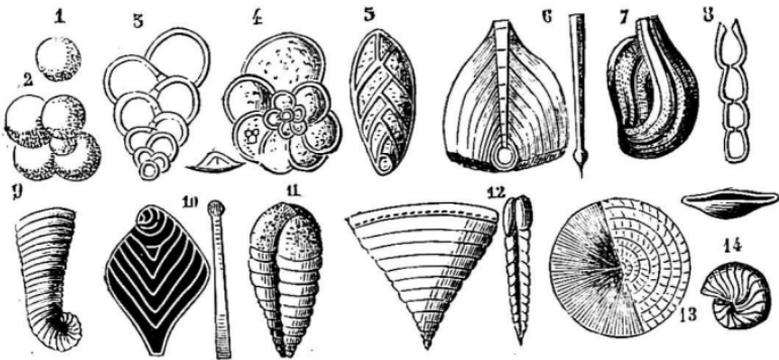


Fig. 85. — Foraminifères et microzoaires.

1. *Orbulina universa*. — 2. *Globigerina rubra*. — 3. *Textilaria globulosa*. — 4. *Rotalia globulosa*. — 5. *Grammostomum phyllodes*. — 6. *Frondicularia annularis*. — 7. *Triloculina Josephina*. — 8. *Nodosaria vulgaris*. — 9. *Lituola nautiloïdes*. — 10. *Flabellina rugosa*. — 11. *Chrysalidina gradatâ*. — 12. *Cuneolina pavonia*. — 13. *Nummulites nummularia*. — 14. *Fusulina cylindrica*.

nismes. En 1839 et 1840 les curages du port de Swinemunde, à l'embouchure de l'Oder, ont donné 4 320 000 pieds cubes de vase, renfermant le tiers de microzoaires et de microphytes. Celles-ci pullulent dans les marais et les tourbières de l'Angleterre, de la Hollande et du Danemark ; le sol sur lequel repose Berlin en est presque entièrement composé jusqu'à la profondeur de 20 mètres, on les a retrouvées à toutes les latitudes, sur toutes les îles, sur tous les continents et jusque dans les cendres volcaniques, où leur présence, il faut bien le dire, ne s'explique pas facilement (fig. 86).

Des couches importantes se constituent donc, sur tout le globe, grâce à ces organismes infimes et presque imperceptibles, aussi bien dans les eaux douces et les sols marécageux que sur les rivages maritimes. Mais des assises beaucoup plus étendues sont

édifiées, dans le fond des mers, par les mêmes organismes. En parlant des conditions de la vie dans les océans, j'ai signalé la découverte récente d'une couche de craie, d'une immense surface, en voie de formation sous les eaux de l'Atlantique, entre l'Europe et les Etats-Unis. La matière crayeuse, rencontrée à une profondeur de 2000 à 3000 mètres sur tout le trajet des cables transatlantiques, consiste, dans ses couches supérieures, en une boue calcaire grèsâtre, entièrement formée de carapaces de foraminifères auxquelles sont mêlées des enveloppes siliceuses de microphytes. Les premiers,

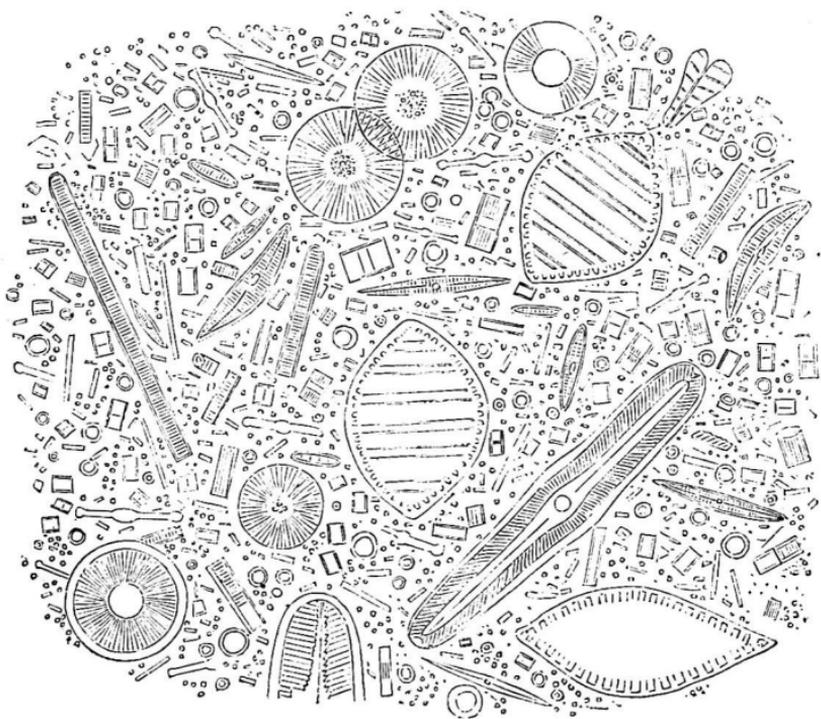


Fig. 86. — Diatomées.

appartenant au genre globigérine, constituent, d'après M. Huxley, les 95 centièmes de cette boue, qui renferme, en outre, de petits granules groupés en sphéroïdes nommés coccosphères par M. Wallich. Les foraminifères vivent dans le fond de la mer, et les microphytes, qui appartiennent aux genres radiolaire et diatome, vivent et flottent à la surface; mais leurs carapaces s'enfoncent sous les eaux après la mort de l'animal, et viennent se mêler à celles des microzoaires (fig. 87).

**Importance des infiniment petits dans le passé.** — On voit, par ce qui précède, que les infiniment petits ne le cèdent à aucune

autre catégorie du règne organique en ce qui a rapport à l'édification des terrains. Leur importance a toujours été fort grande à toutes les époques. Certains tripolis sont entièrement composés de carapaces siliceuses. Une seule espèce de foraminifères a élevé les puissantes assises du calcaire à fusulines, appartenant à la formation carbonifère de la Russie. On peut en dire autant du calcaire à



Fig. 87. — Microzoaires et microphytes de la boue à globigérines.

miliolites des environs de Paris et de beaucoup d'autres assises tertiaires, notamment des calcaires à nummulites du midi de l'Europe. Mais l'exemple le plus remarquable de l'importance des infiniment petits est fourni par la craie blanche, puisque ce terrain,



Fig. 88. — La craie au microscope.

qui occupe en Europe seulement d'immenses superficies, et dont l'épaisseur atteint quelquefois plusieurs centaines de mètres, est presque entièrement composé d'organismes microscopiques (fig. 88). Si donc on peut hésiter, pour l'époque actuelle, à accorder la pré-

pondérance aux microzoaires sur les polypiers, la balance semble pencher en faveur des premiers quand on se reporte aux temps antérieurs.

**VÉGÉTAUX.** — Les végétaux contribuent aussi à la destruction et à l'édification des assises du globe ; mais leur action destructive est bien peu de chose, et se borne aux dégradations produites par les racines dans les terrains en pente. Encore ces effets minimes trouvent-ils une sorte de compensation dans des effets inverses, ou de consolidation, opérés par le développement, dans les terrains meubles, des rhizomes de certaines plantes traçantes. Sauf quelques sécrétions résineuses telles que l'ambre jaune, les végétaux ne renferment point de parties résistantes susceptibles d'être conservées après la mort des individus ; aussi n'est-ce que dans des circonstances exceptionnelles qu'ils passent à l'état fossile. Pour cela il faut que les plantes soient plongées dans des eaux incrustantes qui les pétrifient, la matière minérale remplaçant alors la matière ligneuse molécule par molécule, et gardant le plus ordinairement, avec une admirable netteté, les moindres détails de la structure. A l'époque actuelle ce n'est donc que dans le voisinage des sources incrustantes, et surtout des siliceuses, que se conservent et se pétrifient les végétaux. Mais, je le répète, ce sont des actes exceptionnels et de minime importance. On connaît, dans les terrains de sédiment anciens, et à diverses époques, des végétaux fossiles, toujours peu abondants, et ne jouant qu'un rôle insignifiant dans l'édification des assises. A plus forte raison en est-il de même des empreintes de feuilles et de rameaux.

**Décomposition des végétaux.** — Mais ordinairement les végétaux se détruisent sans laisser, pour ainsi dire, aucune trace, quand ils séjournent après leur mort à la surface du sol, où ils sont exposés à l'action libre de l'atmosphère. Il s'opère alors une sorte de combustion lente ou putréfaction, qui réduit les arbres les plus volumineux en quelques poignées de terreau. A la longue, il est vrai, tous ces détritits élèvent quelque peu le sol en contribuant à la formation de la terre végétale, mais toujours dans une assez faible proportion. Néanmoins, dans les forêts vierges et même dans certaines contrées, aujourd'hui nues et cultivées, comme par exemple la région à terre noire du midi de la Russie, l'épaisseur de la couche de terreau presque pur est de plusieurs décimètres, et peut même, par exception, s'élever au delà de 1 mètre.

**Combustibles fossiles.** — Ces diverses actions ont, en somme,

peu d'importance. Mais il se présente des cas où les végétaux se trouvent accumulés en grande quantité dans un même lieu, puis indéfiniment conservés, soit qu'un enfouissement immédiat les ait mis à l'abri de l'atmosphère, soit que les produits de la décomposition de quelques-uns aient préservé les autres de la putréfaction par une sorte de tannage. Dans ces deux cas, les végétaux passent peu à peu à l'état de *combustibles fossiles*, et se transforment, suivant les temps et les circonstances, en anthracite, en houille, en lignite ou en tourbe. Or, ces divers produits forment des assises puissantes, et contribuent, dans une proportion appréciable, et même assez importante, à l'édification des terrains de sédiment.

Deux conditions sont nécessaires, ai-je dit, à la transformation des végétaux en combustibles : l'enfouissement ou le tannage. Le premier s'opère dans deux circonstances différentes : ou bien les végétaux charriés par les fleuves et les courants s'entassent au fond des mers ou le long des rivages ; ou bien les arbres s'accumulent sur le terrain même où ils ont vécu, et où ils se trouvent enfouis par diverses causes.

Les bois flottés par le Mississipi nous donnent l'exemple le plus remarquable de l'accumulation des végétaux par charriage. Chaque printemps ce fleuve déborde, ainsi que ses innombrables affluents, et tous arrachent à leurs rives des forêts entières. Leurs eaux charrient donc une multitude de trônes d'arbres, qui se réunissent souvent et s'enchevêtrent de manière à former de vastes radeaux. En 1835, l'État de Louisiane fut obligé de faire détruire un de ces radeaux, qui obstruait la branche du fleuve appelée Atchafalaya. Tous ces bois arrivent dans le golfe du Mexique. Les plus lourds sont déposés en avant du delta, et non loin des embouchures du Mississipi. Préservés de la décomposition par leur immersion dans l'eau marine, et ensuite par les vases qu'accumulent incessamment les actions antagonistes du courant fluvial et des vagues du golfe, ces matériaux se disposent naturellement en couches de troncs d'arbres, plus ou moins nettement séparées par des lits de sables et de vases ; ils donneront, avec le temps, des amas de lignite mêlé de terre et d'argile. Une autre partie des arbres du Mississipi flotte à la surface du golfe, et ne tarde pas à être saisie par le courant du Gulf-Stream, qui charrie également les arbres de l'Amazone, de l'Orénoque et des fleuves tributaires de la mer des Antilles. Il les dissémine sur tout son parcours dans le fond de l'Océan ; il en transporte beaucoup jusque sur les côtes de l'Islande et d'autres terres polaires, qui n'ont maintenant point

d'autres combustibles. Comme le trajet est toujours le même, on conçoit que les bois qui s'enfoncent dès que leur pesanteur vient à l'emporter sur celle de l'eau, se déposent à peu près aux mêmes places, et finissent par s'accumuler dans des profondeurs à l'abri de l'agitation superficielle des vagues, de manière à former à la longue des gisements de lignite. Sur les côtes des terres boréales, en Islande par exemple, on connaît des amas fort considérables de troncs d'arbres plus ou moins transformés en bois fossile. Celui de la baie de Virki mesure 110 mètres de long sur 12 mètres d'épaisseur maximum.

**Bois accumulés sur place.** — Les contrées du bas Mississippi offrent également l'exemple le mieux caractérisé de l'accumulation des végétaux sur place. Près de l'embouchure du fleuve, entre ses branches et ses bayous, existent d'innombrables marécages. Une épaisse et vigoureuse végétation de plantes herbacées et de roseaux ne tarde pas à les envahir. Au bout d'un certain temps, et dès que le sol s'est un peu élevé et consolidé, une deuxième végétation, où domine le grand cyprès des marais, s'établit à la même place. Plus tard, quand le terrain est moins humide et encore plus consistant, les cyprès sont à leur tour remplacés par les chênes verts. Les troncs de tous ces arbres, et surtout des cyprès, qui se conservent mieux, et dont la taille est quelquefois gigantesque, jonchent le sol de toutes parts ; ils se putréfieraient s'ils ne se trouvaient, à des époques assez fréquentes, enterrés sous les alluvions déposées pendant les grandes crues. Dans ce lieu se préparent donc aussi des lignites pour l'avenir. Une circonstance remarquable, c'est que les sondages ont fait connaître que, sur une épaisseur de 200 mètres, ces superpositions des trois végétations caractérisées par les roseaux, les cyprès et les chênes, se répètent jusqu'à dix fois dans le sens vertical. On y voit la preuve d'exhaussements successifs du terrain, ou plutôt d'un affaissement lent et séculaire de toute la contrée.

**Tourbières et tourbe.** — La conservation des végétaux par le tannage s'opère dans les *tourbières*, et le produit en est la *tourbe*. Une tourbière consiste donc en un amas de plantes, généralement herbacées, qui s'accroît indéfiniment par l'accumulation des débris végétaux, dont une partie est sacrifiée pour la conservation de l'autre. La surface même de la tourbière est le terrain dans lequel se développent les générations végétales, qui se succèdent en exhaussant peu à peu le niveau du sol, de façon qu'en beaucoup de lieux, dans le Jura par exemple, les tourbières se distinguent de loin à

leur relief bombé. Pour qu'une tourbière s'établisse, il faut un climat humide, plutôt froid que chaud, et une température moyenne de 4 à 8 degrés. La tourbe se forme néanmoins dans tout le nord des continents, quoique la température ne s'y élève pas à 4 degrés. On en connaît quelques amas dans des pays où la moyenne atteint et même dépasse 10 degrés ; mais alors le combustible ne prend que peu d'épaisseur. Aussi le centre-nord de l'Europe : Hollande, Danemark, Suède, Courlande, Russie et surtout Irlande est-il une contrée classique. On peut dire que l'Irlande et certaines parties de la Russie ne sont que d'immenses tourbières. Il en est de même, dans l'hémisphère austral, des Malouines, dont la latitude et le climat correspondent à ceux de l'Irlande. Par la force des choses, les tourbières ne commencent guère en plaine, de part et d'autre de l'équateur, qu'à partir du 45° ou du 50° parallèle ; le 56° parallèle marque leur zone de prédilection. Du côté des pôles, elles n'ont de limites que celles de la végétation. Une autre condition nécessaire à l'établissement des tourbières, c'est une humidité constante du sol. Les plantes de la tourbe, qui appartiennent pour la plupart aux familles inférieures, mousses et cypéracées, ne peuvent croître que dans l'eau, ou au moins dans un sol très-humide. Les tourbières ne sont, en réalité, que de vastes marais, et même des étangs ou de petits lacs, car la tourbe se forme aussi sous l'eau. Il faut donc que les tourbières aient une assiette imperméable ; aussi ne les connaît-on que sur les roches massives, granites et autres, et sur les sols argileux. Une troisième condition, également indispensable, c'est que l'eau soit peu profonde, afin que les plantes puissent prendre racine ; il faut en outre qu'elle s'écoule et se renouvelle lentement, afin que les principes antiseptiques ne soient pas enlevés par un courant trop rapide. Dans les montagnes, la tourbe se forme pourtant sur des pentes assez roides ; mais alors le sol étant continuellement imbibé par des suintements ininterrompus, les mousses aquatiques s'imprègnent d'une quantité d'eau suffisante, et la conservent le temps nécessaire.

**Formation d'une tourbière.** — Voici maintenant, d'après M. Lesquereux, comment s'établit ou se régénère une tourbière dans le Jura. Les mousses du genre sphaigne commencent par envahir le terrain, qu'elles exhausent peu à peu. Sur la couche formée de leur détritits s'établissent bientôt des hypnes, des hydnes et d'autres mousses, auxquelles ne tardent pas à se mêler des jones, des linai-grettes, des carex et autres cypéracées, puis des rossolis, des

grassettes, des violettes d'eau, des saxifrages, des rubaniers, des trèfles d'eau et des comarets. La végétation ligneuse est représentée par l'andromède, la canneberge et les saules nains. Mais la tourbière s'élève et s'épure peu à peu dans ses couches supérieures. Alors se montrent la prêle et le mélampyre des bois, la verge d'or, diverses piloselles et trois espèces de myrtilles, qui envahissent toutes les parties sèches. Le saule à cinq étamines et plusieurs de ses congénères de taille moyenne, les bouleaux et les pins constituent la végétation arborescente de cette troisième et dernière période. A la Terre-de-Feu, dans l'hémisphère austral, ce sont deux plantes appartenant l'une à la famille des saxifragées, et l'autre à celle des jones, savoir le *Donatia magellanica* et l'*Astelia pumila* qui jouent, d'après M. Darwin, le rôle réservé en Europe aux sphaignes et aux mousses. Dans les tourbières marines qui se forment dans le fond des golfes et sur certains rivages, ce sont principalement les algues et les zostères qui entrent dans la composition de la tourbe ; mais les sphaignes s'établissent souvent à leur surface, dès que celle-ci atteint le niveau des eaux. Cette tourbe est toujours plus grossière que celle qui se développe dans les eaux douces.

**Structure d'une tourbière.** — Si, maintenant, nous étudions la manière d'être de la tourbe dans le Jura, en prenant toujours pour guide M. Lesquereux, nous distinguerons deux couches assez différentes. La première et la plus superficielle est formée par une *tourbe mousseuse* à tissu lâche. Elle est de nuance plus claire, et l'on y distingue encore assez facilement, surtout à sa partie supérieure, les plantes qui entrent dans sa composition. Au-dessous commence peu à peu la *tourbe feuilletée*, plus noire et plus compacte, et dans laquelle les espèces végétales deviennent bientôt méconnaissables. Souvent elle contient les troncs noircis et comme charbonnés des pins et des autres arbres qui ont successivement habité la tourbière. Aux Guinots, dans le Jura de Montbéliard, on a retiré de la tourbe d'énormes chênes ; ce qui indique un changement remarquable dans les espèces forestières de la contrée, où maintenant cet arbre ne croît plus. Cette deuxième couche, formée par la tourbe noire, est de beaucoup la plus importante dans toutes les anciennes tourbières, car elle s'accroît incessamment à sa partie supérieure aux dépens de la tourbe mousseuse, qui passe peu à peu à l'état de tourbe feuilletée. La couche de tourbe mousseuse se trouve donc renfermée dans une zone d'une épaisseur à peu près constante et

invariable ; mais elle se renouvelle sans cesse, puisqu'au fur et à mesure qu'elle se transforme en tourbe noire à sa base, elle s'élève à sa partie supérieure. Cet accroissement paraît compris entre 60 centimètres et 1<sup>m</sup>,30 par siècle. Quelquefois le combustible est souillé par des matières terreuses qui s'y introduisent pendant les inondations, quand les marais se trouvent situés dans les vallées au niveau des cours d'eau. Telle est la tourbe de la vallée de la Somme.

**Épaisseur et étendue des tourbières.** — L'épaisseur des tourbières varie de quelques centimètres à 8, 10 et même 18 mètres. Celles des hautes montagnes et de l'extrême nord n'ont souvent pas 1 décimètre de profondeur ; dans les Vosges, elles atteignent 2 à 3 mètres, dans le Jura de 4 à 8 mètres, et en Irlande 12 mètres et davantage. L'étendue des tourbières varie également de quelques mètres à plusieurs milliers de kilomètres carrés. Les plus petites sont celles des hautes montagnes à pentes inclinées. Sur les plateaux du Jura, les tourbières mesurent de 8 à 10 kilomètres sur 4 à 5 au maximum ; celle du Davelsmoor, près de Hambourg, s'étend sur une longueur de 80 kilomètres et sur une largeur de plus de 20.

**Tourbières anciennes.** — Les tourbières les plus anciennes ne remontent pas au delà des débuts de l'époque contemporaine ou de la fin de la période immédiatement antérieure. Sauf une ou deux exceptions, elles ne renferment que les vestiges des animaux et des végétaux encore existants. Elles servent donc à caractériser les temps actuels, au même titre que les dunes, les deltas et les volcans à cratères. Autrefois leur importance a été plus considérable, car c'est probablement dans des tourbières d'une nature particulière que la houille et l'anthracite ont été formées.

---

## CHAPITRE V

### PHÉNOMÈNES COSMIQUES

**Phénomènes cosmiques.** — Ils consistent simplement dans la chute sur le globe de fragments de bolides provenant des espaces célestes. Telle est la seule manière dont notre planète puisse

s'accroître, puisque toutes les modifications de la surface, tous ses épaissemens apparents s'opèrent aux dépens de sa propre substance. Mais cette augmentation de la masse terrestre est infiniment petite, et ne va pas au delà de quelques dizaines de kilogrammes, année moyenne. Pour les détails, je renvoie le lecteur à la première partie de cet ouvrage, où les météores cosmiques ont été décrits à la suite des corps célestes, dont ils font partie tant qu'ils ne sont pas tombés sur notre terre.

---

---

## QUATRIÈME PARTIE

### PHÉNOMÈNES ANCIENS

**Phénomènes anciens.** — On désigne ainsi tous les phénomènes qui ont peu à peu amené la terre à l'état sous lequel nous la connaissons. Ils commencent à l'origine de la planète, et cèdent la place aux phénomènes actuels à partir de l'époque appelée par les géologues *moderne* ou *contemporaine*. Les lois des mathématiques et de la physique étant immuables, éternelles, et n'admettant aucune exception, je n'ai pas besoin de dire que les phénomènes anciens ne sont pas d'une essence particulière, et qu'ils ne se distinguent en rien de ceux qui se passent sous nos yeux. Il est vrai qu'en mainte circonstance ils ont atteint une énergie extraordinaire et désormais sans exemple ; mais si les conditions dans lesquelles se trouvait notre jeune planète, à ces époques reculées, venaient à se reproduire, nul doute qu'ils ne reprissent leur ancienne intensité. N'avons-nous pas sous les yeux, grâce aux admirables découvertes de la science moderne, le spectacle des mouvements prodigieux des protubérances hydrogénées du soleil, et notre globe a-t-il jamais éprouvé de pareils bouleversements dans son atmosphère ? Pour les êtres qui habiteront peut-être un jour cet astre immense, si tant est qu'il en existe jamais (ce dont il est permis de douter), ce serait un phénomène ancien ; pour nous, c'est un phénomène actuel. Employant une de ces comparaisons qu'affectionnent les géologues, je ne puis faire mieux comprendre la différence entre les uns et les autres qu'en disant que les premiers sont l'histoire ancienne, les seconds, l'histoire contemporaine de la terre.

Mais il est impossible de décrire un phénomène sans en examiner en même temps les résultats. L'étude des *phénomènes anciens* n'est

done autre chose que celle de la planète elle-même. Suffisamment préparés par la connaissance que nous possédons maintenant de l'état physique de notre globe et des phénomènes qui se passent actuellement à sa surface et même dans son intérieur, nous pouvons désormais nous occuper de son passé. Il ne doit plus être question de l'atmosphère, des mers et de la pyrosphère, puisque nous sommes réduits aux conjectures sur leurs états antérieurs, et que tout ce qu'on peut énoncer à cet égard avec quelque certitude a été dit précédemment. La quatrième partie de ce livre concerne donc uniquement l'écorce solide, dont la structure avait été à peine esquissée. Je rappellerai que cette écorce se compose de terrains ignés et de terrains de sédiment, et que les premiers consistent eux-mêmes en terrains stratifiés et en terrains massifs. Les terrains ignés stratifiés, ayant été les premiers formés, seront désignés sous le nom de *terrains primordiaux*, et les terrains massifs, ayant une origine éruptive, seront appelés *terrains éruptifs*. Un chapitre fort étendu est consacré aux *terrains sédimentaires*. Mais cette étude de terrains ne peut être comprise sans la connaissance préalable des roches dont ils sont formés; il importait donc de la faire précéder d'une description de ces *roches*. Un grand nombre ayant subi, après leur constitution, des changements qui en ont modifié l'aspect, et souvent la nature minéralogique, l'étude du *métamorphisme* (c'est ainsi qu'on désigne ces transformations) succédera à celle des terrains. Enfin, les *mouvements du sol* qui ont affecté ces derniers doivent naturellement trouver place à la suite. Le livre se termine et se résume par un coup d'œil rapide sur les *époques géologiques*. Tel est, en peu de mots, le plan de cette quatrième partie, qui se compose des chapitres suivants : 1° *roches terrestres*, 2° *terrains primordiaux*, 3° *terrains de sédiment*, 4° *terrains éruptifs*, 5° *métamorphisme*, 6° *mouvements du sol*, 7° *époques géologiques*.

---

## CHAPITRE PREMIER

### ROCHES TERRESTRES

**Roches.** — Par le mot *roche* on entend toutes les masses minérales ou même d'origine organique qui entrent, pour une

proportion notable, dans la composition de l'écorce du globe, quel que soit d'ailleurs leur état physique. Il peut donc y avoir des roches liquides et des roches gazeuses. Au point de vue de la définition rigoureuse du terme, l'air et l'eau sont des roches, aussi bien que la matière fluide de la pyrosphère, aussi bien que le guano, la tourbe et les lignites. Les roches sont formées de *minéraux*, eux-mêmes formés de *corps simples*. Je dois supposer ces derniers suffisamment connus du lecteur; mais, avant de commencer l'étude des roches, je crois utile de décrire les principales espèces minérales qui entrent dans leur composition. Je me sers du mot espèce pour me conformer à l'habitude, quoique les minéraux constituent plutôt des groupes de valeur fort inégale, parmi lesquels il n'est pas facile de discerner ce qui correspond à l'espèce, au genre et même à la famille, comme on les définit en histoire naturelle. Ce que je dis des minéraux s'applique encore davantage aux roches, qu'il est impossible de diviser en groupes de même valeur, et dont les espèces sont encore plus difficiles à déterminer, chacune d'elles résultant du mélange, en proportions habituellement variables, de minéraux dont le nombre et la nature peuvent également varier. Rien n'est donc moins facile que d'établir une classification logique et rigoureuse des minéraux et surtout des roches. C'est ce que je tiens à déclarer, quoique je n'aie point à me préoccuper ici de ce problème délicat, dont la solution, si tant est qu'il y en ait une, appartient de droit aux ouvrages spéciaux.

#### § 1. — MINÉRAUX CONSTITUTIFS DES ROCHES.

Ceux qu'il importe de connaître sont les suivants :

**QUARTZ.** — Cette espèce est formée d'acide silicique pur, et renferme, en poids, 46,66 de silicium et 53,33 d'oxygène. Sa formule minéralogique est  $Si^2$ . C'est une substance transparente, à cassure vitreuse et conchoïdale, étincelant sous le choc du briquet, rayant le verre, infusible au chalumeau, inattaquable par les acides, cristallisant dans le système rhomboédrique, et, le plus souvent, en prismes à six pans striés en travers, terminés par des pyramides à six faces. Son poids spécifique est 2,65.

Les principales variétés sont : 1° le *quartz hyalin* ou *cristal de roche*, auquel s'applique la description ci-dessus; 2° le *quartz vitreux*, plus opaque et de couleur habituellement grisâtre; 3° le *silex*,

tout à fait opaque et souvent nuancé, et dont les principales formes sont : le *silex pyromaque* ou *Pierre à fusil*, l'*agate*, la *calcédoine*, la *cornaline*, le *jaspe* ; 4<sup>o</sup> la *résinite* ou *silex hydraté*.

— On admet que le quartz forme les 35/100 de l'écorce solide. Il entre dans la composition des roches granitiques, des schistes cristallins, et constitue, presque à lui seul, les quartzites, les grès et les sables siliceux.

**FELDSPATH.** — Ce n'est plus une espèce, mais bien une famille comprenant un certain nombre d'espèces, dont la plupart jouent un rôle fort important dans la composition des roches. Elles consistent toutes en un silicate d'alumine associé à une base, qui peut être la potasse, la soude ou la chaux isolées ou réunies par deux. Les feldspaths se distinguent des minéraux analogues en ce que la proportion d'oxygène de l'alumine et celle de l'oxygène de la base se trouve constamment dans le rapport de 3 à 1. Leur formule minéralogique est donc  $Si^n, \overline{Al}^3, B$ . Tous les feldspaths sont fusibles au chalumeau en un verre bulleux mi-transparent ; sauf le labrador et l'anorthite, ils résistent aux acides ; leur dureté est représentée par 6 environ à l'échelle de Mohs, où le talc a le numéro 1 et le diamant le numéro 10 ; par conséquent, ils rayent le verre. Leurs principales espèces sont les suivantes :

1<sup>o</sup> *Orthose*. — Silicate double d'alumine et de potasse, renfermant quelquefois, mais rarement, un peu de soude, et correspondant à la formule  $Si^{12}, \overline{Al}^3, K$ . L'orthose est blanc ou rougeâtre, opaque, rarement translucide ; il cristallise en prisme rhomboïdal oblique ; sa densité est de 2,56. Ses principales variétés sont le *ryacolite* ou feldspath vitreux, fendillé, qui contient de la soude, et qui, lorsqu'il a été fondu et refroidi rapidement, donne l'*obsidienne* ou verre des volcans ; puis, le *pétrosilex* ou feldspath amorphe et compacte, dont la *rétnite* n'est qu'une sous-variété hydratée.

— Élément constitutif des roches granitiques, des gneiss, de beaucoup de porphyres ; la variété ryacolite jouant le même rôle dans la composition des trachytes et autres roches volcaniques feldspathiques.

2<sup>o</sup> *Albite*. — Dans cette espèce, la soude remplace la potasse ; de sorte que la formule devient  $Si^{12}, \overline{Al}^3, Na$ . L'albite est blanc de lait, souvent translucide, rarement transparent ; il brille ordinairement d'un éclat vitreux ; il cristallise en prisme oblique non symétrique ; sa densité est de 2,59.

— Élément constitutif de certains porphyres ; entre dans la com-

position des diorites, de la protogine et des granites les plus récents.

3° *Oligoclase*. — Ici la soude et la chaux constituent la base, en même temps que diminue la proportion de silice, et la formule devient  $Si^9, \overline{Al}^3, (Na + Ca)$ . Ce feldspath est d'un gris clair, laiteux, quelquefois verdâtre, ordinairement translucide, rarement mi-transparent ; il a une cassure grasse, un clivage difficile ; comme tous les suivants, il appartient au même système cristallin que l'albite ; sa densité varie de 2,64 à 2,68.

— Élément constitutif des porphyres de l'Estérel, des porphyres quartzifères de la Nouvelle-Grenade ; existe dans certains granites, certains trachytes, certaines laves.

4° *Labrador*. — La soude et la chaux forment la base ; mais la proportion de silice diminue encore, ce qu'indique la formule  $Si^6, \overline{Al}^3, (Na + Ca)$ . Le labrador est d'un gris de cendre, quelquefois avec reflets chatoyants ; il possède un éclat vitreux ; il ne se laisse facilement cliver que dans une seule direction ; sa densité oscille entre 2,71 et 2,72.

— Élément constitutif des porphyres noirs, des amphibolites, de l'euphotide, des basaltes et des roches pyroxéniques ; le plus important après l'orthose.

5° *Anorthite*. — Beaucoup moins répandu que les précédents, et connu seulement dans quelques laves et dans la météorite de Juvenas, il consiste en un silicate double d'alumine, de chaux et de magnésie, et correspond à la formule  $Si^4, \overline{Al}^3, (Ca + Mg)$ . Il est blanc, vitreux, quelquefois translucide ou incolore, et sa densité se trouve comprise entre 2,72 et 2,76.

**MICAS.** — Les micas forment une famille dont les espèces sont encore mal connues et mal définies. Ils consistent tous en silicates d'alumine et de potasse avec chaux, quelquefois lithine, magnésie, oxyde de fer et fluor. Ils se distinguent facilement à leur texture en lames ou feuilletés très-minces et quelquefois très-grands, un peu élastiques, brillant d'un éclat vif, souvent métallique. Les nuances les plus communes sont l'argent, le bronze, l'or, le vert, le brun et le noir. Les acides attaquent difficilement les micas, qui cristallisent en prisme rhomboïdal droit de 120 degrés ; la densité s'élève à 2,6 environ.

On peut diviser provisoirement cette famille en deux groupes, savoir : les *micas alumineux*, à base de potasse, ayant les axes optiques ordinairement écartés, de couleur blanche, brune ou verte, facilement fusibles en un verre bulleux gris jaunâtre ; 2° les *micas*

*magnésiens*, à base d'oxyde de fer, ayant les axes optiques rapprochés ou confondus, de couleur noire, brune ou vert foncé, difficilement fusibles en un verre gris ou noirâtre. Les premiers sont un des éléments des roches granitiques, des gneiss, des micacites; les seconds ne se trouvent guère que dans certaines roches éruptives.

**TALC.** — C'est un silicate de magnésie hydraté, blanc et légèrement teinté de verdâtre, d'éclat argentin ou nacré, ordinairement un peu gras. Toujours disposé en feuillets minces, flexibles, mais non élastiques, le talc est extrêmement doux et onctueux au toucher; il résiste aux acides et ne peut se fondre au chalumeau. C'est la moins dure de toutes les substances minérales. D'après M. Descloizeaux, sa forme cristalline paraît être celle du mica. Sa densité oscille entre 2,56 et 2,80. On peut considérer la *stéatite* comme une variété compacte, amorphe, plus riche en magnésie et plus hydratée.

— Le talc est un élément important des talcites et des protogines; il existe dans le jade d'Orient, les serpentines, quelquefois les euphotides.

**CHLORITE.** — C'est un silicate hydraté d'alumine et de magnésie avec oxyde de fer. De couleur verte, souvent translucide, cette substance est disposée en écailles ou en lamelles onctueuses, flexibles et non élastiques, et ressemble beaucoup au talc, dont elle dépasse à peine la dureté. Sa densité est de 2,67. La chlorite compte plusieurs espèces ou variétés; elle entre pour une forte part dans la composition des schistes chloriteux.

**AMPHIBOLE.** — Voici encore une de ces grandes espèces ou une famille qui se compose de plusieurs groupes assez distincts. Les diverses amphiboles consistent en un silicate de chaux associé, en proportions variables, à des silicates de magnésie et de fer; elles sont inattaquables par les acides, mais fusibles au chalumeau; elles cristallisent dans le système du prisme oblique de  $124^{\circ}, 11'$ .

Les principales espèces ou variétés sont : 1° l'*hornblende*, noire ou d'un vert foncé, lamelleuse, ayant pour densité 3,1 à 3,4; 2° l'*actinote*, verte, en aiguilles rayonnantes; 3° la *trémolite* ou amphibole calcaréo-magnésienne, blanche plus ou moins grisâtre, de texture fibreuse ou lamelleuse, ayant pour densité 2,93.

— L'*hornblendé* est un des éléments constitutifs de la syénite, des amphibolites, des schistes amphiboleux, des diorites; on la trouve accidentellement dans certains granites, certains porphyres, certains micacites. Infiniment moins répandues, l'*actinote* ne se ren-

contre guère que dans quelques stéatites, et la trémolite, dans la dolomie du Saint-Gothard.

**PYROXÈNE.** — Très-voisine de celle des amphiboles, la famille des pyroxènes est plus importante par le nombre de ses espèces, dont la composition se trouve mieux définie; aussi, à cet égard, se rapproche-t-elle de la famille des feldspaths. Ce sont des silicates multiples de chaux, de magnésie, de manganèse et de fer, dans lesquels les bases peuvent se remplacer en toute proportion sans altérer la formule, qui est  $Si^2, B$ . Tous les pyroxènes sont inattaquables par les acides et fusibles au chalumeau; ils cristallisent en prisme rhomboïdal oblique avec angle de  $87^{\circ} 5'$ .

Les principales variétés sont : 1° la *diopside* ou pyroxène calcaréo-magnésien, de couleur blanche ou vert clair, quelquefois vert noirâtre, translucide ou transparente, ayant pour densité 3,23; 2° l'*hédénbergite* ou pyroxène calcaréo-ferrugineux, de couleur vert bouteille, ayant pour densité 3,10; 3° la *bustamite* ou pyroxène calcaréo-magnésien, de couleur jaunâtre ou gris rosé, de texture fibreuse et radiée, ayant pour densité 3,35 à 3,46; 4° l'*augite* ou pyroxène calcaréo-magnésien et ferrugineux, d'un noir opaque, ayant pour densité 3,30 à 3,47.

— La diopside entre dans la composition de la lherzolite des Pyrénées; l'hédénbergite et la bustamite se rencontrent dans certaines pyroxénites; beaucoup plus importante, l'augite est un élément constitutif des basaltes et de beaucoup de roches volcaniques.

**DIALLAGES.** — C'est un groupe très-voisin du précédent, et qui admet également plusieurs espèces ou variétés. Les diallages consistent en silicates de magnésie, de fer et souvent de chaux, ayant la formule minéralogique des pyroxènes, dont ils se distinguent surtout par le clivage et l'aspect extérieur. Les diallages, en effet, se reconnaissent aisément à leur rellet bronzé et métallique et à leur texture lamelleuse, qui les rend âpres au toucher; ils sont infusibles; ils cristallisent dans le même système que les pyroxènes; leur densité est d'environ 3,38. Ils comprennent la *bronzite*, minéral brun verdâtre ou jaunâtre, qui entre dans la composition des serpentines, et l'*hyperstène*, substance lamelleuse d'un brun noirâtre, qui constitue les hypérites.

**PÉRIDOT.** — Silicate de magnésie et de fer, de la formule  $(Mg+Fe)Si^2$ ; jaune, vert ou brun, ordinairement translucide ou transparent, d'un éclat vitreux, soluble dans les acides, rayant difficilement le verre, cristallisant en prisme rhomboïdal droit de  $119^{\circ} 13'$ , d'une densité

comprise entre 3,3 et 3,4. On le connaît encore sous le nom d'*olivine* et de *chrysolite*. — Élément essentiel de certaines lherzolites, le péricot existe accidentellement dans les basaltes, dans les laves, et se trouve assez répandu dans les météorites.

**AMPHIGÈNE** ou *leucite*. — Silicate d'alumine et de potasse, de la formule  $K, \overline{Al^3}, Si^8$ , d'un blanc laiteux, d'un éclat vitreux, infusible, cristallisant dans le système cubique, ayant pour densité 2,48 à 3,37. — Connue seulement dans les laves du Vésuve.

**ZÉOLITES**. — On désigne ainsi des silicates alcalins et terreux très-nombreux et très-divers, fortement hydratés et bouillonnant au chalumeau, généralement blancs, décomposables par les acides, d'une dureté comprise entre 4 et 6, d'une densité variant de 2 à 2,25. L'espèce la plus répandue est la *mésotype*, silicate double d'alumine et de soude, fréquente dans les basaltes, les dolérites, les phonolites.

**SEL GEMME**. — C'est du chlorure de sodium parfaitement transparent, souvent coloré par diverses substances, quelquefois irisé. On le reconnaît à sa saveur caractéristique. Très-soluble dans l'eau, qui en retient une égale quantité à froid ou à chaud, il décrépité sur le feu, et si l'on augmente la chaleur, il éprouve la fusion ignée et finit par se volatiliser sans se décomposer. Il cristallise dans le système cubique ; sa dureté est comprise entre 2 et 3 ; sa densité est de 2,25. Cette espèce minérale constitue les roches du même nom.

**CHAUX FLUATÉE** ou *fluorine*. — C'est du fluorure de calcium. Ordinairement incolore et transparente, la fluorine est souvent teintée de la manière la plus brillante par divers oxydes métalliques. Elle fond au chalumeau en une perle blanche, et dégage de l'acide fluorhydrique, qui attaque le verre, quand on la traite à chaud par l'acide sulfurique. Elle cristallise dans le système cubique ; sa dureté est de 4 ; sa densité varie de 3,1 à 3,2. On ne la trouve guère que dans les filons.

**BARYTE SULFATÉE** ou *barytine*. — Le nom de cette substance en indique la composition. C'est un minéral blanc ou grisâtre, opaque, insoluble dans les acides, fusible au chalumeau en un émail blanc, d'une dureté comprise entre 3 et 4, cristallisant en un prisme rhomboïdal droit de  $101^\circ 31'$ . Sa densité considérable, qui est de 4,3 à 4,5, lui a fait donner le nom de *spath pesant*. Comme l'espèce précédente, la baryte sulfurée forme la gangue de certains filons ; on la rencontre également dans les terrains sédimentaires, ainsi que la *célestine* ou *sulfate de strontiane*.

**CHAUX SULFATÉE.** — Quand elle est hydratée on la désigne sous le nom de *gypse*. C'est un minéral transparent, incolore, en cristaux d'aspect et de volume très-variables, ou encore en masses fibreuses ou saccharoïdes, opaques, blanches ou diversement colorées. Alors il passe à l'état de roche. Inattaquable par les acides, un peu soluble dans l'eau, il blanchit au chalumeau et dégage de la vapeur aqueuse. Après le talc, c'est le moins dur des minéraux : il est facilement rayé par l'ongle ; il cristallise en prisme rhomboïdal oblique de 113 degrés ; sa densité varie de 2,4 à 2,6.

L'*anhydrite* ou *karsténite* est un sulfate de chaux anhydre, généralement saccharoïde, et presque aussi dur que le marbre. Elle cristallise dans le système du prisme rectangulaire droit. L'une et l'autre espèce existent dans les roches de même nom.

**CHAUX CARBONATÉE** ou *calcaire*. — Se présente, soit en cristaux transparents et incolores, de forme et de dimensions très-diverses, soit, plus communément, en masses saccharoïdes ou compactes et amorphes, blanches ou diversement colorées. Mais c'est alors plutôt une roche qu'un minéral. Il fait effervescence à froid avec les acides et donne de la chaux vive au chalumeau. Il cristallise en rhomboëdre de 105 degrés ; sa dureté est de 3 ; sa densité varie de 2,52 à 2,72. Une autre espèce minérale, l'*aragonite*, ne se distingue du calcaire que par sa forme cristalline, qui se rapporte au prisme rhomboïdal droit de 106 degrés. — Dans les roches de même nom.

**DOLOMIE.** — Carbonate double de chaux et de magnésie, appartenant au même système cristallin que le calcaire, dont il se distingue, quand il est à l'état de roche, par sa texture plus grenue, plus saccharoïde ; par son éclat nacré ; par sa plus grande résistance à l'action des acides, avec lesquels il ne fait à froid qu'une faible effervescence ; par sa dureté un peu plus considérable, enfin par l'angle du rhomboëdre, qui est de 106° 5'. La densité s'élève à 2,85, et même 2,92. — Dans les roches de même nom.

**ARGILE.** — C'est un silicate d'alumine hydraté. Rarement pure, et alors parfaitement blanche, l'argile est presque toujours colorée en rouge, en jaune, en vert, en bleu, en gris ou même en noir par des oxydes métalliques ou des matières charbonneuses. L'argile est une roche plutôt qu'une espèce minérale, puisqu'on n'en connaît point la forme cristalline. — Dans les roches de même nom et dans les marnes.

**FER OXYDULÉ** ou *magnétique*. — On considère ce minéral comme un mélange de protoxyde et de peroxyde de fer, de la formule chi-

mique  $Fe^3O^4$ . Il est noir ou gris noir, et donne une poussière noire. Ses propriétés magnétiques l'ont fait nommer *Pierre d'aimant*. Infusible au chalumeau, il cristallise dans le système cubique, surtout en octaèdres. Sa dureté est exprimée par 5,5, et sa densité varie de 4,75 à 5,09. On le trouve dans les roches de même nom. Sa variété titanifère, connue sous le nom de *fer titané*, fait partie des basaltes et de certaines roches éruptives.

**FER OLIGISTE.** — Sa formule chimique,  $Fe^2O^3$ , en indique suffisamment la composition. C'est un sesquioxyde de fer gris noir ou rougeâtre, quelquefois rouge, quelquefois irisé des plus brillantes couleurs et doué d'un vif éclat métallique, mais donnant toujours une poussière rouge. Il n'est point magnétique, mais il le devient après réduction au chalumeau. Il cristallise dans le système rhomboédrique ; sa dureté est de 5,5 ; sa densité, de 5,24. — Dans les roches de même nom.

**FER HYDROXYDÉ.** — Sesquioxyde de fer hydraté, brun ou jaune terne, donnant une poussière jaune ; non magnétique, mais le devenant au chalumeau et dégageant de l'eau ; d'une dureté représentée par 3 ; d'une forme cristalline inconnue ; d'une densité comprise entre 3,37 et 3,94. — En grains disséminés dans des argiles éruptives, ou en concrétions stalagmitiformes, ou encore en masses terreuses sans consistance, formant des dépôts superficiels ou occupant le fond de certains marais.

**FER SULFURÉ.** — C'est un bisulfure de fer, réductible au chalumeau et donnant du soufre avec un oxyde attirable à l'aimant. Il forme deux espèces minérales : 1<sup>o</sup> la *pyrite jaune*, ayant l'éclat métallique du laiton, étincelant sous le choc du briquet, cristallisant dans le système cubique ; 2<sup>o</sup> la *pyrite blanche*, de couleur plus claire, se transformant en sulfate à l'air humide et cristallisant dans le système du prisme rhomboïdal droit. L'une et l'autre sont très-répandues dans les terrains éruptifs aussi bien que dans ceux de sédiment, mais seulement en cristaux isolés ou en petites masses sans importance.

**FER CARBONATÉ** ou *sidérose*. — Presque incolore quand il est pur, ce minéral se présente ordinairement en cristaux ou en masses jaunâtres, et donne une poussière grise. Lentement soluble à froid dans les acides avec une très-faible effervescence, il noircit au chalumeau et devient magnétique. Sa dureté est de 3,5 ; il cristallise en rhomboèdre de 107 degrés ; sa densité est de 3,80. — Dans les roches de même nom.

## § 2. — ROCHES.

**Classification des roches.** — La classification et la spécification rigoureuses des roches étant, à mes yeux du moins, un rêve irréalisable, je ne me préoccuperais point de leur disposition méthodique. Néanmoins, comme il faut bien les énumérer dans un ordre quelconque, je les rangerai, autant que possible, d'après leur composition minéralogique, en faisant observer que les groupes ou familles ont souvent reçu leur nom de la substance qui leur communique des caractères particuliers et vraiment prépondérants, et non de celle qui entre pour la plus forte part dans la composition de leurs espèces. A mon avis, on doit renoncer aux classifications fondées sur l'origine et la provenance, car elles sont au moins prématurées, le mode de formation de beaucoup de roches étant encore inconnu, et la même espèce pouvant faire quelquefois double emploi. J'ai réuni en dix groupes, qui se succèdent de la manière suivante, les roches dont il sera question dans cet ouvrage.

1. — *Roches feldspathiques.*

**GRANITE.** — Roche massive, formée de cristaux juxtaposés de feldspath orthose, de quartz et de mica, dans des proportions qui varient, d'après Durocher, pour le feldspath de 15 à 55/100, pour le quartz de 30 à 40/100 et pour le mica de 15 à 50/100. Peut renfermer un grand nombre de minéraux accidentels, dont les plus fréquents sont l'amphibole, la pinite, le grenat, la tourmaline, etc. Le granite est dit *porphyroïde* quand il empâte de grands cristaux d'orthose.

A cette roche se rattachent les variétés suivantes, considérées comme espèces par beaucoup de géologues : 1° *pegmatite* ou granite à gros éléments, dans lequel le mica a disparu ou s'est concentré sur quelques points ; 2° *harmophanite*, où le quartz lui-même a disparu ; 3° *hyalomictite* ou *greisen*, où le feldspath devient rare et où abonde le quartz ; 4° *leptinite* ou granite à petits éléments, pauvre en quartz et en mica.

Les roches granitiques ont très-probablement une origine hydrothermale, comme on le verra ci-après ; suivant les uns, elles forment l'ossature du globe, suivant les autres, elles sont toujours éruptives.

**SYÉNITE.** — C'est du granite dans lequel l'amphibole hornblende remplace le mica, et où le feldspath oligoclase se mêle quelquefois à l'orthose. Minéraux accidentels : mica, zircons, grenats, etc. — Même origine que le granite, auquel elle passe dans certains cas.

**PROTOGINE.** — Formée de feldspath orthose pour les  $\frac{3}{4}$ , de quartz pour  $\frac{1}{5}$  et de talc souvent uni à la chlorite pour  $\frac{1}{6}$  ; renferme quelquefois du feldspath oligoclase, et accidentellement du mica, de l'amphibole, etc. — Toujours stratiforme, et, d'après Cordier, en assises puissantes subordonnées aux talcites.

**GNEISS.** — Roche feuilletée, composée de feldspath le plus souvent orthose pour les  $\frac{3}{4}$  ou les  $\frac{4}{5}$ , de mica pour  $\frac{1}{3}$  au plus et souvent de quartz pour  $\frac{1}{8}$  ou  $\frac{1}{10}$ . Minéraux accidentels : grenat, tourmaline, amphibole, graphite, calcaire, pyrite, etc. — Roche métamorphique, c'est-à-dire d'origine sédimentaire, et transformée sur place, suivant les uns ; formant, au contraire, suivant les autres, la partie la plus épaisse et la plus profonde de l'ossature du globe.

**PORPHYRES.** — Sous ce titre on désigne des roches massives diverses, ayant toutes pour base un feldspath à l'état amorphe empiétant des cristaux du même feldspath et souvent des minéraux accidentels, dont les plus fréquents sont le quartz, le mica, l'amphibole, le grenat, le calcaire, la pyrite, etc. On en désigne quelquefois les espèces ou variétés sous les noms defectueux, mais assez commodes, d'*orthophyre*, d'*albitophyre*, d'*labradophyre*, etc., qui indiquent le feldspath dont ils sont formés. Tous les porphyres sont des roches éruptives, généralement anciennes.

Les principaux sont : 1° les *porphyres proprement dits*, comprenant plusieurs espèces, telles que le *rouge antique*, à base d'orthose avec oligoclase ; le *vert antique*, ou *ophite*, ou *mélaphyre*, à base de labrador avec pyroxène et amphibole, souvent classé avec les roches pyroxéniques ; 2° les *pétrosilex* ou *eurites*, consistant en une pâte fine, ordinairement d'orthose, sans cristaux, mais renfermant quelquefois du quartz, du mica et d'autres minéraux accidentels, et passant alors au leptynite ; 3° la *pyroméride*, contenant du quartz et des nodules radiés de feldspath ; 4° peut-être le *jude oriental*, ayant pour base, d'après Cordier, un pétrosilex talcifère, mais considéré par plusieurs auteurs comme une espèce minérale particulière.

**TRACHYTE.** — Roche massive ou prismatique, âpre au toucher, formée d'une pâte de feldspath ryacolite quelquefois associé à de

l'albite ou à de l'oligoclase, et renfermant de gros cristaux du même feldspath, et assez souvent des minéraux accidentels, par exemple du quartz, du mica, de l'amphibole, du fer oligiste, etc. — Volcanique.

A cette roche se rattachent : 1° la *domite* et la *téphrine*, qui sont des trachytes altérés ; 2° l'*obsidienne* ou *verre des volcans* et diverses *ponces* ou *punités*, qui sont des trachytes vitreux ; 3° la *rélinite*, qui est une obsidienne renfermant  $\frac{1}{7}$  ou  $\frac{1}{8}$  d'eau ; 4° les *cendres trachytiques* ou *spodites* et les *scories* ; 5° les *trass*, résultant de la décomposition et de la transformation de ces mêmes cendres en argile.

**PHONOLITE.** — Roche massive, compacte ou feuilletée, souvent divisée en dalles ou en prismes par l'effet du retrait, résonnant sous le marteau à la manière d'une enclume, composée de feldspath orthose avec zéolites intimement mélangées, et, par conséquent, toujours plus ou moins hydratée. — Volcanique.

## 2. — Roches amphiboliques.

**DIORITE.** — Roche granitoïde, formée d'amphibole hornblende verte ou noire et de feldspath blanc ou verdâtre, ordinairement oligoclase ou labrador ; les deux minéraux, en grains ou en cristaux distincts. — Éruptive. Dans la *diorite orbiculaire* de Corse, les éléments de la roche dessinent des sphères presque régulières.

**AMPHIBOLITE.** — Uniquement formée d'amphibole hornblende lamellaire — Éruptive.

## 3. — Roches pyroxéniques.

**DOLÉRITE.** — Roche granitoïde ou grenue, formée pour  $\frac{1}{4}$  ou  $\frac{1}{3}$  de pyroxène augite, de labrador pour les  $\frac{2}{3}$ , et contenant jusqu'à 15/100 de fer titané. Minéraux accidentels : péridot, fer oligiste. — Volcanique.

**BASALTE.** — Même composition que la dolérite, dont il ne se distingue que par sa couleur, d'un noir uniforme, et par sa texture compacte et non cristalline. En massifs souvent divisés en prismes perpendiculaires aux surfaces. — Volcanique.

Cette roche admet plusieurs variétés, qu'on a quelquefois élevées au rang d'espèces ; savoir : 1° la *mimosite*, dont les éléments, encore très-petits, commencent cependant à devenir discernables à l'œil

nu ; 2° la *basanite* ou basalte porphyroïde, renfermant des cristaux isolés de feldspath ; 3° la *gallinace* ou basalte vitreux ; 4° les *cendres basaltiques* ou *cinérites* et les *scories* ; 5° les *wackes*, les *tufas*, les *pépérinos*, les *pouzzolanes*, résultant de la décomposition en argile de ces cendres et de ces scories.

— D'après Cordier et M. Ch. d'Orbigny, on désigne, sous le nom de *trapp*, des roches très-diverses, dont la plupart appartiennent au basalte et à ses variétés.

**AMPHIGÉNITE.** — Pâte de pyroxène et d'amphigène, avec cristaux plus ou moins distincts de l'un et de l'autre et fer titané. — Volcanique.

**LHERZOLITE.** — Mélange compacte ou grenu de pyroxène diopside et de péridot avec enstatite, l'un ou l'autre des deux premiers minéraux dominant. — Éruptive.

**EUPHOTIDE.** — Mélange grenu de diallage lamelleux et de labrador en proportions à peu près égales ; renfermant souvent du pyroxène, de l'amphibole, de la pyrite et d'autres minéraux accidentels. — Ordinairement en amas subordonnés aux schistes cristallins.

La *variolite* de la Durance n'est qu'une euphotide compacte à texture globulaire.

#### 4. — *Roches magnésiennes.*

**SERPENTINE.** — Roche à pâte plus ou moins fine et homogène, souvent bariolée, essentiellement composée, d'après Cordier, de diallage et de talc. — En amas stratiformes ou en massifs, et alors probablement éruptive.

**TALCITE.** — Roche schistoïde et feuilletée, formée de talc ordinairement mêlé en proportions diverses à du quartz, des feldspaths, et renfermant une foule de minéraux accidentels, par exemple le grenat, la staurotide, le disthène, la tourmaline, l'amphibole, le graphite, le fer oxydulé, le calcaire, etc. — Métamorphique selon les uns ; constituant, d'après Cordier, la couche superficielle de la partie ignée de l'écorce solide.

La variété appelée *schiste chloriteux* renferme de la chlorite.

#### 5. — *Roches micacées.*

**MINETTE** ou *fraidronite*. — Roche massive, formée de mica noir intimement mêlé à du feldspath orthose. — Éruptive.

**KERSANTON.** — Roche massive, formée de mica noir, de feldspath

oligoclase pâteux ou cristallin auxquels se joint souvent l'amphibole hornblende. — Éruptif.

**MICACITE.** — Roche schistoïde et feuilletée, formée de mica pour le tiers ou les  $\frac{2}{5}$  et de quartz grenu, dont la proportion s'élève quelquefois jusqu'aux  $\frac{2}{3}$ ; renfermant souvent de nombreux minéraux accidentels, par exemple des feldspaths, du grenat, de la tourmaline, du disthène, de la staurotide, etc. — Métamorphique selon les uns; formant, d'après Cordier, la couche moyenne de l'écorce solide du globe.

#### 6. — *Roches quartzieuses.*

**QUARTZITE.** — Roche composée de quartz grenu ou compacte, renfermant souvent beaucoup de minéraux accidentels, tels que le mica, le talc, le disthène, le grenat, l'amphibole, le graphite, la pyrite, l'oxyde d'étain, le fer oligiste, l'or natif, le cinnabre, etc. — En veines ou en amas massifs ou stratiformes, le plus souvent intercalés dans les schistes cristallins.

**GRÈS.** — C'est du sable quartzieux dont les grains, toujours petits, sont agglutinés par un ciment le plus souvent siliceux, de manière à former une roche plus ou moins dure. — Presque toujours sédimentaire.

Les variétés sont innombrables; il est extrêmement difficile de les spécifier et de les classer, attendu qu'elles passent de l'une à l'autre, soit par le volume des grains de quartz, soit par la nature minéralogique des substances réunies par un même ciment. Les roches de cette catégorie constituent donc un des principaux écueils des classificateurs. Sous le nom générique de grès, on peut réunir : 1° le *psammite* ou *grès bigarré*, qui renferme de l'argile; 2° le *macigno*, qui renferme de l'argile et du calcaire; 3° la *mollasse*, qui renferme du calcaire seulement; 4° la *métaxite*, où le kaolin est mêlé au quartz; 5° l'*arkose*, formé de grains de quartz et de feldspath.

**SABLE.** — C'est un grès sans ciment, et dont les grains sont, par conséquent, mobiles et incohérents. On ose à peine en faire une roche distincte, car elle passe au grès par des gradations insensibles. — Sédimentaire; plus rarement éruptif.

**POUDINGUE.** — Roche difficile à spécifier et à séparer des grès à gros éléments. Elle consiste, en effet, en un mélange de grains de sable et de cailloux roulés de toute dimension et souvent de toute nature, puisqu'on connaît des poudingues entièrement calcaires.

Ce sont néanmoins les éléments quartzeux qui dominent le plus souvent. — Sédimentaire.

La *grauwacke* est un poudingue composé de grains de feldspath, de quartz, puis de matières phylladiennes et talqueuses, quelquefois avec mica accessoire, le tout cimenté par une pâte feldspathique.

**BRÈCHE.** — C'est un poudingue formé de fragments anguleux et non roulés. Comme les poudingues, les brèches ont reçu différents noms, suivant les matériaux qui les composent. On dit, par exemple : brèche ou poudingue quartzeux, serpentineux, etc.

L'*anagénite* est une brèche passant quelquefois au poudingue, et provenant du détritrus d'un grand nombre de roches, parmi lesquelles dominent le talcite, le quartz, le granite, les phyllades ; la *pséphite* est une brèche de fragments schisteux et porphyriques, en partie transformés en argile.

Les poudingues et les brèches sont quelquefois désignés sous le nom de *conglomérats*, surtout quand ils renferment de gros blocs.

**JASPE.** — Roche compacte, opaque, ordinairement rouge ou brune, souvent rubanée, consistant en un mélange de quartz amorphe, d'argile et d'oxyde de fer. — Sédimentaire et fréquemment métamorphique.

**SILEX.** — Quartz amorphe, compacte, retenant une faible quantité d'eau, qui le rend translucide sur le bord des cassures. — Sédimentaire ou rejeté par les sources minérales.

Les principales variétés sont : 1° le *silex pyromaque* ou *Pierre à fusil*, brun ou blond ; 2° le *silex meulière*, ordinairement blanc, toujours carié et criblé de vacuoles ; 3° le *silex nectique*, à texture poreuse et finement spongieuse ; 4° le *tripoli*, roche pulvérulente consistant presque entièrement dans l'agglomération de carapaces d'infusoires siliceux ; 5° la *résinite* ou silex hydraté, à laquelle se rattachent l'*opale*, la *ménélite*, le *cacholong*, la *geysérite*.

## 7. — Roches argileuses.

**PHYLLADE** ou *ardoise* ou *schiste*. — Roche feuilletée, composée de limon argileux et talqueux ordinairement mélangé à diverses substances, telles que le quartz, le mica, la chlorite, le calcaire, la pyrite, etc. — Sédimentaire remaniée.

L'*ampélite* est une phyllade fortement chargée de matières char-

bonneuses; la *novaculite* ou *Pierre à rasoir* peut être considérée comme une phyllade à peine feuilletée, très-compacte et très-homogène, avec quelques mouches ou globules de pyrophyllite.

**ARGILE.** — Roche massive ou feuilletée, formée de l'espèce minérale de même nom, plus ou moins pure et diversement colorée. — Sédimentaire, plus rarement éruptive.

Les principales variétés sont : 1° l'*argile plastique*, renfermant au plus 12 pour 100 d'eau et faisant pâte avec ce liquide; 2° l'*argile smectique* ou *terre à foulon*, renfermant de 20 à 25 pour 100 d'eau et se délitant dans ce liquide; 3° le *kaolin* ou *terre à porcelaine*, d'un blanc pur, résultant de la décomposition directe des feldspaths; 4° la *marne*, renfermant du calcaire dans des proportions qui peuvent varier de 10 à 60 pour 100.

#### 8. — *Roches terreuses et alcalines.*

**CALCAIRE.** — Uniquement formé du minéral de même nom; amorphe ou cristallin; blanc ou diaphane quand il est pur, mais de coloration et de texture très-variables. Minéraux accidentels (surtout fréquents dans les variétés cristallines) : quartz, corindon, grenat, apatite, dolomie, tourmaline, disthène, talc, mica, pyroxène, amphibole, idocrase, crozérinite, lazulite, pyrite, fer oligiste, fer oxydulé, blende, galène, graphite, etc. — Sédimentaire ou métamorphique.

Très-nombreuses variétés : *calcaire cristallin* ou en gros cristaux, et alors souvent *lamellaire*; *saccharoïde* ou en petits cristaux; *compacte*, sans cristaux visibles, et quelquefois *lithographique*; *bréchi-forme*; *crayeux* (craie, etc.); *travertin* ou vermiculé et *vacuolaire*; *oolitique*, formé de petites concrétions arrondies; *brocatelle*, formé de tubercules incomplets se pénétrant entre eux; *concrétionné*, formé par suintements et donnant les *tufs* et les *stalactites*; *grossier*, composé de sable calcaire avec débris de coquilles et foraminifères; *encrinitique*, entièrement composé d'entrouques ou articles d'encrines; *coquillier* rempli de débris de coquilles et de polypiers; *lumachelle*, presque entièrement formé de coquilles, et cependant dur et compacte; *albérèse* ou *calcaire ruini-forme*, renfermant de l'argile et pénétré d'infiltrations ferrugineuses; *cipolin* ou talcifère; *argilifère*, donnant la chaux hydraulique; *glauconieux*, avec glauconie ou silicate de fer; *siliceux*, *sableux*, *bitumineux*, etc.

On appelle communément *marbre* toute espèce de calcaire cris-

tallin, compacte, concretionné ou bréchiforme, veiné ou coloré pouvant recevoir un beau poli et servir à l'ornement ; on a quelquefois appliqué ce nom à d'autres roches susceptibles des mêmes usages.

**DOLOMIE.** — Roche cristalline, saccharoïde ou compacte, formée de l'espèce minérale de même nom. — Sédimentaire, quelquefois métamorphique.

**GYPSE.** — Roche compacte ou grenue ou cristalline, formée de l'espèce minérale de même nom. — Sédimentaire ou épigénique, c'est-à-dire résultant de la décomposition de calcaires. Constitue des amas importants dans les terrains de sédiment ; se rencontre accidentellement dans beaucoup d'autres gisements. Aussi nommé *Pierre à plâtre*.

Assez nombreuses variétés : *cristallin* ou *albâtre*, *saccharoïde*, *grenu*, *fibreux*, *compacte*, *calcarifère*, etc.

**ANHYDRITE.** — Roche compacte ou cristalline, formée du minéral de même nom. — Même origine, mêmes gisements que le gypse.

**SEL GEMMÉ.** — Roche cristalline ou grenue, fibreuse, rarement compacte, formée de l'espèce minérale de nom pareil. Assez souvent souillé par des argiles et des oxydes métalliques. — En amas ou lentilles intercalées dans les terrains de sédiment ; aussi rejeté par les volcans.

### 9. — *Roches métalliques.*

**FER OXYDULÉ** ou *magnétite*. — Roche compacte ou grenue, formée du minéral de même nom, et renfermant accidentellement du quartz, du calcaire, du talc, du mica, de l'amphibole, du grenat, du feldspath, du graphite, de la pyrite, du fer oligiste, etc. *L'émeri* est une variété qui contient du corindon. — En amas intercalés dans les schistes cristallins et dans certaines roches amphiboliques.

**FER OLIGISTE.** — Roche cristalline ou grenue ou compacte, formée du minéral de même nom, renfermant accidentellement du quartz, du calcaire, du talc, du mica, du pyroxène, du grenat, de l'amphibole, du fer oxydulé, etc. — En amas subordonnés aux schistes cristallins, et alors généralement grenu ou cristallisé (*fer spéculaire*) ; aussi sédimentaire, et alors compacte, pulvérulent, oolitique ou concretionné, et donnant des variétés appelées *fer oolitique*, *hématite rouge*, *sanguine*, *ocre rouge* ; aussi en cristaux dans les roches volcaniques (*fer sublimé des volcans*).

**FER HYDROXYDÉ.** — Roche oolitique, compacte ou terreuse, formée de l'espèce minérale de même nom, et comprenant d'assez nombreuses variétés connues sous les noms de *fer en grain*, *limonite*, *hématite brune*, *ocre jaune*, *fer des marais*. L'*itabirite* est une variété quartzifère. — Sédimentaire ou éruptif, et provenant alors d'éruptions aqueuses.

**FER CARBONATÉ.** — Roche cristalline ou grenue ou compacte, formée du minéral de même nom. — En filons dans les terrains anciens; en rognons argilifères stratifiés ou en couches dans certains terrains de sédiment.

#### 10. — *Roches combustibles.*

**GRAPHITE** ou *plombagine*. — Formé de carbone gris, tachant les doigts, associé à quelques centièmes de matières étrangères. — En amas stratiformes dans les schistes cristallins; accidentel dans beaucoup de roches.

**CHARBON MINÉRAL.** — Roche amorphe, plus ou moins compacte, presque toujours noire, formée de carbone associé à des composés hydrogénés et azotés et à des matières terreuses. — En amas stratifiés dans les terrains de sédiment.

Principales variétés : 1° *anthracite*, noire, très-compacte, renfermant peu de matières étrangères et donnant peu de produits volatiles; 2° *houille* ou *charbon de terre*, noire, moins compacte, plus friable, moins riche en carbone et plus chargée de principes volatiles; 3° *lignite*, noir (*jayet*) ou brun foncé, à poussière toujours brune, de consistance et d'aspect divers, encore moins riche en charbon et plus hydrogéné que la houille. Le *bois fossile* tient le milieu entre le bois et le lignite; généralement brun ou roux, il conserve la forme et la structure des végétaux dont il provient.

**TOURBE.** — Substance noire ou brune, spongieuse, composée de débris de mousses et de végétaux herbacés enchevêtrés et en partie décomposés. — Roche contemporaine, se formant dans les tourbières.

**BITUMES.** — On désigne sous ce titre les hydrocarbures solides ou liquides connus sous les noms d'*asphalte* ou *bitume de Judée* (noir et solide), *pissasphalte*, *malthe* (glutineux), *naphte* ou *pétrole* (liquide), et occupant les gisements les plus divers dans des terrains de toute nature.

## CHAPITRE II

## TERRAINS PRIMORDIAUX

**Sol primordial.** — J'aborde certainement ici la partie la plus difficile et la plus délicate de toute ma tâche, laquelle consiste, en ce moment, à parler de terrains inconnus. Cette assertion n'est pas aussi paradoxale qu'elle en a l'air au premier abord. Quelque douloureux que puisse être l'aveu pour un géologue, il faut bien convenir que nous nous trouvons dans l'impossibilité de désigner actuellement les terrains constitués par le refroidissement direct de la planète. Nous supposons, avec les plus grandes chances de probabilité, que toutes les roches éruptives qui se sont épanchées au dehors se trouvent représentées dans l'intérieur de l'écorce solide par des couches plus ou moins nettement stratifiées; mais nous ne sommes pas certains que ces couches affleurent quelque part à la surface. Bien à regret, je me vois obligé de conserver l'expression vague, et même ambiguë, de *terrains primordiaux* ou *sol primordial*, pour désigner cette portion de l'écorce solide. L'expression est ambiguë, parce qu'on l'applique également à divers terrains, aussi appelés primaires ou primitifs, et que, d'autre part, le sol dont il est question appartient à toutes les époques et continue à se former actuellement; mais il suffit que le sens en soit arrêté d'une manière précise et particulière pour que tout inconvénient disparaisse. Ne voulant pas créer un mot nouveau, j'ai choisi, parmi les termes les plus usités, celui qui offre l'avantage d'indiquer le rôle des terrains dont il s'agit et de ne rien préjuger sur leur nature.

L'histoire du sol primordial ne peut donc actuellement consister qu'en un exposé des principales opinions émises pour en expliquer l'origine. Malheureusement condamné, par la force des choses, à ne point aboutir, cet exposé gagnera à être bref; aussi n'entre-rais-je dans aucun des détails d'érudition habituels en pareille matière, et me bornerai-je à mettre en regard les deux théories les plus accréditées

**Théorie de Werner.** — La première, qui est celle de Werner, des anciens et de la plupart des géologues de notre époque, fait du granite la majeure partie du sol primordial, ou du moins la seule

partie de ce sol qui se trouve à découvert. La raison en est que le granite se rencontre partout au-dessous des autres terrains, et qu'il apparaît sur tous les points du globe où les bouleversements du sol, les travaux des mines et les forages ont mis au jour les couches les plus intérieures; qu'il forme ainsi un revêtement continu autour de la planète; enfin, que la structure en est massive, comme il convient à une roche provenant du refroidissement d'une matière en fusion. Le granite constitue donc l'ossature du globe.

**Théorie de Cordier.** — L'autre opinion, qui est celle de Cordier et de son école, fait, au contraire, des talcites, des micacites et des gneiss, habituellement désignés en commun sous le nom de *schistes cristallins*, la partie extérieure et accessible du sol primordial. Pour ces géologues, le granite est une roche éruptive, représentée par les gneiss dans la portion stratifiée de l'écorce solide d'origine ignée. Il est donc formé de la matière même des couches profondes, qui ont produit, en se consolidant, des gneiss ou des roches analogues. D'après cette école, c'est une erreur de penser que le refroidissement du globe ait donné naissance à des terrains massifs et homogènes. L'écorce solide s'est constituée couche par couche, et, en quelque sorte, pellicule par pellicule. Tous ses feuilletés restent visibles, étant dessinés par la disposition même des matériaux des schistes cristallins, surtout le mica, dont les parcelles se sont groupées en traînées infiniment minces. Il ne peut donc exister de couches épaisses et régulières ou rigoureusement parallèles entre elles; le même lit ne s'étend jamais sur une grande surface, et les myriades de feuilletés de cette portion de l'écorce solide se croisent et s'entrelacent les uns dans les autres, plutôt semblables à des lentilles excessivement aplaties qu'à des assises bien ordonnées. A chaque instant disloqué par les mouvements de contraction du globe, le mince revêtement extérieur de la jeune planète ne peut montrer que des feuilletés brisés, redressés, contournés, enchevêtrés: tel est, en effet, l'aspect des schistes cristallins, qui répondent parfaitement, à tous égards aux desiderata formulés ci-dessus. Ils n'ont d'ailleurs ni l'apparence, ni la nature, ni la stratification des terrains sédimentaires; étant formés, ainsi que beaucoup de roches éruptives, de cristaux juxtaposés, sans aucune espèce de pâte ou de ciment; ne renfermant ni cailloux ni débris roulés ou anguleux; ne contenant aucun fossile; n'étant jamais disposés en assises parallèles. Les innombrables espèces minérales qu'ils recèlent n'auraient pu se constituer dans des couches précipitées au sein des

eaux. Si ces terrains proviennent d'un lent refroidissement, les matériaux y sont rangés par ordre de densité. Or, c'est ce qu'on observe dans les schistes cristallins, où les talcites occupent la partie supérieure, les micacites la partie moyenne et les gneiss la partie profonde. Si le granite était la roche primordiale, il n'aurait pas une structure massive, et apparaîtrait brisé et bouleversé. Il affleurerait à la surface du globe sur de vastes étendues, au lieu de se montrer uniquement en filons ou en enclaves éruptifs de quelques dizaines de lieues carrées au plus. Tout ce qui a été considéré jusqu'ici comme du granite primordial doit s'appeler gneiss. Puisque le vrai granite est une roche éruptive, où se trouverait le sol primordial si les gneiss ont une origine sédimentaire? Si le granite forme autour du globe un revêtement complet, on peut concevoir à la rigueur que les gneiss aient été constitués à ses dépens; mais comment expliquer la provenance du talc, qui abonde dans les talcites, puisque ce minéral n'existe ni dans le granite, ni dans les gneiss, ni dans les micacites, seuls fonds de bassins possibles à l'époque des talcites? Les schistes cristallins constituent donc l'ossature du globe.

**Discussion des deux théories.** — A cette doctrine, les partisans du granite opposent les objections suivantes :

La cause de la stratification particulière des schistes cristallins est supposée *à priori* et non démontrée. On ne peut savoir comment les choses se sont passées à l'origine. Rien ne prouve donc que le sol primordial ne soit pas massif; et, dans tous les cas, il est permis de le croire tel. Les fissures qui traversent en tous sens les granites, même éruptifs, proviennent autant des mouvements de l'écorce du globe que du retrait occasionné par la consolidation de la roche. La structure cristalline particulière des gneiss, des micacites et des talcites, l'effacement des grandes lignes de stratification, l'absence de fossiles et de débris roulés, l'abondance et la diversité des minéraux s'expliquent par des actions métamorphiques énergiques et de longue durée. Rien ne prouve d'ailleurs que les innombrables nodules qu'ils renferment ne soient les vestiges de corps étrangers devenus méconnaissables. Quant aux fossiles, leur absence ne doit pas étonner, les premiers terrains de sédiment s'étant formés dans des conditions de température et de pression qui rendaient la vie impossible. L'expérience démontre que la chaleur peut donner aux roches feuilletées la structure contournée et enchevêtrée des schistes cristallins. Si, continuent les mêmes géologues, les affleurements du

granite éruptif sont limités, cela n'empêche nullement cette roche de s'étendre, sans interruption, au-dessous des terrains plus superficiels. Elle se montre dans l'axe de la plupart des grandes montagnes, ce qui en indique l'universalité. Quant au talc des talcites, pourquoi ne proviendrait-il pas de l'intérieur du globe, au même titre que le calcaire, la dolomie et beaucoup d'autres substances ?

Ces géologues ajoutent que l'origine hydrothermale du granite offre une garantie de plus de l'exactitude de leur hypothèse, et dénote les relations permanentes de cette roche avec les océans, autrefois universels. Ils invoquent le passage insensible, dans plusieurs localités, du gneiss feuilleté au granite massif ; ce qui montre que la transformation des terrains de sédiment est d'autant plus avancée qu'on se rapproche davantage du sol primordial. Ils insistent également sur le passage graduel des talcites supérieurs à des roches talqueuses et schisteuses évidemment sédimentaires ; ce qui porte à réunir tous les schistes cristallins aux terrains formés par les eaux. Ils rappellent certaines expériences de nature à faire admettre que le quartz et d'autres éléments des gneiss et des granites ont une origine aqueuse. Ils citent enfin des localités, par exemple l'Écosse et le Canada, où des calcaires et d'autres roches, sans aucun doute sédimentaires, sont intercalés dans les schistes cristallins.

Jusqu'à présent, on le voit, les arguments se valent de part et d'autre. Des deux côtés ce sont de simples assertions ou des probabilités ayant le même degré de vraisemblance, contredites par la partie adverse et n'offrant rien de précis ni de concluant. Mais il est question, depuis quelques années, de fossiles trouvés dans les schistes cristallins. Si elle était confirmée, cette découverte ferait pencher la balance du côté des partisans du granite, sans résoudre toutefois la difficulté. Il ne faut pas oublier, en effet, qu'une troisième hypothèse peut tout aussi légitimement intervenir dans le débat, et qu'elle réunit en sa faveur autant de chances de probabilité que les deux autres. Je veux parler de l'opinion qui consiste à dire que le sol primordial est et restera toujours inconnu, parce qu'il n'affleure en aucun lieu du monde, le granite ayant une origine éruptive, et les schistes cristallins étant des terrains sédimentaires transformés. Il importe néanmoins d'examiner avec attention les faits relatifs à la découverte des fossiles.

En 1859, M. Dawson, puis M. Carpenter firent connaître, sous le nom d'*Eozoon Canadense*, un foraminifère fossile découvert par M. Logan dans le terrain laurentien du Canada. Ce terrain, dont la

puissance connue atteint au moins 40 000 mètres, consiste en couches alternantes de gneiss et de calcaires plus ou moins pénétrés de roches éruptives massives. Il supporte, en stratification discordante, des roches schisteuses et quartzceuses, des conglomérats, des calcaires, des diorites, dont l'épaisseur totale est d'environ 5500 mètres. Ce nouvel ensemble constitue le terrain huronien des géologues du nouveau continent ; il est recouvert à son tour par les grès de Potsdam, qui correspondent aux couches à lingules de l'Europe. C'est à ce dernier niveau seulement qu'on avait vu jusqu'alors apparaître les fossiles. L'*Eozoon* a pour gisement des calcaires cristallins pénétrés de serpentine, de pyroxène et de loganite, situés vers le milieu du système laurentien, et, par conséquent, à plusieurs milliers de mètres au-dessous du grès de Potsdam. Les échantillons, qu'on ne peut bien étudier qu'au microscope, sur des tranches minces de la roche, laissent apercevoir, le plus souvent avec une grande netteté, les plus petits détails de la structure de la coquille. De son côté, M. Hochstetten révéla, en 1866, l'existence du même *Eozoon* dans les calcaires cristallins de Koumman, en Bohême. Ce fossile existe dans une immense série d'assises formées surtout de schistes métamorphiques sur lesquels reposent, en stratification discordante, les couches de Ginetz, où apparaît la faune première de M. Barrande. Le géologue autrichien rapporte les assises supérieures du massif de Koumman au terrain cambrien de l'Angleterre, et les inférieures ou terrain laurentien du Canada. C'est dans les gneiss laurentiens de Koumman et de Schwartzbach, avec calcaire et graphite subordonnés, c'est-à-dire intercalés dans la masse, qu'on a trouvé l'*Eozoon*, gisant, comme en Amérique, dans des agglomérations de calcaire spathique et de serpentine. Depuis, le même fossile a été recueilli, par M. Gumbel, dans les calcaires cristallins du Bayerische-Wald, qui paraissent reposer sur la formation gneissique boïenne de cet auteur. L'*Eozoon* a été trouvé depuis dans plusieurs autres lieux. Mais est-ce bien un animal fossile ? MM. King et Rowney ne voient dans cet être encore problématique autre chose que le résultat de perforations et de fissures produites par des actions purement physiques. En attendant que la lumière se fasse, ce qui ne peut tarder, nous devons suspendre notre jugement et passer à d'autres faits.

Le 6 mars 1865, M. Angelo Sismonda adressa à l'Académie des sciences de Paris une note sur une empreinte végétale fossile trouvée dans un fragment de gneiss tiré d'un bloc erratique, lequel

provenait de la Valteline, selon toute probabilité, et appartenait ainsi au gneiss fondamental des Alpes. L'échantillon figure au musée de Turin. A première vue, M. Sismonda crut avoir affaire à une dendrite, c'est-à-dire à une empreinte provenant d'infiltrations minérales; mais ayant examiné le spécimen avec plus de soin, il distingua une tige et des rameaux. Il put en détacher des parcelles noires, qui brûlèrent comme du charbon, et sans résidu, sur une lame de platine rougie; ce qui ne laisse aucun doute sur la nature organique de ce fossile. Des photographies et des dessins furent soumis à l'examen de M. Ad. Brongniart, qui reconnut un *Equisetum* voisin de l'*E. infundibuliforme* du terrain houiller. Mais l'espèce était nouvelle; elle fut appelée *Equisetum Sismondæ*.

Il n'y a pas lieu, on le voit, de tirer grand avantage de l'existence contestable et contestée de fossiles dans les schistes cristallins, puisque la nature animale de l'*Eozoon* est au moins problématique, et que l'*Equisetum Sismondæ* ne peut être rapporté à aucun gisement certain. Et s'il venait à être prouvé, dans la suite, que ces terrains renferment réellement des fossiles, y aurait-il là une occasion de triomphe pour les géologues que, dans l'intention d'éviter une longue périphrase, j'ai qualifiés de partisans du granite? En aucune manière. Si, en effet, les schistes cristallins ne constituent pas le sol primordial, il ne s'ensuit pas que le granite ait ce privilège. Il n'est pas prouvé que cette roche s'étende partout au-dessous des autres terrains. L'école de Cordier affirme que le vrai granite se présente toujours en filons et en enclaves éruptifs; et j'avoue que mes études particulières dans les Vosges, le Plateau central de la France, les Pyrénées et certaines parties des Alpes italiennes me portent à partager cette opinion. Des trois hypothèses relatives à la nature du sol primordial, celle qui la déclare inconnue paraît donc la plus vraisemblable. En tout cas, elle a l'avantage de mettre d'accord les champions du granite et ceux des schistes cristallins.

**Le sol primitif est formé de roches feldspathiques.** — Disons cependant que les uns et les autres ne s'écartent sans doute pas beaucoup de la vérité. En supposant que le granite et les gneiss ne constituent pas le sol primitif, à coup sûr il est formé par des roches feldspathiques de composition analogue. Puisqu'on rencontre le gneiss ou le granite au-dessous de tous les autres terrains et sur toute la surface du globe, ces roches revêtent la planète d'une couche ininterrompue. Ce revêtement est fort épais, à en juger d'après la puissance des gneiss, qui dépasse certainement 12 000 mètres.

Si l'on admet l'origine sédimentaire de cet immense étage, les matériaux proviennent indubitablement d'un terrain feldspathique plus profond, mais d'une composition semblable. Et si le granite n'est pas ce terrain, au moins en a-t-il la nature minéralogique. La multiplicité et la longue durée des éruptions granitiques prouvent en outre qu'elles ont été alimentées par une couche extrêmement épaisse d'une matière semblable. Nul doute que des roches feldspathiques analogues au gneiss et au granite, sinon le granite lui-même, ne constituent, sur une grande profondeur, la partie superficielle et la première consolidée de l'écorce du globe. C'est donc plutôt sur les faits de détail, on pourrait dire sur les mots, que repose tout le débat : la nature feldspathique du sol primitif n'est point en question ; mais on ne sait pas si ce sol est du gneiss, du granite ou autre chose.

**Couches profondes.** — Quant aux couches profondes et à jamais inaccessibles, les échantillons qu'elles ont envoyés au dehors, sous la forme de roches éruptives, prouvent qu'elles consistent en amas ou lentilles, généralement de faible épaisseur et fort enchevêtrées les unes dans les autres, de produits très-variés, parmi lesquels dominent les porphyres, les diorites, les serpentines, et, en général, les roches amphiboliques, pyroxéniques et magnésiennes. Plus profondément encore, les assises du globe qui ont fourni la matière aux éruptions les plus récentes sont de même nature minéralogique que les trachytes, les basaltes et les laves actuelles. Au fur et à mesure qu'on pénètre dans les entrailles de la planète, le feldspath, le quartz et les minéraux oxydés au maximum cèdent peu à peu la place, comme l'a fait remarquer M. Daubrée, au pyroxène, au péridot et aux minéraux moins chargés d'oxygène.

A cela doit se borner notre examen du sol primordial, sa description, ainsi que celle de tous les autres terrains, étant du ressort de la *géologie descriptive*, encore appelée *systématique* ; et la *géologie générale* n'ayant à s'occuper que de l'origine, de la manière d'être et du mode de formation des mêmes terrains. Disons encore que, pour tourner la difficulté, en apparence insurmontable, de décrire des formations dont le classement est incertain, les géologues prudents écartent la question de la provenance, et placent simplement les schistes cristallins à la base des terrains de sédiment, les désignant quelquefois sous le nom de *terrain azoïque*, qui n'en préjuge pas la nature.

## CHAPITRE III

## TERRAINS SÉDIMENTAIRES

L'étude des terrains éruptifs suit naturellement celle du sol primordial, puisqu'ils ont tous deux une origine ignée. Il est plus commode, néanmoins, de ne s'occuper des premiers que lorsqu'on connaît les terrains de sédiment, lesquels fournissent seuls des points de repère dans l'immense étendue de la durée géologique. En termes plus simples, cela signifie qu'on ne peut déterminer l'ancienneté relative des terrains éruptifs qu'en les comparant aux terrains de sédiment, et que, par conséquent, il importe de commencer par ceux-ci. Telle est la marche que j'ai adoptée.

**Terrains de sédiment.** — Je rappellerai qu'on désigne sous le nom de *terrains de sédiment* ou *sédimentaires* toute la partie de l'écorce terrestre formée dans les eaux par voie de précipitation ou sédimentation, et consistant en assises toujours horizontales et parallèles, dans le principe. Nous savons encore qu'à tort ou à raison on distingue la *sédimentation mécanique* et la *sédimentation chimique*. Les deux expressions ont été conservées dans cet ouvrage, parce qu'elles sont commodes, et en quelque sorte imposées par un long usage, si elles pèchent un peu du côté de la précision. Nous savons aussi que les sédiments d'origine mécanique sont formés de matériaux quelquefois de gros volume, blocs, galets, cailloux, sables et débris charriés par les eaux, et arrachés du fond et surtout du bord des bassins dans lesquels ils se sont entassés. Enfin, nous avons vu que les matériaux d'origine chimique consistent en parcelles extrêmement fines et en quelque sorte microscopiques, apportées des profondeurs du globe par les sources thermales, ou, dans des cas plus rares, en dissolution dans les eaux et précipitées par des réactions chimiques. Actuellement d'une importance minime, la sédimentation a constitué autrefois les terrains les plus variés, et, en tout cas, ceux dont l'étude est le plus profitable, et sans la connaissance desquels la géologie n'aurait pu sortir de l'état d'enfance. Il importe donc de les étudier avec toute l'attention qu'ils méritent. Ce chapitre est divisé en quatre paragraphes consacrés, le premier à la *sédimentation*, le deuxième à la *stratigraphie*, le troisième aux *fossiles*, le quatrième à la *classification des terrains de sédiment*.

## § 1. — SÉDIMENTATION.

**Sédimentation.** — On désigne ainsi le mode de formation des terrains sédimentaires. Sous ce titre je décrirai successivement : 1° la *sédimentation mécanique*, 2° la *sédimentation chimique*, 3° les *accidents de la sédimentation*. Tout ce qui a été dit, dans la partie précédente de cet ouvrage, sur l'origine des couches lacustres et des couches marines s'appliquant également aux terrains anciens, je n'aurai plus à revenir sur les actions déjà signalées, et je me bornerai ici aux faits que peut seule révéler l'observation attentive des terrains sédimentaires. Auparavant, je ferai remarquer à quel point l'étude des phénomènes actuels et celle des phénomènes anciens se prêtent un mutuel secours. Si la connaissance des premiers est le plus souvent indispensable à l'intelligence des seconds, en revanche, l'examen minutieux des produits ou des terrains formés au temps jadis sous l'influence des phénomènes anciens, nous fournit, sur les conséquences des phénomènes actuels, des renseignements que nous aurions en vain demandés à l'étude de ces derniers. Les uns nous montrent l'action, les autres les résultats. Nous serions peut-être fort embarrassés de savoir comment se sont constituées les puissantes assises des terrains de sédiment, si nous n'avions sous les yeux le spectacle des précipitations chimiques, des érosions, des atterrissements, des dépôts actuels de matériaux dans les lacs et les mers ; des éjections de calcaire, de silice et de fer par les sources minérales ; des terrains édifiés par les foraminifères, les polypiers, les végétaux, etc. : d'un autre côté, si les ruptures de l'écorce solide et les travaux de l'homme ne nous laissaient apercevoir, sur une foule de points, la série des assises sédimentaires constituées autrefois, nous ignorerions absolument la manière d'être des terrains de même origine qui se forment sous nos yeux, puisque nous pouvons à peine en aborder la couche la plus superficielle.

**SÉDIMENTATION MÉCANIQUE.** — L'acte complet se divise en trois périodes : la première, de *désagrégation*, pendant laquelle les roches déjà existantes se décomposent et se réduisent en morceaux ; la deuxième, de *transport*, pendant laquelle leurs débris sont charriés vers les lieux où ils doivent s'accumuler ; la troisième, de *dépôt*, pendant laquelle les mêmes matériaux, parvenus à leur destina-

tion, se déposent et s'entassent pour constituer de nouvelles roches. Il est bon d'ajouter que si les trois périodes se succèdent dans l'ordre indiqué, les actions particulières à chacune d'elles opèrent simultanément, pour peu que la sédimentation soit de longue durée. Ainsi, en même temps que des sables et des galets se fixent et s'arrêtent dans le fond d'un bassin, d'autres, entraînés par le mouvement des eaux, s'acheminent vers le même lieu, pendant que les rochers des rivages, continuant à se désagréger, fournissent incessamment de nouveaux débris.

Ce sont, en effet, les terres émergées, plus accessibles aux agents extérieurs, puis les roches des rivages, plus exposées à l'action des vagues et des tempêtes, qui approvisionnent surtout les bassins de sédimentation. La désagrégation et la décomposition superficielle des roches, les dégradations du sol, les érosions fluviales et marines, les débris solides des animaux et quelquefois des plantes préparent les matériaux qui s'accumulent dans les bassins pour former les conglomérats, les poudingues, les grès, les sables, et, dans certains cas, les argiles, constituant la presque totalité des sédiments d'origine mécanique. Il est presque inutile d'ajouter que ces matériaux sont d'autant plus abondants que l'étendue des bassins hydrographiques superficiels qui aboutissent au centre de sédimentation est plus grande; que les roches extérieures et celles des rives du bassin se désagrègent plus aisément; que les dégradations et les transports ont plus d'énergie. On a même essayé de déterminer le degré d'humidité et de sécheresse relatives des anciens climats d'après la nature des sédiments, en supposant, ce qui paraît assez vraisemblable, que les grandes accumulations de galets et de blocs volumineux dénotent des actions torrentielles et des transports extrêmement énergiques, et, par conséquent, des périodes de grandes pluies. On a admis, au contraire, mais d'une manière plus problématique, que les fins sédiments, surtout quand ils sont d'origine chimique, correspondent à des époques de tranquillité et de sécheresse.

**Aspect et manière d'être des sédiments d'origine mécanique.** — Quoi qu'il en soit de ces appréciations, on reconnaît facilement, au premier aspect, les roches de sédimentation mécanique, puisqu'elles consistent toujours en une agglomération d'éléments usés, roulés, plus rarement anguleux et fragmentés, de nature et de provenance très-diverses. Tantôt ce sont des grains de sable de pareil format, tantôt des débris de toute grandeur et de toute

espèce, depuis le volume de la parcelle presque imperceptible, à celui de blocs mesurant plusieurs mètres dans tous les sens. A Épinae, un puits de houillère traverse un de ces blocs. Tous ces débris sont entassés pêle-mêle dans la même assise ; néanmoins, les strates, d'épaisseur en général considérable, mais d'ailleurs très-inégale de l'une à l'autre, se succèdent fort régulièrement, à moins qu'elles n'aient été dérangées par des mouvements du sol. Telle assise de grès fins et homogènes, par exemple, peut se trouver intercalée entre deux banes de poudingues à gros éléments ou entre une couche d'argile et une couche de calcaire. En maintes circonstances, les dépôts d'origine chimique alternent, en effet, avec ceux d'origine mécanique, et l'on citerait difficilement un terrain qui fit exception. Les matériaux constitutifs des assises formées par voie de sédimentation mécanique sont plus ou moins solidement cimentés par de la silice, du calcaire, des oxydes de fer, etc., de manière à constituer des roches ordinairement fort dures et fort résistantes, surtout dans les terrains anciens, mais quelquefois aussi friables, et sans cohésion. Les fossiles y sont rares en général, et consistent presque exclusivement en débris usés et roulés par un long charriage. Rarement le collectionneur peut-il mettre la main sur un échantillon complet et de conservation irréprochable. Disons cependant que cette règle, qui s'applique surtout aux roches à gros éléments, souffre des exceptions, et que les grès et les sables fins fournissent quelquefois des fossiles d'une irréprochable perfection.

**Leur gisement dans les bassins.** — Les sédiments d'origine mécanique s'accumulent plutôt sur les bords que dans le fond des bassins ; ce qui se comprend aisément, si l'on considère que le transport des matériaux par les eaux torrentielles s'arrête au pourtour même des bassins, et que, d'autre part, les rivages se trouvent beaucoup plus exposés à l'action destructive des vagues et des raz-de-marée que les régions profondes. Cependant, on ne doit pas établir de règle trop absolue ; et souvent la même couche peut être suivie à de grandes distances, sans rien perdre de son épaisseur, et sans que l'aspect en soit modifié.

**SÉDIMENTATION CHIMIQUE.** — Nous avons vu que les roches de sédimentation chimique ont une texture fine, compacte, homogène ; que les assises en sont bien distinctes et bien ordonnées, et qu'en général les dépôts de cette nature ont plus d'importance dans l'intérieur des bassins qu'à leur périphérie (fig. 89). J'ajouterai que les fossiles y sont fort nombreux, de belle conservation, et ne laissent

que rarement apercevoir des traces de frottement et de charriage. Les roches qui dominent de beaucoup dans les terrains formés par voie de sédimentation chimique sont : le calcaire, la dolomie, le gypse, le sel gemme, l'argile, la silice, le fer oligiste, le fer hydroxydé; il importe d'en rechercher l'origine.

1° *Calcaire*. — Mentionnons seulement, mais pour en faire bonne justice, l'ancienne hypothèse de la production du calcaire par les animaux marins. S'il est vrai que les coquilles et les parties solides des crustacés, des mollusques, des polypiers, s'atténuent et se désagrègent à la longue, sous l'action des choes et des frottements, et que la boue calcaire qui en provient se mêle aux sédiments, on doit se demander où les animaux marins ont pris leur calcaire. Évidemment ils n'ont pu le créer de toutes pièces, et ils l'ont emprunté à

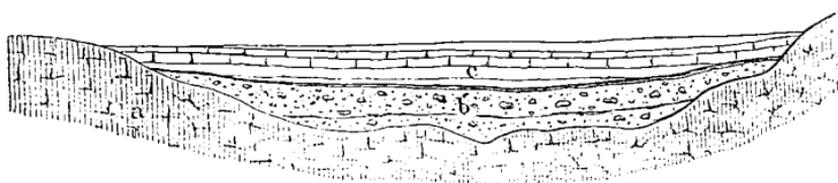


Fig. 89. — *a*, fond du bassin; *b*, assises de sédimentation mécanique; *c*, assises de sédimentation chimique.

l'eau marine. Le problème consiste donc à trouver d'où vient le calcaire en dissolution dans les océans, et, par conséquent, il n'est point résolu. D'un autre côté, ce serait une erreur de croire que le carbonate de chaux, quelle qu'en soit d'ailleurs l'origine, fût d'abord absorbé par les animaux marins, puis restitué par leurs dépouilles de manière à former la totalité des assises de calcaire sédimentaire. Il y a une énorme disproportion entre la masse de ce calcaire et la quantité de débris que peuvent fournir les mollusques et les zoophytes, en les supposant aussi nombreux que possible. Assurément leurs dépouilles ne constituent pas la millième et peut-être la dix-millième partie du calcaire, bien que certaines assises ne soient guère composées que de débris organiques.

Une deuxième hypothèse attribue le calcaire à la désagrégation des roches du sol primordial et des roches éruptives. Elle s'appuie sur des faits positifs, sans être cependant plus admissible que la précédente. En effet, s'il est vrai que la décomposition des silicates de chaux ait pour résultat la production de carbonates, la quantité de calcaire ainsi constituée ne s'élève certainement pas à la cent millième, peut-être à la millionième partie de celui que renferment

les terrains de sédiment. La cause invoquée est réelle, on doit en tenir compte, mais elle n'explique en aucune manière l'origine du calcaire. D'abord il y aurait grande insuffisance dans la production. Qu'on veuille bien, en effet, considérer que les roches ignées ne renferment de la chaux qu'en proportion bien minime, et que leur teneur en cet alcali semble diminuer en raison de leur importance et de l'espace qu'elles occupent à la surface du globe. Ainsi, dans les granites et dans les gneiss, il n'y a pas de chaux : leur feldspath, qui est l'orthose, n'en renferme point, et leur mica, presque toujours alumineux, n'en contient pas davantage. Cependant, comme le feldspath oligoclase et les micas magnésiens entrent, par exception, dans la composition de certains granites, je crois qu'en exagérant beaucoup, on peut porter à  $1/100$  la chaux contenue en moyenne dans ces roches. Le calcaire provenant de la décomposition des roches feldspathiques correspond, par conséquent, à  $99/100$  de détritits argileux et arénacés, résultant de la même décomposition. En d'autres termes, si le calcaire sédimentaire provient des granites et des gneiss, il s'est formé, en même temps, une quantité près de cent fois plus considérable de sables et d'argiles. Mais ces sables et ces argiles n'existent pas, ou du moins ne peuvent être désignés. Si, en effet, les calcaires de sédiment inférieurs alternent avec des couches schisteuses, argileuses ou arénacées, et si ces couches ont, dans le principe, plus d'importance que le calcaire, la disproportion est loin d'atteindre  $1/100$  et même  $1/10$  ; et vers le milieu de la série sédimentaire, les calcaires dominant de beaucoup. On ne peut parler que pour mémoire des roches éruptives amphiboliques et pyroxéniques, des porphyres, des trachytes et des basaltes, parce que leurs affleurements constituent seulement des accidents, et n'ont jamais occupé que des espaces insignifiants à la surface des terres fermes ou dans les bassins des mers. En moyenne et en nombres ronds, toutes ces roches contiennent peut-être 12 à  $15/100$  de chaux ; de sorte que le calcaire de cette origine correspond à environ  $85/100$  de détritits. Mais on peut affirmer qu'elles ont encore moins contribué que les roches feldspathiques à la constitution du calcaire, puisqu'au moment de leurs éruptions, ce dernier minéral se trouve au moins aussi répandu dans les terrains de sédiment que les roches d'une autre nature, et que, d'ailleurs, tous les produits éruptifs réunis, sauf peut-être le granite, sont loin d'avoir l'importance des calcaires de même époque. Si l'on allègue que les schistes cristallins forment la partie arénacée et argileuse du

résidu de la décomposition du granite, et que le calcaire, tenu plus longtemps en suspension dans les eaux, ne s'est déposé que peu à peu et beaucoup plus tard, je répondrai que les schistes cristallins ayant conservé intacts leur feldspath et leur mica, on ne voit pas comment le granite aurait pu produire du calcaire; et d'ailleurs, la disproportion en volume précédemment signalée n'en existerait pas moins entre le calcaire, d'une part, et les résidus arénacés du granite, d'autre part. Enfin, la théorie est inapplicable toutes les fois que le calcaire repose sur un fond de bassin granitique, siliceux, argileux ou même calcaire, et qu'il ne se trouve en relation avec aucune roche éruptive; et ce cas est, de beaucoup, le plus fréquent.

Assez récemment, Cordier, puis M. Leymerie ont introduit dans la science une nouvelle hypothèse. La priorité revient à Cordier, puisque le pli cacheté déposé par lui à l'Académie des sciences de Paris, et rendu public après sa mort, en 1862, date de 1844; mais l'invention appartient également à M. Leymerie, puisque la théorie complète figure dans ses *Éléments de minéralogie et de géologie*, publiés en 1861. D'après ces auteurs, le calcaire des terrains de sédiment provient, par voie de double décomposition, du chlorure de calcium, autrefois contenu en plus grande quantité dans les eaux des mers, et du carbonate de soude déversé par les sources minérales, jadis plus abondantes. Mais on a adressé à cette hypothèse de nombreuses objections, dont je ne rapporterai que les principales : 1° elle est inutile; car si l'on admet que le carbonate de soude provient des sources minérales, pourquoi compliquer sans profit, et ne pas supposer au calcaire la même origine? 2° elle n'est pas applicable au calcaire d'eau douce; 3° il aurait fallu que les anciennes mers fussent salées avec du chlorure de calcium, et que leur population n'eût pas souffert de ce régime et se fût peu à peu habituée au chlorure de sodium; ce qui paraît infiniment improbable quand on considère à quel point les animaux marins actuels, qui ne diffèrent en rien de leurs prédécesseurs sous le rapport de l'organisme, se montrent difficiles sur la nature du milieu. 4° Une dernière objection, à mon avis sans réplique, et qui aurait pu dispenser de produire les autres si elle eût été énoncée la première, c'est que le calcaire et le sel marin, y compris le sel gemme, se trouvent en énorme disproportion, et qu'il y a certainement, à la surface du globe, cent fois plus de calcaire au moins que de chlorure de sodium.

L'hypothèse à laquelle se rallient presque tous les géologues, et qui est, de beaucoup, la plus vraisemblable, admet que le calcaire a été injecté dans les mers, à l'état de carbonate de chaux, par des sources minérales analogues aux sources incrustantes de l'Auvergne et à celles qui produisent le travertin et la panchina en Italie. La seule objection que l'on puisse élever, c'est qu'il faudrait que les anciennes sources calcarifères eussent été excessivement nombreuses, et d'un débit plus abondant que celui des sources actuelles. Mais est-ce là une fin de non-recevoir, et même une objection sérieuse ? Et ne savons-nous pas que la plupart des phénomènes naturels ont une époque de plus grande intensité, qui peut arriver à tous les moments de la durée géologique ? Au contraire, les faits qui militent en faveur de cette hypothèse sont nombreux, péremptoires, et lui donnent un haut degré de probabilité, je dirai presque de certitude. Il faut d'abord constater que l'in vraisemblance ou l'insuffisance des autres suppositions lui laisse le champ libre. Il faut ensuite tenir compte du phénomène actuel des sources calcarifères, lesquelles, pour se trouver depuis longtemps dans une période de déclin, n'en rejettent pas moins au dehors de grandes quantités de carbonate de chaux. Il faut enfin considérer que cette théorie explique tous les faits et se plie à toutes les éventualités. La discontinuité des assises calcaires, à chaque instant séparées par des grès, des argiles et des roches d'une autre nature ; l'existence, à un même niveau, d'un dépôt ici calcaire et plus loin marneux ou arénacé ; le mélange du carbonate de chaux avec de la dolomie, de l'argile ou d'autres matières se comprennent naturellement, si l'on émet la supposition fort légitime que les sources calcarifères ont varié en nombre et en abondance suivant les époques ; qu'elles ont eu leurs moments d'interruption ; qu'elles ont surgi dans tel lieu plutôt que dans tel autre, et que souvent elles déversaient leurs produits dans les mers où se déposaient en même temps de l'argile et de la dolomie. Enfin (et cette preuve me paraît la plus forte), il est impossible d'expliquer autrement que par des éjections sous-marines l'origine de ces immenses massifs calcaires qui reposent sur des grès quartzeux, sur des argiles, sur des gneiss, sur des granites, en un mot sur un fond de bassin où il n'y a pas de calcaire. Tous les géologues descripteurs savent que ces cas sont, de beaucoup, les plus fréquents. Évidemment, dans de pareilles conditions, le sol sous-marin, pas plus que le sol émergé, n'a pu fournir la matière calcaire, qui provient ainsi de

l'intérieur du globe. Cela est bien manifeste dans les bassins tertiaires d'Aurillac, du Puy-en-Velay et de la Limagne d'Auvergne, où le calcaire repose sur un fond de bassin granitique nullement altéré, et ne correspond à aucune espèce de détritrus arénacé. J'ai fait remarquer précédemment que les gisements souterrains de cette substance n'ont pu être situés à de grandes profondeurs; autrement la chaleur aurait expulsé l'acide carbonique. S'il n'est point inadmissible que de semblables décompositions s'opèrent quelquefois sur le trajet des cheminées volcaniques, et fournissent peut-être une portion de l'acide carbonique dégagé pendant les éruptions, on ne peut supposer que la chaux caustique soit jamais arrivée dans les mers en quantité notable, car elle aurait immédiatement anéanti les animaux marins, qui pullulent, au contraire, dans les calcaires. Selon toute vraisemblance, le calcaire des terrains de sédiment provient donc, à l'état de carbonate, de l'intérieur du globe, d'où il a été extrait par les eaux minérales; mais il est impossible de nous figurer la nature de ses gisements souterrains.

2° *Dolomie*. — La discussion ci-dessus s'applique aux dolomies plus encore peut-être qu'aux calcaires, puisque la magnésie est plus rare dans les minéraux constitutifs du sol primordial, et qu'elle manque notamment dans les feldspaths, ou n'y existe qu'en proportion insignifiante. Selon toute probabilité, la dolomie sédimentaire a la même origine que le calcaire. Il ne s'agit pas ici des dolomies assez nombreuses formées par métamorphisme.

3° *Gypse*. — Quand cette substance est en bancs parallèles et réguliers, comme par exemple dans les marnes irisées de l'est de la France, et qu'elle ne renferme pas de matières étrangères, on n'en peut mettre en doute la provenance souterraine. Le gypse, en effet, n'existe dans aucune roche ignée, et ne pourrait dériver de la décomposition de quelques-unes que par des réactions inadmissibles. Quand il forme des lentilles intercalées dans les terrains de sédiment, et qu'il renferme en même temps du calcaire non transformé, on peut lui supposer, à la rigueur, une origine épigénique, quoiqu'il soit aussi naturel de penser qu'il arrive de l'intérieur, et qu'il a été rejeté par des sources jaillissant dans le lieu même de son gisement. Quelquefois il est évidemment épigénique, par exemple dans les localités déjà citées de la Toscane et de l'Algérie. Il provient alors de la décomposition de calcaires par des eaux chargées d'acide sulfurique. En Toscane, où la nature est prise sur

le fait, les sources acides existent encore, et augmentent incessamment la masse du gypse; en d'autres lieux elles sont taries, mais on reconnaît aisément l'origine du gypse à sa disposition en massifs irréguliers, sans aucune stratification, et au bombement du terrain, résultant de la dilatation de la nouvelle roche, qui occupe un plus grand volume que le calcaire dont elle provient.

4° *Sel gemme*. — Ici de sérieuses difficultés se présentent. D'après l'opinion la plus accréditée, le sel gemme est un résidu d'eaux marines séquestrées dans des bassins clos, par suite des mouvements du sol, et concentrées par l'évaporation. Il existe, en effet, dans certaines contrées du pourtour de la Caspienne, du Sahara, des États-Unis de l'Ouest, des résidus de cette nature formant des croûtes de sel plus ou moins épaisses sur l'emplacement d'anciens lacs salés. Mais si les exemples que nous avons sous les yeux démontrent la probabilité de phénomènes semblables dans le passé, nous comprenons difficilement que les couches de sel gemme ainsi formées aient pu se recouvrir d'argiles et d'autres sédiments, et se conserver désormais à l'abri de toute action dissolvante, comme c'est le cas pour toutes les masses enfouies dans les terrains sédimentaires. En effet, les mouvements du sol ont replongé sous les mers ces amas, sur lesquels se sont aussitôt déposés les argiles et les calcaires qui les surmontent. Il semble impossible que le double phénomène se soit opéré assez rapidement pour que le sel gemme n'ait pas été dissous. On échappe en grande partie à la difficulté en imaginant que le dépôt d'argile a eu lieu dans les bassins mêmes d'évaporation; mais alors on se heurte à d'autres objections. Le plus souvent, en effet, il y a plusieurs couches superposées dans le même lieu et séparées par des bancs d'argile. A Dieuze, par exemple, les amas de sel gemme ainsi disposés sont au nombre de treize, et leur épaisseur totale s'élève à 65 mètres. Il faudrait donc que, sur ce point, la séquestration des eaux marines et les phénomènes compliqués d'exhaussement, d'évaporation, de dépôt d'argile immédiat et d'affaissement se fussent renouvelés treize fois, toujours dans les mêmes circonstances, ce qui paraît assez invraisemblable. Si le sel gemme provient des anciennes mers, celles-ci étaient beaucoup plus salées que les mers actuelles, et l'on a peine à admettre que la vie ait pu y exister dans de pareilles conditions. Et si l'on imagine que la salure des océans est demeurée à peu près constante à toutes les époques, parce que les sources minérales déversaient du chlorure de sodium au fur et à mesure que la proportion en diminuait

dans les mers, je répondrai qu'il y a là une nouvelle hypothèse dont l'exactitude est encore à justifier.

Une deuxième explication ne satisfait pas davantage. Elle suppose les amas de sel gemme constitués sous les eaux des mers par des sources minérales, à des profondeurs telles que l'agitation étant absolument nulle, le sel peut s'accumuler sur place sans se dissoudre en totalité dès que les eaux ambiantes en sont saturées. Aussi bien que la première, elle rend compte de la forme irrégulière ou lenticulaire des amas ; elle explique beaucoup mieux les alternances des couches de sel et d'argile, car il suffit de supposer des intermittences dans la sédimentation et dans le débit des sources. Mais c'est une erreur de croire que tout mouvement moléculaire cesse à de grandes profondeurs, puisque la vie existe jusqu'au delà de 5000 mètres. On ne comprend pas que le déversement des sources sous-marines ait pu s'opérer sans communiquer un mouvement sensible aux eaux environnantes, et que tout le sel ne se soit pas répandu dans la mer. En supposant même l'eau de ces sources complètement saturée, on conçoit encore moins que le chlorure de sodium qu'elles tenaient en dissolution ait pu se déposer à l'état solide, puisque cette substance est également soluble à chaud et à froid. Il faudrait donc imaginer que les sources déversaient le sel gemme solide, ce qui est inadmissible.

Une troisième hypothèse échappe à une grande partie des objections qu'on peut adresser aux précédentes. Elle consiste à supposer que les amas de sel gemme ont été formés dans des dépressions et des bassins clos du sol émergé, par des éruptions d'eaux salées et de boues analogues aux salses de l'époque actuelle. Mais il faudrait admettre que les eaux salées ont surgi en premier lieu, qu'elles se sont ensuite concentrées, et que les argiles ne se sont épanchées à leur surface qu'au moment où le sel gemme formait déjà une couche épaisse. Des affaissements successifs ou un affaissement lent et continu expliquerait l'alternance du sel et des argiles, puis l'intercalation définitive du dépôt au milieu des terrains de sédiment. Cependant, en produisant cette théorie, je ne me dissimule pas qu'elle est bien hypothétique. A mon avis, le problème relatif à l'origine du sel gemme doit attirer toute l'attention des géologues, car il a été à peine effleuré.

5° *Argile*. — On ne peut nier que la décomposition des feldspaths décrite précédemment sous le nom de kaolinisation n'ait produit de grandes quantités d'argile, mais ce serait une erreur de penser, avec

beaucoup de géologues, que toute l'argile n'ait pas d'autre origine. Il semble même que si, aux premiers temps du globe, d'énergiques décompositions en ont altéré le revêtement feldspathique, on ne puisse guère attribuer les argiles des terrains de sédiment moyen à la décomposition des roches ignées. Ces argiles, en effet, devraient correspondre à des massifs arénacés presque aussi importants, et qu'on ne trouve nulle part ; elles ne reposent jamais sur des fonds de bassins feldspathiques, et les effleurements superficiels de granite et de gneiss de leur bassin hydrographique, quand il s'en rencontre, seraient bien insuffisants pour leur donner naissance. Il est d'ailleurs difficile d'admettre que des argiles et des limons préparés sur les terres fermes et déversés dans les mers par des eaux torrentielles aient pu s'étaler également, et former des assises puissantes et régulières à une distance des rivages souvent très-considérable. Les marnes irisées du trias reposent sur des calcaires, qui s'appuient eux-mêmes sur une épaisse série de couches de grès et de conglomérats ne contenant point d'argile. Les marnes oxfordiennes du Jura reposent sur des calcaires, et il en est de même de toutes les argiles de la formation jurassique et des formations supérieures. L'alternance si habituelle de couches argileuses et de couches calcaires dans tous les terrains, le mélange en toutes proportions de ces deux produits dans les assises marneuses achèvent de démontrer une communauté de provenance. Il faut donc aussi admettre, pour l'argile, une origine fréquemment souterraine. Les salses actuelles nous montrent que des torrents de boue sont quelquefois rejetés des profondeurs du globe ; et nous ne voyons pas pourquoi il n'en aurait pas été de même au temps jadis, et pourquoi le phénomène n'aurait pas eu autrefois une plus grande énergie. La bigarrure des argiles irisées du Jura ; leur enchevêtrement avec des gypses, des dolomies, des bancs de sel gemme, et d'autres substances provenant d'injections ; le peu de netteté de leur stratification ; l'absence des fossiles, tout dénote qu'elles ont été déversées dans les mers par des sources boueuses analogues à nos salses. Dans les minières de fer du pays de Montbéliard et du Jura bernois, l'origine éruptive des argiles sidérolitiques se trahit à l'absence complète de stratification et de débris organiques, à leur mélange avec du fer en grains et des sables éruptifs, à l'altération et à la corrosion profonde du calcaire jurassique sur le bord des bassins. Dans le Jura bernois, M. Quiquerez a été assez heureux pour découvrir les cheminées par où se déversaient ces divers produits. On est

done obligé d'admettre, dans beaucoup de cas, pour les argiles, une provenance éruptive.

6° *Sables*. — Presque toujours le sable, les grès et les poudingues proviennent de la décomposition de roches quartzzeuses plus anciennes, et appartiennent ainsi à la sédimentation mécanique. Il se présente cependant des cas exceptionnels où les sables sont venus de l'intérieur à la manière des argiles et autres produits mis en œuvre dans la sédimentation chimique. Peut-être les sables de Fontainebleau ont-ils une origine analogue. Ils ne reposent pas, en effet, sur des couches arénacées ou quartzzeuses, et l'on ne voit point quelles sont les roches préexistantes qui auraient pu les fournir. Ils ne sont pas stratifiés, et l'on n'y découvre de fossiles que dans des localités exceptionnelles du pourtour du bassin. Si la provenance de ces sables est controversable, à coup sûr on ne peut révoquer en doute l'origine éruptive de ceux qui accompagnent l'argile rouge et le minerai de fer dans les gisements sidérolitiques du Jura bernois.

7° *Silice*. — Qu'elle soit en bancs plus ou moins nettement stratifiés, comme les meulières tertiaires, ou en rognons isolés, comme dans les terrains créacés, la silice est toujours fournie par des sources minérales analogues aux geysers.

8° *Fer oligiste*. — Le fer oligiste sédimentaire, si nettement stratifié, et quelquefois rempli de fossiles, ne peut provenir que de sources ferrugineuses. L'absence de toute roche antérieure qui le renferme en quantité suffisante et sa texture oolitique, rendent cette hypothèse extrêmement vraisemblable.

9° *Fer hydroxydé*. — Quel qu'en soit le gisement, le fer hydroxydé provient également de sources ferrugineuses. Quand il apparaît sous la forme de fer en grains, comme dans les bassins sidérolitiques, son origine éruptive est incontestable, et l'on ne peut se refuser à le faire sortir de ces mystérieux réservoirs souterrains qui contiennent tant de choses, et dont l'intervention est si commode en géologie.

10° *Houille*. — La houille est une roche en grande partie métamorphique, puisque, dans le principe, elle a consisté en une accumulation de débris végétaux. Néanmoins, comme elle se rencontre exclusivement dans les terrains sédimentaires, il convient d'en rechercher ici le mode de formation. Ce qui va suivre s'applique aussi bien à l'anthracite, et même, dans une certaine mesure, au lignite et au graphite; seulement la houille sert de type, comme étant de beaucoup le combustible le plus répandu.

Il n'est pas douteux que les roches charbonneuses ne proviennent de végétaux enfouis. Suivant les lieux et les circonstances, on remarque, en effet, tous les passages entre le bois à peine altéré et le lignite, entre celui-ci et la houille, l'anhracite et même le graphite. La difficulté consiste seulement à découvrir de quelle manière les plantes sont devenues charbon. Pour les lignites, le problème est plus simple : presque toujours on voit clairement qu'ils proviennent de troncs d'arbres accumulés sur place, et plus ou moins complètement carbonisés après leur enfouissement. Mais, dans la houille et l'anhracite, la transformation est assez complète pour que toute trace de tissu organique ait le plus souvent disparu ; et si la première de ces roches renferme encore une foule de produits volatils résultant d'une sorte de distillation du bois, la seconde ne consiste guère qu'en un charbon dur et compacte. Au premier abord, il paraît naturel d'admettre pour la houille et l'anhracite la même origine que pour les lignites. Les innombrables empreintes de feuilles et les tiges entières qui se rencontrent dans les houillères, semblent démontrer une accumulation de bois charriés ou morts sur place. Pendant longtemps cette hypothèse a prévalu. Cependant, les considérations suivantes, en grande partie déduites des recherches et des calculs de M. Élie de Beaumont, en démontrent le peu de fondement.

Le volume du bois, supposé transformé sans perte en charbon de terre, se réduit au moins suivant le rapport des poids spécifiques du bois et de la houille, qui sont 0,70 et 1,30 ; par conséquent, 1 mètre cube de bois donnerait au plus 0<sup>m</sup>,5385 de houille. Mais comme le premier est loin de consister en carbone pur, le rapport des volumes doit être encore augmenté, et l'on peut admettre que le bois transformé en charbon de terre fournit à peine la moitié de son volume de houille. On estime également qu'une masse compacte de bois, d'un poids déterminé, convertie en houille, diminue de volume dans la proportion de 1 à 0,4235, et que l'épaisseur d'une couche de bois sans interstices serait réduite de 1 à 0,2280 après sa transformation en houille.

Mais 1 hectare de bois taillis de vingt-cinq ans, coupé sans réserve, ne donne que 180 stères de bois. Chaque stère pesant environ 330 kilogrammes, cette quantité de bois se réduirait à 85 stères, environ, si on la supposait agglomérée en une seule masse et sans aucun vide. Étendue sur la surface de l'hectare, cette masse formerait une couche de bois ayant à peine 8<sup>mm</sup>,5 d'épaisseur, et don-

nerait une couche de houille d'un peu moins de 2 millimètres. Une futaie ne renferme pas trois fois autant de carbone qu'un taillis de vingt-cinq ans ; par conséquent, elle en contient moins qu'une couche de houille de 6 millimètres. Mais on connaît (Creuzot, Aveyron) des couches de houille dépassant 20 et même 30 mètres. Si on les suppose constituées par des arbres forestiers accumulés sur place, il faudrait, en admettant les conditions les plus favorables, une succession d'au moins 5000 futaies pour donner 30 mètres de houille. En mettant 100 ans pour chaque futaie, ou, ce qui est plus précis, pour la durée moyenne de chacun des arbres qui se remplacent incessamment sur le même sol, on trouve que la couche de charbon aurait employé 500 000 ans à se constituer. Mais 100 années sont bien peu de chose pour exprimer la durée des arbres forestiers abandonnés à eux-mêmes, et il faudrait au moins doubler ou tripler ce chiffre. Ce n'est donc pas 500 000 ans, c'est 1 million, c'est 1 million et demi d'années qu'aurait duré la formation de la couche de houille de 30 mètres. Absolument parlant, le temps ne fait rien à l'affaire, car le géologue peut invoquer cet agent à son bon plaisir, assuré de n'être jamais contredit. Cependant, quoique la végétation houillère ait été plus active que celle de nos contrées tempérées, comme les arbres houillers, tous acotylédonés et remplis de moelle (fougères, lycopodiacées) ou de grandes lacunes (équisetacées), renfermaient à peine, sous le même volume, la moitié du carbone des arbres de nos forêts, on arrive à trouver faibles ces durées de 500 000 ans, déjà si considérables par elles-mêmes. Mais il est impossible d'imaginer que les générations forestières se succèdent au même lieu sans que le bois subisse la décomposition qui est la conséquence forcée de sa mort naturelle. Un arbre gigantesque finit par ne laisser à sa place qu'une poignée de terreau, la presque totalité de sa substance retournant à l'atmosphère sous forme gazeuse. Dans de pareilles conditions, il faudrait des milliards d'années pour élever sur le sol des couches de charbon de quelque épaisseur. Il est donc infiniment invraisemblable que la houille provienne d'arbres forestiers accumulés sur place.

Mais pourquoi les végétaux houillers n'auraient-ils pas été charriés, comme ceux qui constituent les lignites et les bois fossiles dans une foule de localités ? Pourquoi le charbon de terre ne proviendrait-il pas d'accumulations de troncs d'arbres analogues à celles qui se forment actuellement aux embouchures du Mississipi ? On répond :

Les interstices du bois en bûches empilées se montent à plus du tiers du volume total. Le vide est beaucoup plus considérable quand il s'agit de branchages ; il équivaut au moins à la moitié de la masse dans un radeau naturel formé d'arbres entiers enchevêtrés dans tous les sens. Réduit en houille, un pareil radeau fournirait une couche dont l'épaisseur serait environ neuf fois moindre ; de façon que pour un banc de charbon de terre de 30 mètres d'épaisseur, il faudrait un radeau de 270 mètres au moins. Mais nous avons vu que les végétaux houillers renferment beaucoup moins de carbone que ceux de nos forêts ; il conviendrait peut-être de doubler et même de tripler les épaisseurs précédentes, et d'attribuer les couches de houille de 1, 2, 30 mètres à des radeaux de 27, 54, 810 mètres. Évidemment, une pareille hypothèse est inadmissible, en supposant même une grande exagération dans les calculs.

Il est, au contraire, assez naturel d'imaginer que les bois flottés n'ont pas formé de radeaux, et qu'ils ont échoué un à un dans chaque bassin houiller, où les mêmes courants les ont transportés et accumulés pendant un grand nombre de siècles. Cette supposition, qui explique le mode de formation de certains amas de bois fossiles, ne doit pas être absolument écartée ; mais s'il ne paraît pas invraisemblable que les arbres flottés aient contribué, dans certains cas, à l'édification des couches de houille, à coup sûr, ils n'y entrent que pour une bien faible part. Que les arbres soient tombés sur place ou qu'ils aient été charriés, leur croissance demande le même temps, et leur accumulation, sur une épaisseur déterminée, exige le même nombre d'années. Quoique le bois se conserve mieux sous l'eau qu'à l'air libre, il ne peut échapper à la décomposition s'il ne se trouve immédiatement enfoui ; et cela n'a pu avoir lieu dans les houillères, où les couches de combustible ne renferment aucune trace des vases et des ensablements qui ont protégé les lignites. Les objections adressées à l'hypothèse de l'accumulation sur place des arbres forestiers conservent donc ici leur valeur presque entière.

Selon toute probabilité, les végétaux entassés dans les forêts où ils avaient vécu et les bois charriés dans les lacs et les estuaires, isolément ou par radeaux naturels, n'ont contribué que pour une bien faible part à la formation du charbon de terre. Il faut donc chercher une autre hypothèse qui explique la conservation, puis la carbonisation des plantes de la houille. La plus simple et la plus naturelle,

c'est de supposer que les houillères ne sont que d'anciennes tourbières. Comme la tourbe se forme incessamment, et que le temps ne doit pas être mesuré au géologue, on peut imaginer des couches tourbeuses de l'épaisseur qu'on voudra. Les alternances de houille, de grès et d'argile, la forme lenticulaire de certaines assises et leur irrégularité d'allures s'expliquent par des affaissements subits et des débordements, qui ont jeté des sables et des limons sur les couches de combustible, toutes choses dont les tourbières actuelles offrent des exemples. Il est presque inutile de faire observer que les produits antiseptiques qui préservaient les végétaux houillers de la décomposition étaient d'une autre nature que ceux de la tourbe, laquelle se forme difficilement quand la température moyenne du lieu atteint 10 degrés. Les plantes différaient beaucoup aussi : de nos jours, ce sont les sphaignes, les mousses et d'humbles végétaux herbacés qui constituent la tourbe ; autrefois, c'étaient probablement les racines connues sous le nom de *stigmaria*, appartenant à des sigillaires et peut-être aussi à des lycopodiacées arborescentes. On a même soupçonné l'existence de plusieurs flores successives, caractérisées, comme dans nos tourbières, par des espèces différentes. D'après certains géologues, ce sont les stigmaires qui paraissent avoir d'abord envahi le fond marécageux, et qui constituent la base des dépôts houillers ; puis est survenue une deuxième végétation de prêles et de fougères, au-dessus de laquelle il s'en est établi une troisième, où dominant les conifères. Dans les trois zones, on reconnaît assez fréquemment les restes ou les empreintes des tiges renversées ou encore enracinées des grands arbres qui croissaient à la surface du sol tourbeux.

En ce qui concerne la transformation des végétaux en charbon de terre, l'expérience et l'observation montrent qu'elle s'effectue aisément en présence de l'eau et à l'aide de la chaleur accompagnée d'une forte pression. En chauffant des feuilles de fougère entre des couches d'argile comprimée, M. Goeppert est parvenu à imiter parfaitement les empreintes végétales du terrain houiller. M. Baroulier a réussi également dans les mêmes expériences ; il a, en outre, obtenu de la houille de diverses qualités, en chauffant de la sciure de bois. M. Violette a reconnu que le bois, porté en vase clos à une température de 300 à 400 degrés, s'agglutine en une sorte de houille grasse, et M. Daubrée a transformé à volonté des fragments de bois en lignite, en houille et en anthracite, en variant les conditions de ses expériences ; il a en même temps recueilli des produits

liquides semblables aux bitumes naturels. Un morceau de sapin lui a donné une anthracite que l'acier avait peine à rayer. Sans nous lancer outre mesure dans le champ des suppositions, il est donc facile de nous rendre compte de la métamorphose d'anciennes tourbes en charbon de terre. L'eau ne manquait pas, non plus que la pression, puisque la plupart des dépôts houillers sont enfouis à plusieurs centaines de mètres, et que souvent il faut ajouter, au poids des sédiments qui les recouvrent, celui d'un grand nombre d'assises enlevées par le phénomène relativement moderne des érosions. La chaleur ne faisait pas davantage défaut, puisque, dans toutes les houillères profondes, la température dépasse encore de 25 degrés et plus la moyenne du lieu, et que l'action du feu central était certainement plus énergique aux époques reculées où se formait la houille. Le temps pouvait, d'ailleurs, suppléer à la température dans une certaine limite, une chaleur modérée suffisamment prolongée produisant les mêmes résultats qu'une chaleur plus forte dans un temps moindre. Il est donc infiniment vraisemblable que la houille provient d'anciennes tourbières.

**Texture des roches de sédimentation chimique.** — Sous le rapport de la *texture*, les roches de sédimentation chimique possèdent toutes un caractère commun, qui les distingue, au premier aspect, de celles de sédimentation mécanique : c'est de ne pas laisser discerner à l'œil nu leurs éléments, et de ne renfermer que par exception des débris roulés ou anguleux. La pâte en est donc fine et homogène ; cependant la texture offre d'assez grandes variétés. Les principales seront décrites sous les titres suivants :

1° *Cristalline*. — Le mot se définit de lui-même. Toujours exceptionnelle, sauf dans le sel gemme et le gypse, cette texture se rencontre en outre dans les calcaires et surtout les dolomies ; mais alors elle provient presque toujours de phénomènes postérieurs à la sédimentation. La variété *fibreuse* est la plus rare.

2° *Compacte*. — La roche est formée d'éléments microscopiques intimement unis, et présente une cassure toujours fine, quelquefois grenue, à ondulations concentriques qui lui donnent une ressemblance éloignée avec une coquille, et la font désigner sous le nom de *conchoïdale*. De beaucoup la plus commune, cette texture est celle du calcaire lithographique et de la plupart des calcaires, des silex, de quelques dolomies et de beaucoup de marnes et d'argiles durcies.

3° *Crayeuse*, ou analogue à celle de la craie. — Dans ce cas, les

éléments, toujours de très-petit volume, sont assez faiblement unis pour que la roche devienne tendre, friable, finement poreuse, et qu'elle tache les doigts. On sait que la craie proprement dite est, en grande partie, formée de carapaces de microzoaires. Presque toujours de nature calcaire, les roches crayeuses se rencontrent dans tous les terrains.

4° *Oolitique*. — La roche consiste en une agglomération de petites sphères, de divers formats, composées elles-mêmes de minces couches concentriques. L'étude des phénomènes actuels nous a révélé les causes de cette texture, assez fréquente dans les calcaires et dans les oxydes de fer.

5° *Grossière*. — Intermédiaire entre les produits d'origine mécanique et ceux d'origine chimique, la roche est alors formée de très-petits fragments, mal cimentés, et laissant entre eux des vides appréciables. La texture grossière est celle de beaucoup de calcaires.

6° *Vacuolaire*. — Compacte en grand, la roche est cependant criblée de petites cavités, souvent vermiculées, comme dans les travertins de l'Italie. Les silex meulières sont également des roches vacuolaires.

7° *Tufacée*. — La roche est grossière, spongieuse et caverneuse, comme les tufs calcaires ou siliceux.

8° *Terreuse*. — La roche est formée d'éléments microscopiques assez lâchement unis pour qu'elle se délaye facilement dans l'eau. Les marnes et les argiles offrent les meilleurs types de cette texture.

9° *Pulvérulente*. — Toujours extrêmement petits, les éléments n'ont plus aucune cohésion, et la roche ressemble à une poussière plus ou moins fine. Tel est l'état de certains calcaires, de certains limons. Souvent la texture pulvérulente provient d'une désagrégation sur place.

10° *Arénacée*. — La roche est alors un sable quelconque.

**ACCIDENTS DE LA SÉDIMENTATION.** — Ce paragraphe concerne les roches d'origine mécanique aussi bien que celles d'origine chimique. Il est consacré à la description de particularités normales ou exceptionnelles, dont les unes se sont produites pendant la sédimentation, et les autres plus tard, et qui altèrent l'homogénéité et quelquefois la structure de la roche, quelle qu'en soit d'ailleurs la texture. Les plus importants seront désignés sous les titres suivants :

1° *Rognons siliceux*. — Quand elle est peu abondante, la silice s'agglomère en sphéroïdes ou en rognons de forme irrégulière, sou-

vent criblés de vacuoles, et toujours stratifiés au même niveau dans la roche qui les renferme. Ces concrétions se forment assez souvent autour d'un corps étranger, qui constitue comme un centre d'attraction pour la silice répandue dans les eaux : c'est ainsi que les chailles oxfordiennes de la Haute-Saône renferment quelquefois un crustacé dans leur intérieur. Les rognons siliceux existent dans tous les terrains de sédiment, mais surtout dans le calcaire jurassique et dans la craie (fig. 90). On les appelle *cherts* en Angleterre, *chailles* dans

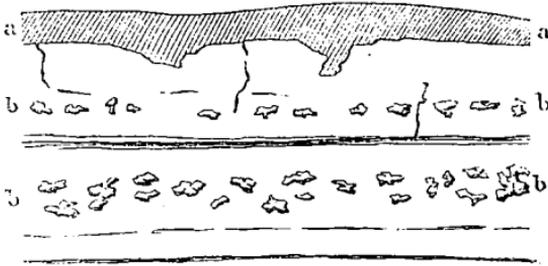


Fig. 90. — Rognon siliceux de la craie. — *a*, terre végétale et diluvium ;  
*b*, bancs de silex.

le Jura, *charveyrons* dans le Lyonnais, *silex* ou *pierres à fusil* quand ils proviennent de la craie.

2° *Géodes ou druses*. — Ce sont des cavités arrondies, formées par le retrait de la roche, par des accidents de la stratification, quelquefois par la disparition d'un corps organisé, et qui sont tapissées de cristaux ou d'une incrustation provenant sans doute du suintement d'eaux chargées de matières minérales. Les cristaux sont presque toujours du quartz hyalin ou de l'améthyste, et les incrustations, de la cornaline ou de l'agate, dont on distingue les couches concentriques, disposées de façon à laisser apercevoir le petit canal par lequel s'est introduite la matière incrustante. Les géodes calcaires ne sont pas rares ; on en connaît aussi de ferrugineuses : telles sont les *œtites* ou *pierres d'aigle*, qui ressemblent à un œuf creux, dans lequel existe souvent un noyau mobile. Les géodes ne se rencontrent pas exclusivement dans les terrains sédimentaires ; on en connaît aussi dans les roches ignées, par exemple dans certains trachytes.

3° *Cristallisations*. — Également formées par les suintements, les cristallisations tapissent d'habitude les parois des fissures de retrait, si fréquentes dans les bancs calcaires. Elles sont presque toujours de même nature que l'assise qui les renferme. Très-fréquemment elles constituent des *veines cristallines* plus dures que la roche

dans laquelle elles se trouvent empâtées, et alors elles font saillie à la surface, dans les endroits exposés à l'action de l'atmosphère et des eaux pluviales.

4° *Perforations et tubulures*. — Ce sont des cavités à section circulaire, de diamètre inégal, coniques ou cylindriques, mais le plus souvent flexueuses, contournées, communiquant entre elles et enchevêtrées de mille manières. Presque toujours elles sont produites par la destruction de corps organisés, polypiers ou spongiaires, qui ont laissé vide, dans la roche durcie, la place qu'ils occupaient. Ces *roches cariées* abondent dans les terrains jurassiques. Souvent les tubulures marquent la trace de quelque animal marin, crustacé ou autre, dans la vase déjà durcie des anciens rivages. Elles sont alors remplies d'une matière friable et sablonneuse, qui disparaît facilement quand la roche se trouve exposée à l'air, de sorte que les cavités se creusent peu à peu.

5° *Fissures de retrait*. — Les bancs de calcaire compacte, surtout dans la formation jurassique, sont morcelés en prismes irréguliers par des fissures verticales, ou à peu près, à surface plane ou largement ondulée, et qui se croisent dans toutes les directions. J. Thurmann a montré qu'elles proviennent du retrait éprouvé en se desséchant par la roche encore molle et humide ; il les appelle *diaclines*. (fig. 91).

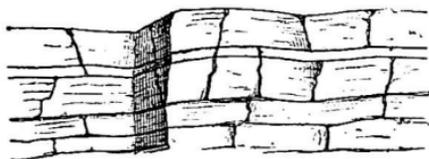


Fig. 91. — Fissures de retrait (diaclines) dans une carrière du Jura.

6° *Déchirures*. — Le retrait de la roche non consolidée et peut-être les mouvements du sol ont occasionné de fréquentes ruptures dans les bancs encore pâteux des calcaires compacts conchyliens, jurassiques ou crétacés ; et ces déchirures, toujours brusques et violentes, se reconnaissent à l'étirement et à l'aspect fibreux des surfaces en regard. On dirait un morceau d'argile rompu par une traction exercée, en sens opposé, à ses deux extrémités.

7° *Stries de froissement*. — Ce sont des raies, en général très-fines, parallèles entre elles, qui se remarquent à la surface des bancs et quelquefois dans les fissures de retrait. Elles proviennent avec évidence du frottement réciproque d'assises en contact, qui se sont un

peu déplacées dans le sens horizontal ou dans le sens vertical. Souvent elles sont accompagnées de bavures ; ce qui prouve que le froissement a eu lieu quand la roche était encore à l'état pâteux. La direction des stries indique le sens du mouvement, qui est aussi décelé par le déplacement ou le dénivèlement des assises.

8° *Stylolites*. — On appelle ainsi de fines cannelures à angles vifs, ayant une direction verticale, ou plus exactement perpendiculaire au plan des strates. Leur longueur est de quelques centimètres au plus, et l'ensemble rappelle un petit faisceau de prismes parallèles. Elles n'existent qu'à la rencontre de couches intimement superposées et en partie confondues ; aussi J. Thurmann n'a-t-il pas hésité à les attribuer à la pénétration réciproque de la substance des assises encore molles, sous l'influence d'une énorme pression. Les stylolites ne se rencontrent guère que dans les calcaires compacts.

9° *Dalles*. — Il arrive assez souvent qu'à la suite d'actions moléculaires, et peut-être de traction et de compression, certains bancs calcaires se divisent, dans le sens horizontal, en dalles minces et feuilletées analogues à celles de la phonolite, dont elles ont parfois la sonorité. Les feuillets se croisent, se contournent et s'enchevêtrent assez fréquemment dans une assise d'ailleurs fort régulière, et partout de même épaisseur ; de manière que la roche présente, dans sa structure, une analogie frappante avec certains gneiss. C'est ce qu'on peut observer dans la *dalle nacrée* du Jura, improprement appelée *lave*, dont la texture cristalline semble indiquer la prépondérance des actions moléculaires (fig. 92).

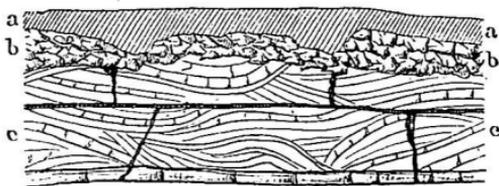


Fig. 92. — Carrière de dalle nacrée, près de Montbéliard. — a, terre végétale ; b, débris remaniés ; c, dalle nacrée.

10° *Schistosité*. — On désigne ainsi la structure particulière des ardoises, qui se divisent en feuillets minces et parallèles, presque toujours obliques au plan de la stratification. Elle est consécutive au dépôt des assises, et ne se rattache, en aucune manière, au mode de sédimentation. Il ne s'agit donc pas de certains schistes qui se sont déposés en couches très-minces. La structure dont il est ici

question se remarque surtout dans les roches talqueuses et argileuses qui abondent à la partie inférieure des terrains de sédiment; cependant les ardoises se rencontrent aussi beaucoup plus haut : elles n'appartiennent donc pas à une même époque géologique. Dès le commencement du siècle, l'obliquité des feuillet sur le plan de la stratification avait été remarquée (fig. 93). On attribua d'abord

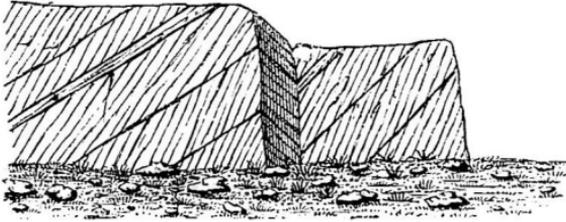


Fig. 93. — Carrière de schistes ardoisiers.

cette disposition à des phénomènes moléculaires. En 1846, M. Baur, et l'année suivante, M. Sharpe, émirent l'opinion que la structure schisteuse provient de pression et de glissement; et cette manière de voir fut confirmée par les expériences de M. Sorby, et surtout par celles de M. Tyndall (1856) et de M. Daubrée. Les preuves du froissement se remarquent d'ailleurs à la disposition, dans des plans parallèles aux feuillet, des minéraux que renferment les ardoises, et à l'étirement de leurs fossiles dans le même sens.

11° *Cailloux impressionnés*. — Ce sont des galets roulés, en contact immédiat, qui se pénètrent quelque peu réciproquement, certaines portions de la surface convexe des uns se logeant dans des cavités de même dimension creusées après coup à la surface des autres. Les cailloux impressionnés n'existent que dans les poulingues et les conglomérats formés par voie de sédimentation mécanique. On les rencontre d'ailleurs aussi fréquemment dans le grès quartzeux des Vosges que dans la mollasse suisse et les conglomérats calcaires marquant la base des dépôts tertiaires du Jura; ce qui veut dire qu'ils sont de toute nature. Longtemps on a attribué leurs empreintes à un ramollissement de la roche; mais la supposition pêche contre la vraisemblance, et l'on n'a jamais vu les traces de la pression qui aurait déformé les cailloux, non plus que les bavures et les bourrelets qui se seraient infailliblement produits sur les bords des cavités. Après quelques essais infructueux, M. Daubrée est parvenu à fabriquer des cailloux impressionnés qui ne se distinguent en rien de ceux des terrains de sédiment : il fait arriver,

par petites quantités, de l'eau acidulée sur des sphères calcaires en simple contact. Tous ont probablement une origine analogue.

12<sup>e</sup> *Coloration*. — Le sel gemme, et, dans des circonstances exceptionnelles, le gypse et le calcaire se présentent en masses diaphanes et incolores. Mais, en règle générale, les roches sont opaques et colorées. Presque toujours plus nette et plus foncée sous l'influence de l'humidité, la teinte diffère quelquefois dans la même roche suivant le degré d'imbibition. On observe d'ailleurs, dans les substances minérales, toutes les nuances du blanc le plus pur au noir le plus foncé, en passant par le jaune, le rouge ou le bleu. La couleur dépend, avant toute chose, de la nature même des minéraux constitutifs : le calcaire est blanc; le charbon, noir; le fer oligiste, rouge, etc. Elle provient encore de matières étrangères introduites pendant la sédimentation, et réparties également dans la masse (craie chloritée, colorée en vert par la chlorite), ou disposées par taches (calcaire oolitique du Jura, marbré de bleu par le fer sulfuré), par mouches (grès lustré), par bandes rubanées (grès bigarré) ou enfin confusément mêlées (marnes irisées). Quelquefois ce sont des infiltrations qui souillent les roches, et leur communiquent diverses colorations : tel est le cas des calcaires bitumineux. Les infiltrations dans des fentes étroites déposent souvent la matière étrangère en rameaux extrêmement élégants, qui simulent, à s'y méprendre, des algues marines. Ces empreintes ont reçu le nom de *dendrites*, qui en rappelle l'apparence végétale; on les observe jusque dans le granite; elles sont presque toujours formées par de l'oxyde de manganèse, plus rarement par des cristaux de pyrite. Les actions chimiques modifient quelquefois aussi la couleur des roches. C'est ainsi qu'Ebels attribue la couleur jaune de certaines taches du calcaire oolitique à l'oxydation de la pyrite très-divisée qui les colorait en bleu avant sa décomposition. Enfin, des substances étrangères fortuitement introduites, par exemple les cailloux de diverse nature, les tests des fossiles, etc., contribuent à varier la coloration.

## § 2. — STRATIGRAPHIE.

**Stratigraphie et stratification.** — Considérée dans son sens le plus large, la *stratigraphie* est la description des strates. Nous nous occuperons d'abord de l'étude des strates envisagées isolément, individuellement, si l'on peut dire ainsi, et de tout ce qui a trait à leurs

relations réciproques, abstraction faite des dislocations qu'elles peuvent avoir subies. Nous les examinerons ensuite dans leur ensemble, et au point de vue de leur inclinaison actuelle, des déplacements qu'elles ont éprouvés et des accidents qui en sont la conséquence. On sait d'ailleurs que le mot *stratification* signifie disposition des couches ; que les expressions *strate*, *couche*, *lit*, *banc*, *assise*, sont parfaitement synonymes, et que par le mot *massif* on désigne un ensemble de strates continu et d'un seul tenant dans le sens vertical.

**Strates considérées isolément.** — Toujours horizontales dans le principe, sauf les cas assez rares où elles se sont déposées sur des pentes rapides, les strates ont été fort souvent dérangées de leur situation première ; néanmoins, comme leurs relations mutuelles ne changent pas, on peut aussi bien les étudier sous toutes les inclinaisons. Elles forment toujours des couches parallèles, et sont plus ou moins nettement séparées les unes des autres ; de sorte que la stratification est plus ou moins *distincte*. Il arrive cependant que l'union entre les couches semblables d'une même série devient tellement intime, qu'elles ne présentent à l'œil qu'une seule masse : alors la stratification est *confuse* ou *indistincte*. Comme dans les terrains actuels, les strates se reconnaissent les unes des autres, soit à leur changement de nature, soit à une véritable solution de continuité, soit à une altération de la superficie des bancs, soit à l'interposition d'une substance étrangère, soit enfin à des modifications de la teinte ou à des altérations sur les tranches exposées au contact de l'air. Souvent la surface supérieure des assises présente un aspect rugueux et corrodé ; souvent aussi elle est revêtue d'une sorte de croûte ou d'enduit plus coloré, provenant d'une altération de la roche ; quelquefois elle apparaît recouverte de ces ramifications striées, presque cylindriques, désignées à tort ou à raison sous le nom de *fucoïdes* ; ailleurs c'est un placage cristallin ou pulvérulent dû à des infiltrations. Il est donc assez habituel que la surface des assises se trouve altérée ou dissimulée.

**Épaisseur des strates.** — L'épaisseur des couches est extrêmement inégale, et varie d'une fraction de millimètre à 10 mètres et plus. Dans ce dernier cas, la disposition des rognons siliceux, des fossiles et quelquefois des galets, quand il en existe, permet souvent de déterminer le sens de la stratification. Les premiers, en effet, gisent toujours parallèlement aux couches ; les fossiles en place, c'est-à-dire ayant conservé la position dans laquelle ils se trouvaient

pendant leur vie, et particulièrement les mollusques acéphales, laissent deviner le sens des strates, également indiqué par les galets et les objets aplatis, coquilles ou autres, qui reposent toujours sur leur surface la plus large.

En général, les conglomérats, les poudingues et les matériaux mis en œuvre par la sédimentation mécanique forment des bancs fort épais ; tandis que les argiles, les calcaires et certains grès forment les bancs les plus minces. Les couches déposées dans les eaux lacustres sont moins puissantes que les couches déposées dans les eaux marines. D'ailleurs, rien de si variable que l'épaisseur des strates d'un même massif. A une couche fort puissante succède un lit extrêmement mince de la même roche, ou d'une autre extrêmement différente, sans qu'on puisse rien annoncer pour les couches suivantes que les travaux mettront à découvert. Rarement rencontre-t-on deux assises consécutives de même épaisseur. L'irrégularité et l'imprévu constituent donc ici la règle.

Il n'est pas toujours facile de remonter aux causes véritables de cette diversité d'allures. En thèse générale, on doit supposer que les couches épaisses ont mis beaucoup de temps à se former ; mais on peut aussi bien admettre que les matériaux qui les composent ont été fournis en grande abondance dans un bref délai. La séparation des bancs et les altérations de leur surface indiquent d'ailleurs des moments d'arrêt dans le dépôt des matériaux. Ces intermittences dans l'activité sédimentaire sont encore plus manifestes dans les cas fort nombreux où une substance différente, de l'argile, par exemple, repose sur un banc calcaire corrodé.

**La durée géologique ne peut s'estimer d'après l'épaisseur des strates.** — La durée géologique ne peut donc se mesurer à l'épaisseur des assises ou des massifs, comme on a essayé de le faire, puisque rien ne garantit qu'elle soit constamment proportionnelle à cette épaisseur. L'observation attentive des fossiles laisse présumer qu'il a fallu quelquefois plus de temps pour augmenter une assise de quelques centimètres, que pour en constituer une autre de plusieurs mètres de puissance. Comme preuves à l'appui, je citerai les roches coralliennes et les roches houillères.

Dans les terrains où les polypiers forment de véritables récifs, et se superposent en massifs compacts, comme à la pointe du Ché, près de la Rochelle, ou dans le calcaire corallien du Jura, il est bien évident que l'épaississement de la roche se trouve en rapport avec

l'accroissement des polypiers. En effet, si jamais la matière calcaire avait recouvert ces derniers, ils auraient péri, et leurs récifs auraient cessé de s'élever. On est donc obligé d'admettre que, dans un temps donné, les uns et les autres s'exhaussent de la même quantité. Nous avons vu précédemment qu'on ne peut pas évaluer à plus de 3 millimètres par année l'accroissement des récifs actuels. Très-probablement il en a été de même jadis; car si les espèces diffèrent, l'organisation intime est la même, et souvent les anciens coraux se rapprochent tellement de leurs analogues vivants qu'on a peine à les en distinguer. Il n'y a donc aucun motif de supposer aux récifs d'autrefois un accroissement plus ou moins rapide que celui des récifs actuels. Par conséquent, les strates coralliennes n'ont pu gagner que quelques millimètres chaque année.

Les exploitations houillères ont mis à découvert, dans une foule de localités, des troncs d'arbres encore debout et bien conservés, et quelquefois des forêts entières. C'est ainsi qu'on a trouvé à Anzin une tige de plus de 5 mètres de longueur, engagée dans des grès et des schistes, perpendiculairement au plan de la stratification. Ces couches sont d'origine mécanique; et comme elles se relèvent un peu en bourrelet au pied de la tige, il paraît manifeste qu'elles ont augmenté graduellement en épaisseur, et que le terrain s'est peu à peu exhaussé autour. Si cet accroissement des assises houillères n'avait pas été plus rapide que celui des récifs, il aurait fallu près de dix-sept cents ans pour que la tige se trouvât entièrement recouverte par les sédiments, sur sa longueur apparente de 5 mètres. Or, il est impossible d'imaginer qu'elle ait pu se conserver aussi longtemps, sans subir la moindre altération dans ses parties supérieures, enfouies les dernières. Une pareille conservation serait d'autant plus merveilleuse, que les végétaux de l'époque houillère appartenaient, sans exception, à des familles inférieures, où la matière ligneuse est très-disséminée dans les tiges, qui n'ont ainsi que peu de consistance. Il est donc évident que les sédiments dans lesquels cette tige est enterrée sur une longueur de plus de 5 mètres, se sont accumulés dans un temps très-court, dans quelques années au plus. Sans multiplier les exemples (ce qui serait facile), je me crois autorisé à conclure que, suivant les lieux et les époques, les couches pouvaient s'accroître de quelques millimètres ou de plusieurs mètres dans le même espace de temps.

**Allures des strates.** — Il est rare que la stratification soit parfaitement régulière, et que les strates aient partout la même épais-

seur. Toute assise s'amincit à ses bords et se renfle vers les lieux où affluent les matériaux avec le plus d'abondance. De cette manière, on explique la forme lenticulaire des amas de gypse et d'autres substances, sans doute accumulées près de l'orifice des sources qui les déversaient. Il arrive aussi que la même assise présente des alternances de dilatations et d'étranglements, et même des interruptions, qui en font ressembler la section verticale à une sorte de chapelet étendu horizontalement (fig. 94). Telle est la

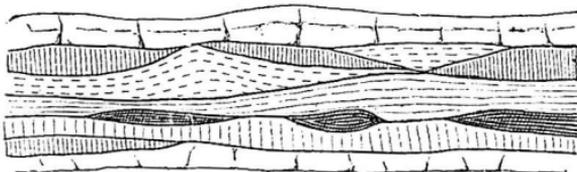


Fig. 94. — Stratification irrégulière.

structure de beaucoup d'amas de sel gemme et de beaucoup de couches de charbon. Dans les houillères, on appelle *crains* ou *couffées* les étranglements.

Presque toujours la composition des couches varie dans le sens horizontal, surtout près des rivages, où les matériaux de la sédimentation chimique viennent se confondre avec les sables et les galets de la sédimentation mécanique, et même de l'appareil littoral. Dans l'intérieur des bassins, les sources calcarifères peuvent déverser leurs produits en même temps que s'ouvrent plus loin des sources ferrugineuses et des sources dolomitifères; de sorte que la même assise consiste en grès ou en argiles près des bords, puis en calcaire, en fer oolitique ou en dolomie. Aussi le géologue expérimenté se garde-t-il de prononcer sans examen l'identité des couches de même nature. La réserve est d'autant plus obligatoire, en pareille circonstance, que certaines roches appartenant à des terrains d'âge extrêmement différent se ressemblent quelquefois à s'y méprendre. Sans le secours de la stratigraphie et de la paléontologie, il serait absolument impossible de distinguer, aux seuls caractères minéralogiques, les ardoises siluriennes de celles des formations plus récentes; les calcaires crayeux carbonifères de la Russie, des calcaires jurassiques ou créacés de même apparence; les calcaires compactes, les grès et les argiles des terrains anciens, des mêmes roches qui peuvent se rencontrer à des niveaux supérieurs dans la série stratigraphique.

Extrêmement fréquents autrefois, les mouvements du sol ont beaucoup contribué à la diversité de la composition des couches dans le sens vertical et même dans le sens horizontal, ainsi qu'à l'irrégularité de leurs allures. Sans cesse déplacés ou modifiés par les ondulations de l'écorce solide et même par le soulèvement des montagnes, les bassins de sédimentation se creusaient ou se desséchaient suivant les circonstances. Des amas d'eau douce en occupaient les parties momentanément exondées, et laissaient déposer des sédiments contemporains des couches sous-marines qui se constituaient à quelques pas. De nouveaux mouvements du sol modifiaient ensuite l'emplacement des eaux marines et des eaux douces ; et souvent les assises lacustres, plongées sous les mers, se recouvraient de sédiments marins à la surface desquels s'établissaient plus tard des dépôts d'eau douce, quand le même fond avait été remis à sec par un exhaussement. C'est ce que montre l'étude attentive de certains bassins limités, par exemple de celui de Paris, où les couches marines alternent un grand nombre de fois, dans le sens vertical, avec les couches d'eau douce, qui n'occupent d'ailleurs, le plus souvent, qu'une portion restreinte du bassin. Il en résulte une foule d'alternances et d'entrecroisements : toutes les assises sont amincies à leurs bords ; elles se trouvent en avance ou en retrait les unes par rapport aux autres, et n'occupent pas la même superficie ni le même emplacement.

**Actions des ablations et des érosions.** — Souvent des accidents consécutifs sont venus modifier, sinon la totalité, du moins la partie supérieure des sédiments. Des retours de la mer violents et subits ont détruit quelquefois les assises superficielles sur de grandes étendues, en produisant les ablations dont il a déjà été parlé. Ces destructions se remarquent surtout le long des anciens rivages ; de sorte que les lignes littorales sont rarement conservées. Souvent les érosions fluviales ont profondément sillonné et labouré la surface des dépôts, sur lesquels les courants diluviens ont étendu un épais manteau de cailloux, de sables et de limons. Souvent aussi, les mouvements du sol ont brisé, bouleversé et morcelé de mille manières des strates primitivement horizontales. Il est donc infiniment rare, pour ne pas dire impossible, de rencontrer un bassin parfaitement intact.

**Succession des sédiments dans le sens vertical.** — En ce qui concerne la disposition générale et l'ordre de succession des sédiments dans le sens vertical, on a dit que les matériaux de gros

volume, déposés par voie mécanique, sont accumulés dans le fond des bassins; que les dépôts fins et divisés, d'origine chimique, en occupent le milieu, et qu'à la superficie dominent des matériaux assez menus, meubles et peu cohérents, provenant, soit de sédimentation mécanique, soit de sédimentation chimique. Cela peut être vrai en théorie, et même en réalité, si l'on examine les choses d'une manière générale. Ainsi, à en juger d'après la partie de ses rivages qui se montre à découvert au pied des Vosges, le fond du bassin de Paris est bien formé par les grès et les conglomérats des terrains de sédiment inférieurs, auxquels succèdent les marnes et les calcaires jurassiques et crétacés, puis les calcaires grossiers, les sables et les argiles tertiaires. Mais si l'on y regarde de plus près, on remarque à chaque instant des exceptions. Entre la grauwacke dévonienne et les grès houillers ou le grès des Vosges, d'origine mécanique, sont intercalés des calcaires d'origine chimique; au grès bigarré succède sans transition le calcaire conchylien; dans le lias, des grès d'origine mécanique et des argiles d'origine douteuse alternent fréquemment avec des assises calcaires; à plusieurs niveaux, les marnes et les calcaires du terrain crétacé sont interrompus par des sables d'origine mécanique. Dans la pratique et dans le détail, la règle est donc l'alternance fréquente, et non la succession de l'action chimique et de l'action mécanique; et cette alternance commence presque à l'origine des dépôts de sédiment. C'est même à la partie inférieure de la série des terrains stratifiés dans les eaux qu'on en rencontre les meilleurs exemples: les formations paléozoïques de la Russie, de la péninsule Scandinave, de l'Angleterre, de la Belgique et de la Bohême consistent en conglomérats, en grauwackes, en grès, en ardoises, en argiles et en calcaires, qui alternent et se succèdent de la manière la plus imprévue.

**Stratigraphie proprement dite.** — Toujours horizontales dans le principe, je ne saurais assez le répéter, les strates ont souvent été dérangées par les mouvements du sol. Tout ce qui va suivre a trait à leur disposition actuelle dans l'écorce du globe, aux déplacements antérieurs qu'elles ont subis et aux accidents stratigraphiques qui en sont la conséquence. C'est même uniquement à ce point de vue que beaucoup de géologues envisagent la stratigraphie, dont ils restreignent ainsi les attributions. Quoique les roches ignées se trouvent ici hors de cause, on peut néanmoins leur appliquer quelques-unes des lois de la stratigraphie, quand il devient possible de distinguer la disposition primitive de leurs coulées.

**Définitions.** — D'abord quelques définitions.

La *pente* ou l'*inclinaison* d'une couche n'est autre chose que l'angle qu'elle décrit avec l'horizon. Elle se mesure au *clinomètre*, instrument qui consiste en un arc gradué, avec aiguille mobile faisant l'office de fil à plomb. Elle s'estime en degrés du cercle. On indique également le point cardinal du côté duquel a lieu l'inclinaison, et l'on dit que le *pendage* d'une couche regarde le sud, le sud-est, etc., pour annoncer que la surface des assises penche de ce côté, ou, en

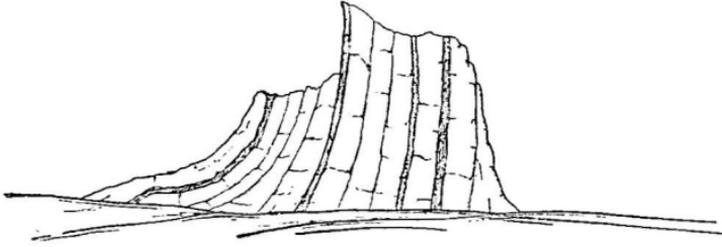


Fig. 95. — Couches redressées verticalement.

d'autres termes, qu'elles plongent vers ce point de l'horizon. La *direction* ou l'*orientation* d'une couche est marquée par la ligne d'intersection de cette couche avec un plan horizontal : une couche est dirigée ou orientée du nord au sud, du nord-ouest au sud-est, etc.

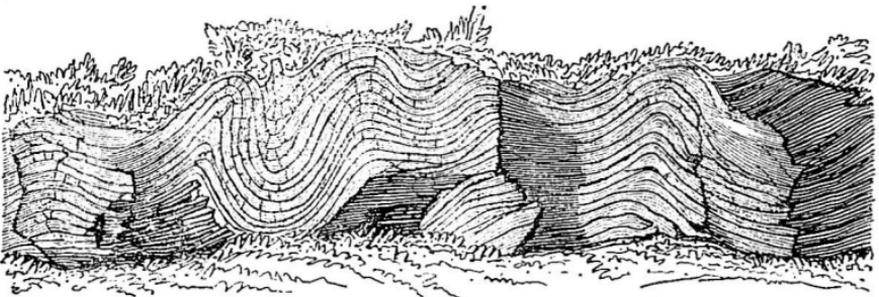


Fig. 96. — Couches ondulées.

On appelle couches *synclinales* celles qui pendent en se faisant face, de manière que leur intersection, ou *ligne synclinale*, occupe le fond d'un pli en V ; couches *anticlinales* celles qui pendent en sens inverse, de manière que leurs faces supérieures regardent des directions opposées, et que leur lieu de rencontre, ou *ligne anticlinale* occupe le sommet d'un pli relevé en toit ou en chevron. Les strates sont d'ailleurs *horizontales*, *inclinées*, *verticales*, *renversées*, *brisées*, *contournées*, *ondulées*, *ployées*, *pliées en voûte*, *en fond de bateau*, *en V*, *en chevron*, *en zigzag*, *disposées en éventail*, etc. (fig. 95, 96, 97, 98).

Par extension, on dit souvent que la stratification est horizontale, ployée, inclinée, etc., ce qui signifie exactement la même chose.

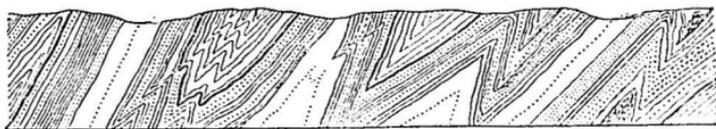


Fig. 97. — Couches en zigzag.

Elle est appelée *concordante*, lorsque toutes les couches sont paral-

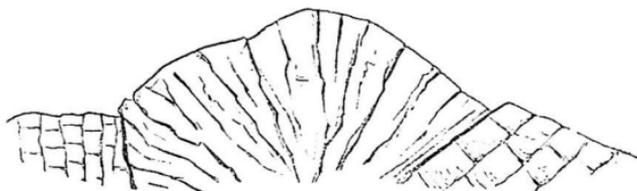


Fig. 98. — Couches en éventail.

lèles (fig. 99) ; *discordante*, quand des couches horizontales reposent

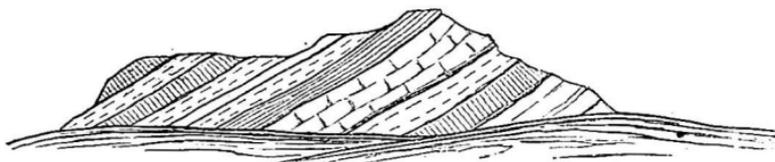


Fig. 99. — Stratification concordante.

sur des couches redressées ou inclinées, ou, plus simplement, quand deux systèmes de couches se superposent en formant un angle quelconque ; *transgressive*, lorsque des assises plus récentes

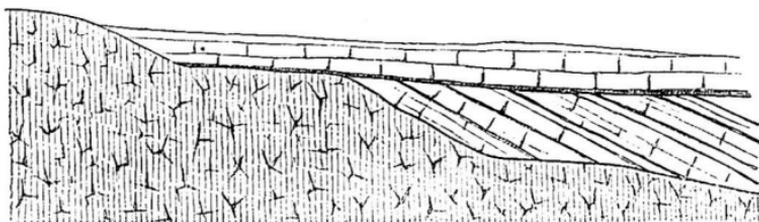


Fig. 100. — Exemple de stratification discordante et transgressive.

se sont déposées sur un terrain plus ancien, massif ou stratifié, de manière à le recouvrir en partie, tandis que ce terrain s'étend lui-même sous ces assises (fig. 100).

**Lois stratigraphiques.** — Ces différents termes bien compris, nous pouvons formuler les lois suivantes, qui n'ont pas besoin d'explication, et qu'on doit considérer comme des axiomes en géologie, bien que la première ait été contestée.

1° *Les couches en stratification concordante ont été formées successivement, de bas en haut.*

2° *Toute assise sédimentaire inclinée a été dérangée de sa position première.*

3° *Une couche horizontale est plus récente que les couches inclinées sur lesquelles elle s'appuie.*

4° *Une couche transgressive est plus récente que le terrain sur lequel elle empiète.*

**Accidents stratigraphiques et formes orographiques qui en dérivent.** — Dans les montagnes, les plissements, les ruptures et les érosions des couches sédimentaires donnent lieu à des formes et à des accidents particuliers, dont les plus fréquents, reconnus et désignés pour la première fois dans le Jura par J. Thurmann sous les noms de *crets, combes, voûtes, cirques, ruz, cluses*, etc., ont été suffisamment décrits dans la deuxième partie de cet ouvrage. A ces accidents il faut ajouter la *structure en éventail* redressé, particulière aux grandes montagnes, telles que le mont Blanc, et qui paraît due à de fortes compressions latérales; puis les *failles* (fig. 101).

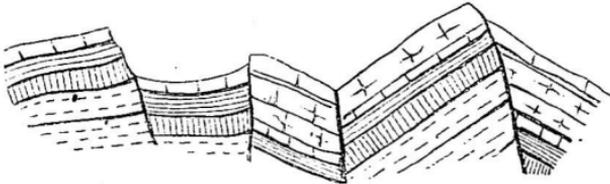


Fig. 101. — Exemple de failles.

Dans les plaines on ne rencontre guère ces dernières; elles constituent néanmoins les plus importants et les plus répandus de tous les accidents stratigraphiques; aussi dois-je entrer ici dans quelques nouveaux détails.

**Failles.** — On admet généralement que les failles traversent toute l'épaisseur de l'écorce solide; car il est difficile d'expliquer d'une autre manière le dénivellement des couches situées de part et d'autre de la fracture qui constitue la faille. Cependant, l'hypothèse de vides intérieurs comblés par des affaissements en rendrait aussi bien compte; et je crois avoir prouvé que cette conception est peut-être moins extravagante qu'on ne serait porté à le croire au premier

abord. Quoi qu'il en soit, les failles se distinguent aisément des fissures de retrait ou diaclines, en ce que celles-ci ne traversent jamais que la même assise, qu'elles ont au plus une longueur de quelques mètres et qu'elles laissent ordinairement au même niveau les deux bords de la rupture. On ne peut davantage les confondre avec les *fentes de carrière*, qui intéressent plusieurs bancs à la fois, mais dont le peu d'étendue contraste avec le grand développement des failles en longueur. On reconnaît tout de suite que ces dernières sont des accidents généraux fort importants, qui impriment souvent un cachet particulier à l'orographie et à l'hydrographie de tout une contrée.

Les bords extérieurs d'une faille en sont les *lèvres*. Quand les érosions n'ont pas nivelé le terrain, l'un d'eux, appelé *tête de faille*, s'élève au-dessus de l'autre, qui a reçu le nom de *piéd de faille* (fig. 102). La *direction* d'une faille ou *ligne de faille* est l'angle qu'elle

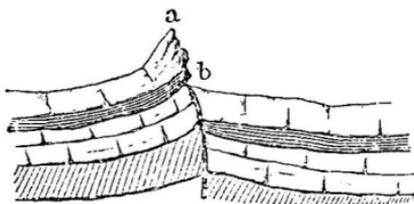


Fig. 102. — a, tête de la faille ; b, piéd de la faille.

forme avec le méridien ; son *inclinaison* est l'angle que forme son plan avec la verticale. Le plus souvent en contact, les lèvres peuvent s'écarter de 20 mètres et plus ; mais ce sont là des cas rares. L'intervalle est alors comblé par divers matériaux, le plus habituellement d'origine diluvienne. Dans les failles plus étroites, ce sont des débris broyés, des fragments rocheux plus ou moins cimentés par des infiltrations et quelquefois par des injections venant de l'intérieur, qui emplissent la fissure. Dans ce dernier cas, on a affaire à une *faille-filon*. Parfois, le froissement des deux bords opposés raye et même polit les surfaces, qu'on désigne alors sous le nom de *miroirs*. Il est d'ailleurs assez rare que les strates conservent leur direction normale, et ne soient pas relevées ou affaissées sur les bords de la rupture. Ordinairement, ce sont les têtes de bancs du piéd de la faille qui se relèvent, et même se renversent et se rabattent sur la portion des assises demeurée horizontale. Les lignes de faille sont habituellement droites, ou à peu près ; cependant, on en connaît de brisées et de sinueuses. Leur longueur varie de quelques centaines de

mètres à quelques centaines de kilomètres. L'inclinaison oscille entre la verticale et l'angle de 45 degrés, sans atteindre ordinairement ces limites extrêmes. Enfin, le dénivèlement entre la tête et le pied de la faille, qui souvent se monte à peine à 2 ou 3 centimètres, peut atteindre et même dépasser 4000 mètres; ou du moins des assises séparées par cet énorme intervalle dans la série sédimentaire se trouvent en contact et au même niveau. Comme exemples de failles ouvertes à la suite de grands mouvements du sol on peut citer celle du bord sud-est de la montagne de la Serre, près de Dole, qui a englouti tous les terrains intermédiaires entre le gneiss et la partie moyenne du terrain jurassique; celle de Belfort, qui met en contact des schistes, probablement dévoniens, avec le lias; celle de Pont-de-Raide, près Montbéliard, où la grande oolite se rencontre avec le calcaire corallien. Dans les deux premières localités, les lèvres sont à peu près au même niveau; dans la dernière, la tête de faille s'élève en falaise presque verticale à près de 400 mètres au-dessus du pied. Le dénivèlement varie, d'ailleurs, sur la longueur d'une faille, et diminue toujours près de ses extrémités, où il s'efface complètement.

Quant aux forces auxquelles on attribue les accidents stratigraphiques, il est plus facile d'en déterminer la direction que d'en indiquer la nature. Je ne reviendrai donc pas sur ce qui a été dit à cet égard à propos des mouvements du sol; me bornant à énoncer que ces forces se manifestent par des mouvements de bas en haut, ou *exhaussements*, ou encore *soulèvements*; par des mouvements de haut en bas, ou *affaissements*; par des mouvements horizontaux, qui déterminent des *refoulements* et des *plissements*, et par toute sorte de mouvements intermédiaires.

### § 3. — FOSSILES.

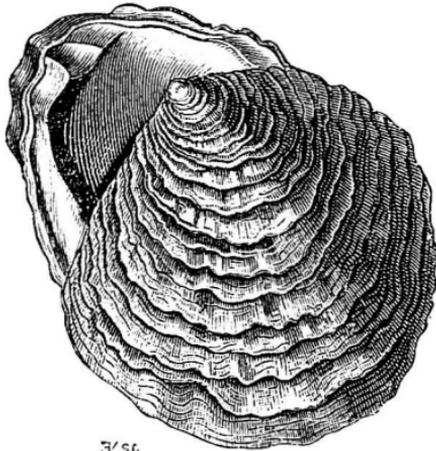
**Fossiles.** — On appelle *fossiles* les restes, les débris ou les vestiges quelconques d'animaux ou de plantes conservés dans l'écorce du globe. Telle est la définition la plus large; mais beaucoup de géologues restreignent l'acception du mot fossile, et ne désignent ainsi que les restes et les débris. Pour ces auteurs, les empreintes, les traces de pas, etc., ne sont point des fossiles. On ne considère pas non plus comme fossiles les restes des êtres encore subsistants; mais il devient alors difficile, pour ne pas dire impossible, de s'entendre sur le sens exact de l'expression, puisque, dans les terrains

supérieurs, la même couche peut renfermer des débris de même âge, dont les uns sont fossiles et dont les autres ne le sont pas. Pour certains géologues, les ossements de mammouth et de rhinocéros d'un dépôt diluvien se trouvent dans le premier cas, parce qu'ils appartiennent à des espèces éteintes, tandis que les débris humains ou ceux d'*Helix*, d'*Unio* et d'autres mollusques encore vivants, recueillis dans le même dépôt, ne méritent plus le nom de fossiles. On voit où peut conduire le trop grand respect des définitions. Ici, le mot fossile sera toujours pris dans son sens le plus large. Il avait autrefois pour synonyme le mot *pétrification*, aujourd'hui peu usité, et dont la signification n'est peut-être pas tout à fait la même.

Les fossiles n'existent que dans les terrains de sédiment, où on les rencontre à peu près partout, à partir d'un certain niveau, et où ils forment à eux seuls de puissantes assises. Leur étude particulière et leur détermination appartenant à la *paléontologie*, nous avons seulement à nous occuper ici de leur état, de leur conservation, de la nature des substances dont ils sont formés et de leur gisement dans les roches et dans les bassins.

**ÉTAT DES FOSSILES.** — Les principaux états sous lesquels on connaît les fossiles sont les suivants :

1° *Fossile complet.* — Toutes les parties solides ont été conservées,



3756

Fig. 103. — Fossile complet (Huître).

qu'elles soient ou non minéralisées, c'est-à-dire que la substance primitive soit demeurée intacte ou qu'elle ait été remplacée par une autre (fig. 103). Les huîtres de tous les terrains et la plupart des mollusques de la formation tertiaire se trouvent dans le premier

cas, ayant souvent gardé même leurs couleurs; les plantes silicifiées offrent d'excellents exemples de fossiles complets minéralisés.

2° *Fossile incomplet*. — Certaines parties sont conservées et d'autres manquent. Ainsi, dans les bélemnites, on ne trouve presque jamais que le rostre et les alvéoles; dans les trichites, il ne reste que la couche fibreuse (fig. 104).

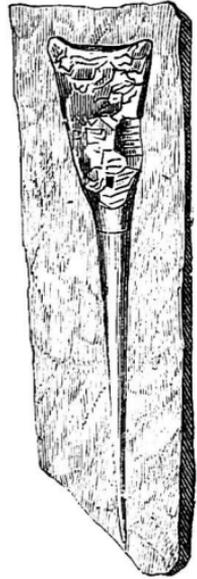


Fig. 104. — Fossile incomplet (Belemnite).

3° *Moule extérieur*. — Le test, c'est-à-dire la coquille même (dans un mollusque), a disparu; mais il s'est moulé dans la pâte de la roche ambiante, où il a laissé une empreinte circonscrivant une cavité qui s'est remplie de matière minérale, laquelle peut se séparer en une seule masse, ayant exactement la forme et les dimensions de la coquille qu'elle remplace, et dont elle conserve les ornements les plus délicats. Cette masse est donc un moule extérieur. Comme exemple, on peut citer la plupart des panopées et des pholadomyes du Jura (fig. 105).

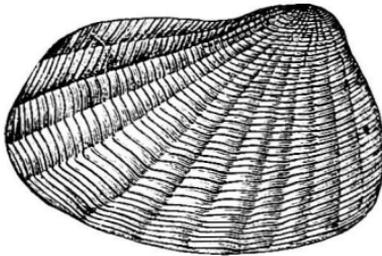


Fig. 105. — Moule extérieur (Pholadomye).

qu'en y introduisant du plâtre ou de la cire on peut en tirer un moule extérieur. Beaucoup de bivalves, de gastéropodes et de polypiers jurassiques et créacés se trouvent dans ce cas (fig. 106).

5° *Moule intérieur*. — La coquille est remplacée par de la matière minérale, qui a pénétré dans son intérieur, et qui reproduit en relief la surface intérieure du test. Tantôt ce moule est séparé de la roche ambiante par un espace vide correspondant à l'épaisseur de

la coquille résorbée, et, par conséquent, se trouve contenu dans une empreinte extérieure ; tantôt l'intervalle a été comblé par un tassement de la roche, et alors le fossile simule un moule extérieur.

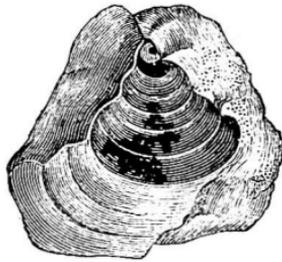


Fig. 106. — Empreinte extérieure.

Les coquilles à test épais, telles que sphérulites, arches, nérinées, etc., se trouvent souvent dans le premier cas ; celles à tests minces, par exemple les grandes céromyes jurassiques, se trouvent dans le second (fig. 107).

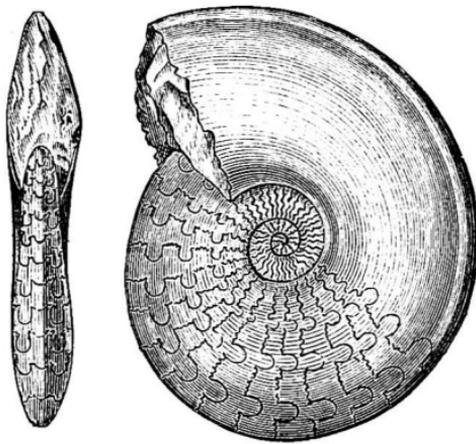


Fig. 107. — Moule intérieur (Cératite).

6° *Empreintes et vestiges*. — On désigne ainsi des traces ou des empreintes d'êtres encore inconnus. Telles sont les marques de pas d'oiseaux appelées *ornitichnites* ; celles de pas de reptiles dénommés par anticipation *Cheirotherium* (fig. 108) ; diverses traînées dans la vase durcie, attribuées, soit à des poissons, soit à des crustacés, soit à des annélides, soit à des mollusques bivalves ; les cavités laissées par les coraux dans les roches qui en conservent les empreintes ; les perforations creusées dans les calcaires et même dans les gneiss par les coquilles dites lithophages et par certains our-

sins; les traces des dents d'animaux carnassiers sur des os; les traces, sur des os et sur diverses matières, des silex taillés par l'homme et ces silex eux-mêmes.

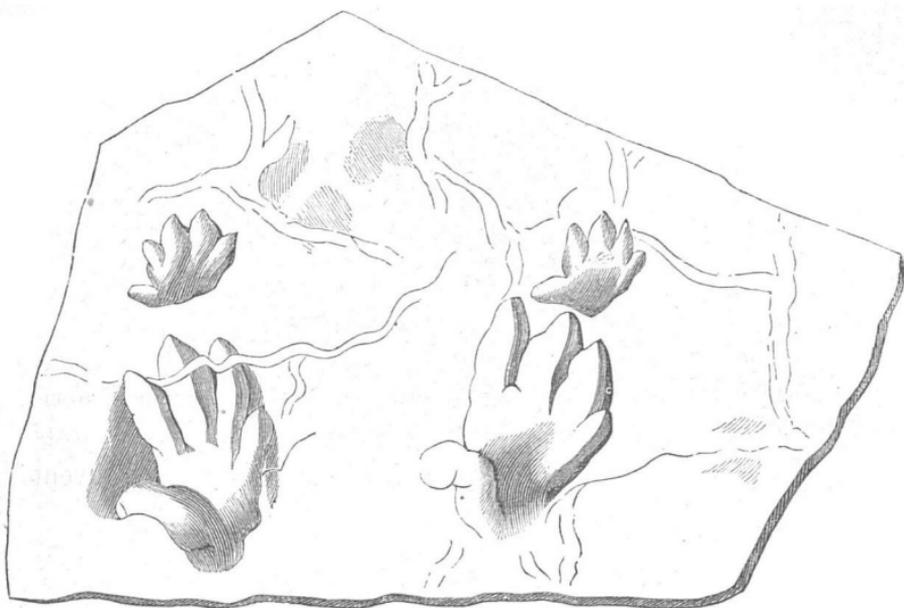


Fig. 108. — Empreintes de pas de reptiles.

7<sup>o</sup> *Empreintes physiques.* — Comme annexe ou appendice, je dois signaler, sous ce nom, les empreintes de gouttes de pluie (fig. 109), les stries glaciaires, et, en général, toutes les marques laissées sur les roches par des actions auxquelles la vie organique demeure étrangère.

**CONSERVATION.** — Rien de plus variable que l'état de conservation des fossiles. En général, les plus intacts proviennent des terrains les plus récents; mais il y a de nombreuses exceptions. La substance même est plus ou moins altérée: on peut observer tous les passages entre les os, les dents et les tests ayant conservé presque toute leur gélatine et leur matière organique; les tiges et les coquilles minéralisées, mais dans lesquelles on distingue les détails microscopiques de la structure; celles où ces détails ont disparu, mais qui gardent exactement la forme de l'objet; les moules des diverses catégories, les empreintes et les vestiges. Il en est de la couleur comme de la texture: plus le fossile est récent, plus elle a de chances de conservation. On cite, cependant, plusieurs *orthocères*, *cyrtocères* et *trochocères* siluriens, le *Natica subcostata* du terrain devonien de Pafstrath, le *Pecten alpinus* du terrain néo-

comien des Basses-Alpes, l'*Ostrea Columba* de la craie moyenne de France, comme ayant gardé en partie leur coloration. Beaucoup de fossiles sont, d'ailleurs, usés, roulés, brisés, agglomérés en lumachelles, écrasés, aplatis, étirés, recourbés, en un mot, déformés de toutes les manières ; et plus d'une espèce suspecte a dû son nom et

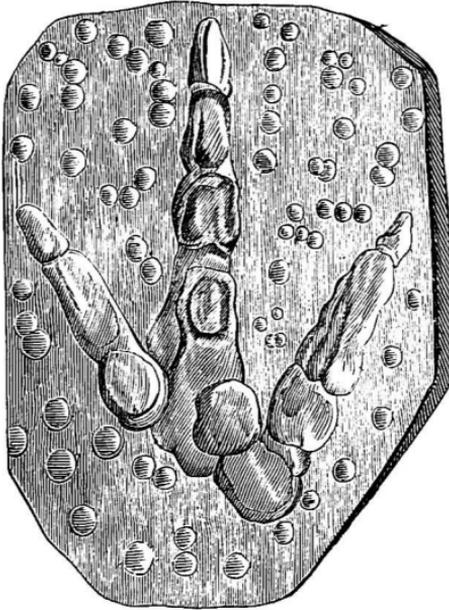


Fig. 109. — Empreintes de gouttes de pluie à côté d'une empreinte de pas d'oiseau.

son origine à des apparences trompeuses. Il est, d'ailleurs, infiniment rare que la fossilisation ait conservé autre chose que les parties les plus dures. Les animaux mous n'ont pas laissé de traces ; à peine ose-t-on citer les empreintes d'entrailles de poissons, nommées *cololites* (fig. 110), quelques marques de tentacules de bélemnites et des vestiges attribués à des méduses. Beaucoup aussi ont disparu, qui semblaient se trouver dans les conditions requises pour être conservées. Rien de plus fréquent, par exemple, que de rencontrer, dans le calcaire jurassique de Montbéliard et de Porrentruy, des moules extérieurs de panopées et de phaladomyes en très-grande partie fondus dans la roche, de manière qu'on ne peut en dégager qu'une faible partie. J. Thurmann a démontré qu'il ne s'agit pas ici de fragments, mais bien de coquilles entières, dont le test a disparu en laissant une cavité qui s'est emplie si parfaitement de la substance de la roche, que la démarcation entre ce moule extérieur et la roche même s'est complètement effacée. Mais

combien d'autres se sont perdus ! Il ne faut cependant pas exagérer le déficit, et ce serait une grande erreur de croire qu'il existât des lacunes fort importantes en paléontologie dans la division des animaux testacés. On peut affirmer que les coraux, les échinodermes, les mollusques à coquilles, les crustacés, les poissons et même les mammifères nous sont connus, ou du moins nous seront connus à peu près au complet. A mon sens, les géologues qui spéculent sur des découvertes imprévues pour étayer leurs théories, courent le plus grand risque de n'éprouver que des déceptions.

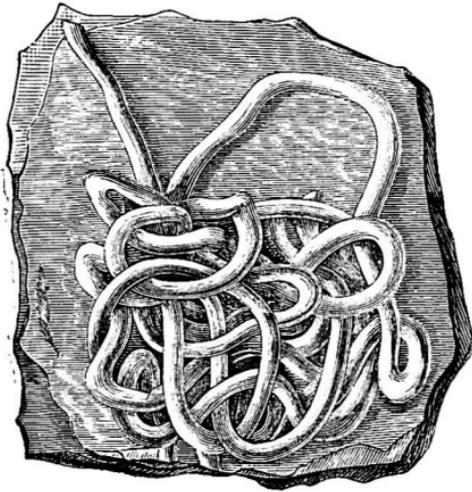


Fig. 110. — Cololites.

**Parties conservées par la fossilisation.** — Indiquons maintenant les parties les plus habituellement conservées par la fossilisation dans les divers groupes des deux règnes.

1° *Vertébrés.* — Ce sont les dents, les os, les bois (cerfs), les carapaces (tortues, tatous), plus rarement les ongles, les cornes (dans quelques cavernes) et les yeux, quand ces derniers sont revêtus de plaques dures, comme ceux des ichthyosaures. Assez fréquemment on retrouve les organes épidermiques les plus résistants, tels que les écailles des reptiles, celles des poissons, les plaques osseuses des raies, désignées sous le nom quelque peu barbare d'*ichthyodolites*, les plumes des oiseaux (Auvergne, Monte-Bolca). Des œufs d'oiseaux et de serpents ont été recueillis dans les sédiments récents de diverses localités. Dans des circonstances exceptionnelles, certains animaux vertébrés ont été conservés intacts et en totalité, avec leur chair et leur peau, leur estomac encore plein d'aliments

à moitié digérés et leurs intestins : tels sont les éléphants et les rhinocéros saisis par la gelée dans les plaines glacées de la Sibérie. Ajoutons qu'on connaît à l'état fossile les excréments de beaucoup de poissons, de reptiles et l'*album græcum* de quelques mammifères ossivores. Toutes ces déjections, désignées sous le nom général de *coprolites* (fig. 111), se distinguent assez facilement pour que les savants aient pu quelquefois les restituer aux espèces qui les ont fournies.

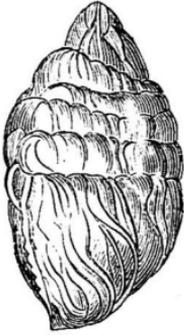


Fig. 111. — Coprolite.

Quoique munis de parties solides et résistantes, les vertébrés, au moins les mammifères, les oiseaux et les reptiles terrestres, sont peut-être les êtres qui ont le plus fréquemment échappé à la fossilisation. En effet, les cadavres de ceux qui vivent hors des eaux gisent à la surface du sol, le plus souvent dépecés et déchiquetés par les animaux carnassiers ; et leurs débris, exposés à toutes les intempéries, ne tardent pas à se détruire et à disparaître. Leur

conservation exige donc un concours de circonstances particulières, telles que débordements, inondations, éboulements, etc. ; car il est indispensable que les squelettes soient promptement enfouis, et recouverts des sédiments qui les préservent de la décomposition. Voilà pourquoi on trouve si peu de débris des oiseaux, qui échappent à la destruction plus aisément que les animaux terrestres ; voilà pourquoi les fossiles humains sont les plus rares de tous, notre espèce, mieux avisée, trouvant dans son intelligence, pour fuir le danger, des ressources supérieures à celles des animaux.

2° *Annelés*. — Leurs vestiges se réduisent aux pièces cornées et aux téguments résistants. Il est donc naturel que les crustacés et les annélides tubicoles aient fourni le plus de fossiles. Les tubes de ces dernières existent toujours au complet ; il en est de même des carapaces, souvent munies de leurs pattes et de leurs yeux, des crustacés décapodes. D'autres crustacés, tels que les trilobites, n'ont conservé qu'une moitié de leur corps ; les insectes, les arachnides, les myriapodes, n'ont guère laissé que des empreintes ; enfin une foule de vers et d'annelés mous ont disparu, sans qu'il en subsiste le moindre vestige. Dans des circonstances particulières, certains articulés nous sont parvenus au complet, aussi intacts que les mammoths de la Sibérie. Je veux parler des insectes enfermés dans le succin ou ambre jaune, sorte de résine dure et concrète, mais autrefois assez

fluide pour avoir englué et recouvert les petits animaux. C'est donc un véritable embaumement qui les a conservés. Dans certains cas, des œufs d'insectes et même des étuis de leurs larves ont passé à l'état fossile : telles sont les induses des phryganes, qui forment des bancs entiers dans le calcaire lacustre de l'Auvergne.

3° *Mollusques*. — Cet embranchement a le privilège de fournir les fossiles les plus nombreux et les plus intacts. Ce sont presque exclusivement les tests ou coquilles qui nous sont parvenus. Ils existent à tous les états précédemment décrits ; plusieurs, quoique minéralisés, ont conservé leur nacre, qui brille des plus beaux reflets irisés, par exemple certaines ammonites oxfordiennes de la Russie et certaines ammonites du gault de la Champagne. On a cependant trouvé à l'état fossile des osselets de céphalopodes et même leur poche à encre, des becs de nautilus et les *aptychus*, qui étaient probablement des pièces intérieures de l'animal des ammonites.

4° *Échinodermes et crinoïdes*. — Toutes les parties dures sont conservées. Nous avons vu que les seconds pullulaient à certaines époques, au point que des bancs fort étendus sont entièrement composés de leurs articles isolés, appelés *entroques* (fig. 112).



Fig. 112. — Calcaire à entroques.

5° *Bryozoaires et zoophytes*. — Même observation. Après les mollusques, ce sont les polypiers qui dominent dans les collections.

6° *Foraminifères et infusoires*. — Leurs carapaces, ordinairement intactes, pullulent dans certains terrains, notamment dans la craie et dans le calcaire nummulitique.

7° *Végétaux*. — Le plus souvent connus à l'état d'empreintes,

quelquefois d'une grande perfection (terrain houiller, terrain tertiaire moyen, etc.), les plantes n'ont presque jamais été conservées dans leur intégrité (fig. 113). Ce sont les empreintes de feuilles,

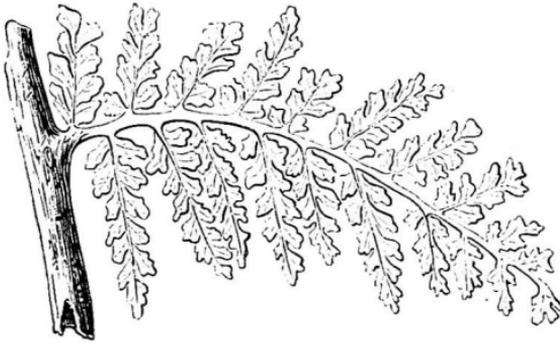


Fig. 113. — Empreinte de feuille de fougère.

puis les fragments de tiges et de racines qui dominent. On a cependant trouvé çà et là quelques fruits, par exemple dans le terrain houiller; mais ils sont toujours fort rares. Les *gyrogonites*, communément et improprement appelées *graines de Chara*, abondent, au contraire, dans certaines assises tertiaires. Les fleurs sont beaucoup plus rares; elles se trouvent à l'état d'empreinte ou conservées dans le succin.

**SUBSTANCES FOSSILISANTES.** — Les plus répandues sont les suivantes :

1° *Chaux carbonatée.* — C'est la plus commune de toutes. La plupart des moules décrits plus haut sont en calcaire. Il est à remarquer que les tests de tous les échinodermes et de tous les crinoïdes transformés en carbonate de chaux présentent la texture et le clivage en rhomboèdre du spath d'Islande.

2° *Dolomie.* — Plus rare que le calcaire; fournit surtout des moules.

3° *Silice.* — Très-habituelle dans tous les terrains de sédimentation chimique. Donne principalement les fossiles minéralisés qui ont conservé tous les détails microscopiques de leur organisation, par exemple les troncs d'arbres. Assez fréquemment un spongiaire, un échinoderme, un mollusque, un crustacé occupe le centre d'un rognon siliceux, qui s'est peu à peu concrétionné autour, par une attraction moléculaire plus facile à constater qu'à expliquer. Un grand nombre de polypiers du calcaire corallien du Jura sont transformés en silice. Dans le test de certains fossiles, la silice forme

des *orbicules*, consistant en une série de cercles concentriques qui s'élargissent de plus en plus autour d'un point.

4° *Chaux fluatée*. — Très-rare. Se rencontre dans quelques crinoïdes carbonifères du Derbyshire et dans certains fossiles du lias d'Avallon.

5° *Baryte sulfatée*. — Rare : dans les bélemnites de Nontron ; dans le lias du Morvan, etc.

6° *Fer hydroxydé*. — Assez fréquent à divers niveaux, notamment dans les terrains tertiaires.

7° *Fer oligiste*. — Assez répandu : les cardinies du lias inférieur de la Côte-d'Or renfermant des cristaux dans leur intérieur, les beaux fossiles du lias supérieur de la Verpillière (Isère), de l'oxfordien de la Voulté (Ardèche) et de beaucoup d'autres localités sont en fer oligiste.

8° *Fer phosphaté*. — Rare. Imprègne les dents de mammifères transformées en *fausses turquoises* ; en cristaux ou en taches bleues dans diverses coquilles.

9° *Fer carbonaté*. — Rare. Concrétionné en rognons autour des poissons du terrain houiller, dont il renferme les empreintes ; également concrétionné autour des ammonites du lias de certaines contrées.

10° *Fer sulfuré*. — Toutes ou presque toutes les ammonites de certaines marnes liasiques, oxfordiennes, néocomiennes, etc., sont minéralisées en pyrite, qu'elles semblent avoir accaparé au détriment des bélemnites, des pholadomyes, des pernes, des térébratules et autres fossiles transformés en calcaire dans les mêmes couches.

11° *Sulfure de fer et de cuivre*. — Les écailles des poissons des schistes bitumineux de Mansfeld (Thuringe) ont été transformées en cette substance.

12° *Soufre*. — Forme les moules, très-bien conservés, de mollusques gastéropodes dans certains terrains tertiaires.

13° *Carbone*. — Dans la houille et divers terrains, beaucoup de tiges et d'empreintes de feuilles sont recouvertes d'une mince couche de charbon noir, qui conserve le détail des reliefs ; dans les lignites, beaucoup de troncs d'arbres ont été transformés en un charbon plus ou moins pur.

14° *Bitume*. — Ordinairement mêlé au sable, forme les moules de certaines coquilles tertiaires, par exemple à Bastène (Landes).

— Beaucoup d'autres substances sont encore indiquées comme

fossilisantes ; cependant elles imprègnent plutôt les débris organiques, dans l'intérieur ou sur le pourtour desquels on les rencontre en cristaux ou en concrétions granuleuses. Les plus répandues sont : le *gypse*, la *célestine*, le *cuivre carbonaté vert* ou *malachite*, le *cuivre carbonaté bleu* ou *azurite*, le *plomb sulfuré* ou *galène*, le *zinc sulfuré* ou *blende*, le *zinc carbonaté* ou *calamine*, le *mercure sulfuré* ou *cinnabre* et l'*argent métallique*.

**GISEMENT DES FOSSILES DANS LES ROCHES.** — En général les fossiles, surtout les polypiers et les mollusques marins, gisent où ils ont vécu, en conservant la position qu'ils avaient pendant leur vie. On dit alors qu'ils sont *en place*. D'autres fois, quand ils ont été ballottés par les vagues au milieu des galets, ils se présentent en fragments usés et roulés ; d'autres fois encore, ils proviennent d'assises ou de terrains plus anciens, auxquels ils ont été arrachés à la suite de la désagrégation de la roche qui les renfermait : on dit alors qu'ils sont *remaniés*. Je n'ai pas besoin de faire remarquer toute l'importance de ces distinctions, quand on veut savoir quelles sont les espèces caractéristiques d'une assise ou d'un terrain. Nous avons vu que l'observation attentive des fossiles en place suffit pour faire reconnaître le sens de la stratification. Le plus souvent, en effet, les êtres marins se sont éteints et fossilisés au lieu même où ils ont vécu. On connaît cependant des localités où les animaux ont été anéantis brusquement par quelque phénomène physique ou par l'introduction dans les eaux de substances délétères. Comme exemple du premier cas, je citerai les mammifères recueillis en si grand nombre à Pikermi, près d'Athènes, par M. Gaudry ; et comme exemple du second, les poissons des schistes de Mansfeld. Les empreintes de ces derniers sont ordinairement tordues et repliées, comme si ces animaux, ainsi qu'il est infiniment probable, avaient subi brusquement l'action toxique du cuivre qui les a minéralisés.

**Causes de la richesse en fossiles.** — Tous les milieux ne conviennent pas également à la vie organique. Les fossiles abondent dans les calcaires ; ils deviennent rares dans les dolomies ; ils manquent absolument dans le sel gemme. La rareté ou l'absence des fossiles dans certains terrains peut donc aussi bien provenir de l'impropriété du milieu que d'une pénurie réelle ; et l'on voit souvent la même couche devenir fossilifère ou stérile suivant qu'elle est composée de telle ou telle substance. D'un autre côté, beaucoup d'animaux ne laissent point de vestiges, et plusieurs ont

pu disparaître par la fusion de leur test dans la roche. Il ne faut donc se prononcer qu'avec beaucoup de réserve sur la richesse en fossiles d'un terrain dont on ne connaît que peu de couches, ou qu'on n'a vu que dans une seule localité.

Cette richesse varie donc en raison de la localité, du terrain et de la nature des roches. A ce dernier point de vue, on peut établir les catégories suivantes :

1° *Roches très-fossilifères*. — La plupart des calcaires qui ne sont pas très-compactes, les calcaires friables et crayeux, le calcaire grossier tertiaire, les marnes liasiques et oxfordiennes, les fers des mêmes terrains, les sables et les grès fins crétacés et tertiaires.

2° *Roches peu fossilifères*. — Les conglomérats, les poudingues à gros éléments, les arkoses, le grès vosgien et le grès bigarré, la plupart des calcaires compactes à pâte fine, les dolomies, beaucoup d'argiles, le fer carbonaté.

3° *Roches sans fossiles*. — Les schistes cristallins, le gypse, le sel gemme, les marnes irisées, les argiles et les sables éruptifs.

On ne peut cependant donner ces catégories comme absolues ; et souvent des roches, d'ailleurs absolument stériles, renferment çà et là quelque fossile accidentellement introduit : tels sont, par exemple, les gypses de Montmartre et les argiles sidérolitiques du Jura bernois, où certainement la vie n'a jamais existé, mais qui recèlent des débris de mammifères, sans doute échoués dans les bassins à l'époque de la formation de ces derniers. M. Barrande a même trouvé des fossiles empâtés dans les trapps éruptifs du terrain silurien de la Bohême.

**Exemples de l'influence du milieu.** — Il est facile de se convaincre de la grande influence du milieu sur la richesse fossilifère, dès qu'on étudie avec quelque soin une série de couches un peu étendue dans le sens vertical. Plusieurs recèlent une faune abondante, qui s'éteint brusquement à la rencontre d'une assise de nature minéralogique différente ; et le même fait peut se renouveler un grand nombre de fois sur une faible hauteur. Je ne saurais en donner un meilleur exemple qu'en citant les marnes à astartes du Jura franc-comtois. Ce sont des argiles grossières, plus ou moins chargées de sable et de calcaire, et à peu près stériles ; mais elles renferment un grand nombre de lits fort minces ou de plaquettes calcaires absolument pétries de petites astartes et d'autres fossiles de dimension exigüe, formant de véritables lumachelles. J'ai pu m'assurer que les mêmes fossiles ne manquent pas absolument

dans les marnes, mais qu'ils y sont excessivement rares. Il paraît donc évident que ces intermittences, qui se renouvellent vingt fois et plus sur une hauteur de quelques mètres, proviennent uniquement de ce que le milieu calcaire était infiniment plus convenable à la vie que le milieu argilo-sableux de ce niveau géologique ; car il suffit que les plaquettes se montrent, pour qu'en même temps pullulent les petits mollusques.

**Faunes coralliennes dans le kimméridien de Montbéliard.** —

Il se présente même des circonstances où l'on pourrait presque supposer que la réapparition d'un milieu et de conditions extérieures ayant déjà existé, a suffi pour provoquer un nouveau développement d'une faune qui semblait éteinte. Dans les environs de Montbéliard, les fossiles coralliens paraissent s'arrêter, pour la plupart, aux premières assises kimméridiennes ; cependant on en trouve çà et là quelques spécimens isolés dans les marnes, et surtout dans les calcaires compactes. Mais il arrive bientôt que le calcaire devient blanc et oolitique, au point qu'on le distingue difficilement de l'oolite corallienne. On voit alors apparaître les récifs de polypiers avec leur population habituelle de dicérates, de turbos, de nérinées, dont un grand nombre (*Cardium corallinum*, *Nerinea Mosæ*, *N. Bruntrutana*, *N. subcylindrica*, etc.) sont spécifiquement identiques avec des espèces coralliennes, et dont plusieurs autres constituent à peine des variétés stationnelles. Le même fait se reproduit à trois niveaux différents, en plein étage kimméridien, où se trouve ainsi intercalée, jusqu'à trois fois, la même faune corallienne.

**La nature du milieu minéral semble quelquefois étrangère à l'extinction des fossiles.** — Néanmoins il se présente des cas où la nature du milieu minéral semble étrangère à l'extinction des fossiles. On voit souvent une espèce, d'abord très-abondante, s'arrêter à mesure qu'on s'élève dans la série sédimentaire, et disparaître sans retour à partir d'un certain niveau, sans qu'on puisse en attribuer l'extinction à la nature de la roche, qui n'a pas changé. J'ai constaté un grand nombre de disparitions semblables dans les assises calcaires du terrain jurassique supérieur des environs de Montbéliard ; et des faits analogues ont été signalés partout, notamment dans le terrain silurien de la Suède. En pareil cas, ce n'est point, assurément, la nature du milieu, non plus que des substances toxiques ou des bouleversements violents qui ont amené l'extinction définitive des espèces, puisqu'on ne découvre rien de

particulier dans la composition des assises, et qu'un grand nombre d'autres espèces, qui vivaient dans le même lieu et dans les mêmes bancs, ont continué de se propager au delà du niveau qui marque la fin des premières. On se sent donc porté à admettre que l'espèce a un terme fatal, comme l'individu.

**Distribution des fossiles dans les assises.** — Absolument parlant, les fossiles sont très-inégalement et très-irrégulièrement distribués dans les assises. En général, les débris usés, roulés ou remaniés en occupent la base, où ils sont confusément entassés ; mais cela n'est pas constant. Les fossiles en place se trouvent plus également répartis dans l'épaisseur des bancs ; néanmoins ils forment souvent des agglomérations à divers niveaux et à divers emplacements, surtout quand il s'agit d'espèces sociales. Telle assise, stérile à sa base, devient subitement fossilifère à une certaine hauteur ; telle autre, qui a débuté par une richesse extraordinaire, se montre bientôt d'une stérilité désolante pour le collectionneur. On observe, en un mot, une diversité qui ne peut être comprise que par ceux qui ont fait de fréquentes études sur le terrain et qui ont beaucoup cassé de pierres. Cordier pensait que tous les fossiles et tous leurs détritiques ne forment pas la cinq-centième partie de la portion sédimentaire de l'écorce solide.

**GISEMENT DES FOSSILES DANS LES BASSINS.** — Voici encore une étude fort importante, et pour laquelle l'observation des phénomènes contemporains est d'un puissant secours. Si, en effet, nous connaissions parfaitement le genre de vie et les habitudes des animaux marins de notre époque, ainsi que leur distribution suivant la latitude, la température, la profondeur, la nature du fond, etc., un seul fossile en place pourrait nous renseigner sur les mêmes choses, et nous faire comprendre certaines conditions de la vie sous-marine dans le passé. Réciproquement, si l'aspect et la nature d'une couche nous montrent clairement dans quelles circonstances elle a été formée, nous saurons si elle renferme ou non des fossiles, et souvent, quelles familles et même quelles espèces on peut espérer d'y rencontrer. Comme la plupart des animaux marins ont vécu et se sont éteints dans l'assise même qui les renferme (il est bon de le répéter), ce sont les plus sédentaires, et surtout les mollusques et les zoophytes, qui fournissent les renseignements les plus précieux. C'est donc bien à tort qu'on a voulu faire jouer le premier rôle aux vertébrés terrestres, et en particulier aux mammifères, qui ont toujours été enfouis, on peut l'affirmer, loin des lieux où ils ont vécu, et qui ne

sont pas toujours rigoureusement contemporains des assises où l'on en trouve les débris. Aussi l'étude des animaux sous-marins est-elle maintenant en grande faveur, et, depuis quelques années, a-t-on entrepris, à l'étranger, de véritables expéditions scientifiques destinées à faire mieux connaître le fond des océans et les habitudes de leur population. J'ai déjà indiqué les principaux résultats de ces recherches, et j'y reviendrai dans la suite, car l'importance en est extrême. Elles ont fait modifier considérablement les anciennes idées. Beaucoup de points, regardés comme bien établis, seront probablement contestés et même démentis quelque jour; aussi, dans ce qui va suivre, me bornerai-je aux résultats les plus généraux.

**Stations des animaux marins.** — Sous le rapport de la *station*, on peut établir les catégories suivantes :

1° *Animaux côtiers.* — Ce sont principalement les polypiers qui construisent les récifs côtiers; beaucoup de zoophytes et de bryozoaires; les mollusques acéphales, et, en particulier, ceux qui perforent les pierres; les gastéropodes en général; les céphalopodes à osselets; la plupart des annélides et des crustacés; beaucoup de poissons, appartenant à des genres particuliers; puis les animaux terrestres qui parviennent accidentellement dans la mer, et dont les débris ne sont jamais entraînés bien loin. La ligne même du rivage est fréquemment indiquée par l'abondance des serpules et par les perforations des coquilles lithophages.

2° *Animaux des hautes mers.* — Ce sont, en général, les animaux nageurs et tous ceux qui sont doués de puissants moyens de locomotion, tels que les méduses, les ptéropodes, les céphalopodes à coquille extérieure, beaucoup de poissons, d'oiseaux et de cétacés. Pendant longtemps on a pensé que les hautes mers ne pouvaient renfermer que de rares débris; et la stérilité de certains massifs était une forte présomption pour qu'on les supposât formés loin des rivages, et, en tout cas, dans des eaux profondes. Quoique cela soit vrai en général, nous avons aujourd'hui beaucoup modifié nos idées, depuis que nous savons, par les dragages des naturalistes anglais et américains, que non-seulement les infusoires et les foraminifères, mais encore les brachiopodes et beaucoup de mollusques et de zoophytes se rencontrent quelquefois en abondance dans les mers profondes, et à de grandes distances des côtes.

3° *Animaux des fonds rocheux et des récifs.* — Ce sont surtout les polypiers, les serpules, les balanes; puis les mollusques fixés au sol ou pourvus d'un test épais, orné, résistant, ou tout au

moins élastique et difficile à briser. En effet, les animaux habitant les rochers et les récifs sont exposés à des ballottements et à des chocs incessants; aussi leurs coquilles présentent-elles souvent des traces de frottements et de percussions. Après les polypiers et les serpules, les animaux qu'on rencontre habituellement dans ce genre de station sont les bryozoaires, les crinoïdes, les échinodermes globuleux, les térébratules, les arches, les canes, les trichites, les limes, les peignes, les huîtres épaisses, les turbos, les murex, les nérinées, etc.

4° *Animaux des fonds vaseux et sablonneux.* — Ce sont, en général, les animaux non fixés au sol, et dont la coquille offre peu de résistance; par exemple, les polypiers non adhérents, les échinodermes spatangoïdes, plusieurs térébratules, les huîtres minces, les moules, les isocardes, les tellines, les panopées, les pholadomyes, les chemnitzies, les céphalopodes à rostre et à osselet, beaucoup de crustacés, les poissons à dents en pavé; c'étaient autrefois les reptiles marins du lias.

**Aspects ou facies.** — La combinaison des caractères fournis par la composition minéralogique des assises, par leur apparence, leur structure, leur gisement, leur mode de formation et leur faune fossile, se traduit par un certain nombre d'*aspects* particuliers, que Gressly a pour la première fois signalés et décrits dans le Jura. Il leur donne le nom de *facies*. Les mieux caractérisés sont les suivants :

1° *Aspect littoral ou côtier.* — Les assises sont minces, moins rigoureusement parallèles que plus au large, quelquefois un peu ondulées et comme enchevêtrées les unes dans les autres, souvent perforées par les pholades. Leurs éléments ont un volume très-inégal; usés et roulés pour la plupart, ils forment des roches souvent meubles ou peu cohérentes, dans lesquelles les matériaux de l'appareil littoral viennent se confondre avec ceux de la sédimentation mécanique et plus rarement de la sédimentation chimique. Les coquilles roulées et brisées y abondent, et souvent le sable n'est composé que de leurs fragments. Les fossiles pullulent, parce que le littoral est infiniment plus peuplé que la haute mer. Les débris des animaux côtiers et de beaucoup d'animaux terrestres se rencontrent dans les mêmes assises, les uns (ce sont surtout ceux des fonds vaseux et sablonneux) intacts et d'une conservation irréprochable, les autres usés, roulés et fragmentés.

2° *Aspect océanique.* — Les assises sont régulières, puissantes, homogènes, formées de matériaux fins, le plus souvent d'origine

chimique. Les calcaires compactes dominent de beaucoup, et les assises marneuses d'origine mécanique, qu'on remarque fréquemment dans les zones littorales, font place à des banes calcaires. C'est ce qu'on peut observer avec beaucoup de netteté dans le Jura central. Les fossiles sont rares et isolés, mais souvent de grande taille. Il est bon d'ajouter que l'aspect océanique ainsi caractérisé ne se rencontre pas aussi habituellement qu'on pourrait l'imaginer, parce que, le plus souvent, les mers anciennes avaient peu de profondeur, et nourrissaient, à de grandes distances des rivages, une population nombreuse et variée.

3° *Aspect pélagique.* — Intermédiaire entre les deux précédents, il participe de l'un et de l'autre, et se rapproche de l'aspect littoral ou de l'aspect océanique suivant l'emplacement, par rapport aux anciens rivages, de l'assise que l'on considère. Grossly admettait encore d'autres nuances, qu'il indiquait au moyen de la particule *sub* (facies *sublittoral*, *subpélagique*, etc.).

4° *Aspect corallien.* — La roche est toujours calcaire, blanche, obscurément stratifiée et presque massive, habituellement oolitique, quelquefois un peu crayeuse; elle est en grande partie formée de coraux en place et de leurs détritiques; les serpules, les nérinées, les turbos, les dicérates et autres fossiles des récifs y abondent, ainsi que leurs débris roulés et fragmentés.

5° *Aspect vaseux.* — La roche est argileuse, marneuse ou argilo-calcaire, plus ou moins sablonneuse, en banes minces et souvent feuilletés; elle renferme tous les fossiles des fonds vaseux, généralement en place et bien conservés. La faune est au moins aussi riche que celle des récifs.

6° *Aspect de charriage.* — La roche est de diverse nature, mais le plus souvent calcaire ou arénacée, avec galets et fragments de toute espèce. Rarement complets et jamais en place, les fossiles sont usés, roulés, éparpillés au hasard; beaucoup, provenant de stations fort différentes, se trouvent ordinairement rapprochés et confondus. L'aspect de charriage peut trahir l'emplacement d'anciens courants; néanmoins, la réserve est d'autant plus obligatoire, dans les conjectures qu'on serait tenté d'émettre, que parfois les zones littorales offrent des caractères analogues.

Souvent il est question, dans les ouvrages, d'aspect (ou facies) *marin*, *d'eau douce*, *lacustre*, *fluviale*, *fluvio-marin*, etc.; toutes expressions que l'on comprend sans qu'il soit besoin de les définir.

## § 4. — CLASSIFICATION DES TERRAINS DE SÉDIMENT.

**Classification des terrains de sédiment.** — Les terrains de sédiment consistent donc en une immense succession de couches de toute origine, de toute nature, de toute apparence, de toute épaisseur, entassées les unes sur les autres en stratification concordante lorsqu'elles n'ont pas été déplacées, mais souvent brisées, morcelées et diversement enchevêtrées. Leur série complète n'existe sans doute nulle part ; mais on est parvenu à l'établir, malgré les lacunes et les interruptions, parce que les assises qui manquent dans une contrée se retrouvent ailleurs, et qu'il est toujours facile de les intercaler, par la pensée, à la place où elles font défaut. De cette manière, on a reconnu que les assises sédimentaires, supposées horizontales et réunies en totalité dans un même lieu, atteindraient au moins l'énorme épaisseur de 45 000 mètres. Il est donc indispensable d'établir des divisions dans cet ensemble, beaucoup trop considérable pour être embrassé d'un seul regard.

Quelle doit être la base des divisions, ou, en d'autres termes, de la classification des terrains de sédiment ? Après bien des tâtonnements, on donne aujourd'hui la préférence à la paléontologie. Une classification rationnelle ne pourrait, en effet, reposer sur la nature minéralogique des assises, puisque leurs matériaux constitutifs alternent de la manière la plus capricieuse, et qu'on trouve à tous les niveaux de la série des sables, des grès, des argiles, des calcaires. L'intercalation fréquente des terrains d'eau douce dans les terrains marins constitue le plus souvent des accidents locaux et en quelque sorte fortuits, et ne peut être prise en considération. Un instant on a pensé tirer un grand parti de la stratigraphie ; mais depuis qu'il est bien reconnu que les mouvements du sol se sont manifestés pour ainsi dire à chaque moment, tantôt ici, tantôt là ; depuis qu'on sait qu'ils ont eu lieu sans que la vie ait été interrompue, et que les catastrophes marquées par l'anéantissement absolu de la population du globe, et suivies d'une rénovation complète, n'ont guère existé que dans l'imagination des théoriciens, force a été de renoncer à cette illusion. Si, dans une certaine partie de la terre, un changement de faune coïncide avec un mouvement du sol, il y a lieu de s'en applaudir ; mais on ne saurait établir une classification sur des indices aussi fragiles. Souvent, en effet, des discordances viennent interrompre des assises appartenant

évidemment à un même ensemble, et que, par conséquent, on n'a aucune raison de séparer.

Par élimination, la paléontologie reste donc maîtresse du terrain. Ce serait pourtant une grande erreur de croire à son infailibilité. Les mêmes espèces fossiles n'ont pas commencé et ne se sont pas éteintes partout en même temps ; leur ordre de succession paraît même différer dans des contrées éloignées ; et quelquefois des faunes contemporaines sont tellement disparates, qu'il est extrêmement difficile d'en établir la simultanéité. Au lieu de se trouver cantonnées dans des assises d'où elles n'étaient autrefois autorisées à sortir qu'à la condition de changer de nom, les espèces fossiles se croisent et se mêlent de mille manières dans le sens vertical. Si, en tel endroit, une faune se termine à un certain niveau, un grand nombre de ses espèces s'élèvent davantage plus loin, et se mêlent aux fossiles de la faune subséquente, inconnus dans la première localité. Ce n'est donc qu'avec beaucoup de précautions qu'on peut faire usage des fossiles pour établir les grandes divisions des terrains ; les résultats n'ont rien d'absolu, et l'on n'arrivera sans doute jamais à une classification applicable, sans modifications profondes, à toutes les parties de la terre. Néanmoins, comme les espèces fossiles sont innombrables, qu'elles existent partout et qu'elles se sont remplacées un très-grand nombre de fois, chacune d'elles fournit, en somme, une bonne caractéristique de l'époque où elle vivait, et, jusqu'à présent, on ne connaît aucun moyen plus exact et plus commode d'établir la chronologie géologique. On est donc aujourd'hui d'accord pour classer les terrains de sédiment d'après leur ancienneté relative, déterminée par les fossiles qu'ils renferment.

**Espèce fossile.** — Ces derniers se reconnaissent à leur espèce, ou, en d'autres termes, ce sont les *espèces* fossiles qu'il importe de distinguer les unes des autres. Mais on est loin de s'entendre à cet égard, et les discussions de tous les jours sur l'origine, la valeur et les caractères de l'espèce rempliraient des volumes et forment déjà toute une littérature. Je me garderai bien de m'engager dans le débat pour mon compte particulier ; mais je dois tenir le lecteur au courant de la question, et je le ferai aussi brièvement que possible.

**L'espèce en histoire naturelle.** — Il faudrait d'abord définir l'*espèce* zoologique et botanique. Cependant je me dispenserai de ce soin, une pareille définition étant, à mon avis, inutile et même

impossible. Elle est inutile, parce que, pour rester exacte, elle doit se tenir dans des termes si généraux qu'on peut tout aussi bien l'appliquer au genre ou à la famille; elle est impossible, parce qu'elle n'aboutit pas, et que les plus longues définitions ne font point comprendre ce que c'est que l'espèce à des personnes qui ne le savent pas. J'aime mieux m'expliquer au moyen d'exemples, et dire que, dans un champ de seigle, tous les pieds appartiennent à la même espèce; que si, dans une prairie, il y a du trèfle ordinaire et du trèfle incarnat, tous les pieds du trèfle ordinaire forment une espèce et tous ceux du trèfle incarnat en forment une autre. De même, tous les chevaux, tous les ânes, tous les zèbres, représentent l'espèce cheval, l'espèce âne et l'espèce zèbre; et ces trois espèces sont différentes, tout en faisant partie d'un même *genre*.

**L'espèce existe-t-elle ?** — Il semble donc que, l'espèce une fois bien comprise, rien ne soit plus facile que de distinguer celles qui composent les règnes organiques, et d'assigner des limites à chacune d'elles. Mais ici commence ou plutôt continue la difficulté. L'espèce existe-t-elle ? C'est ce que nient beaucoup de naturalistes. Rien de plus difficile, en effet, que la détermination des espèces. Cela tient à ce qu'elles n'ont pas toutes la même valeur, et qu'elles ne sont pas toutes également caractérisées. Dans certains cas, les formes se montrent nettes, tranchées, et les marques distinctives surabondent; plus loin, on les aperçoit à peine; ailleurs, les passages sont tellement nombreux, et deux types distincts sont rattachés par une si grande quantité de formes intermédiaires, qu'on ne sait absolument où commencent et où finissent les espèces, et qu'on est fort embarrassé de leur assigner des limites. Par exemple, les espèces de singes anthropomorphes et d'éléphants sont extrêmement distinctes; celles du genre cheval et du genre chat le sont moins; celles du genre chien et du genre ours, en zoologie, et en botanique celles des genres *Thalictrum*, *Polygala*, *Rosa*, *Rubus*, *Hieracium*, *Mentha*, etc., deviennent presque impossibles à circonscrire. Plus frappés des rapprochements que des différences, beaucoup de naturalistes se croient donc autorisés à soutenir que l'espèce n'existe pas. Ils ne reconnaissent que des *formes* se fondant les unes dans les autres. D'après eux, certains types ne paraissent distincts que parce qu'ils ont été isolés par des interruptions de la série; mais les lacunes se combent peu à peu, grâce aux découvertes de la paléontologie, de telle façon que si tous les êtres qui ont apparu ou qui apparaîtront sur la terre exis-

taient au même instant, on n'apercevrait aucune solution de continuité.

Voyons ce qu'il faut penser de cette doctrine. Certes, la paléontologie a rempli beaucoup d'intervalles ; mais rien ne prouve que tous les vides disparaîtront. Il serait au moins délicat de préjuger l'avenir, et de spéculer sur les apparitions futures, s'il s'en manifeste jamais. Nous savons d'ailleurs que les êtres ne forment point une chaîne continue, mais bien des groupes isolés, parallèles ou reliés de diverses manières ; ce qui rend peu probable l'hypothèse de la fusion des espèces les unes dans les autres. Sans doute elles ont une valeur fort inégale ; il existe même des groupes, tels que les rosiers, où l'on n'a pu encore saisir tous les types spécifiques : mais est-ce une raison pour en nier l'existence ? Le problème est donc indiqué plutôt que résolu, et il y aurait témérité à émettre une opinion tant que les preuves feront défaut. Cependant on croit posséder un caractère infailible de l'espèce dans la reproduction sexuelle. Très-souvent les unions entre espèces différentes sont impossibles ou stériles. D'autres fois elles donnent des hybrides absolument stériles, comme les mulets ; ou des hybrides stériles après un petit nombre de générations ; ou enfin des hybrides féconds, d'une variété de forme souvent désordonnée, pour me servir de l'expression de M. Naudin, à qui l'on doit cette découverte. Mais, dans le cas de fécondité indéfinie, les produits hybrides se rapprochent de plus en plus des espèces qui les ont créés, et, après quelques générations, ils ressemblent tellement à l'un ou à l'autre des parents, qu'on ne peut les en distinguer. Il y a donc retour complet à l'un des types. On dirait qu'une barrière infranchissable ait été mise entre les espèces, qui ne peuvent donner des êtres intermédiaires durables, et, par conséquent, passer de l'une à l'autre par voie de reproduction sexuelle. Une exception, jusqu'à présent unique, l'*Ægilops speltæformis* Jord. vient, en quelque sorte, confirmer la règle, puisque cette hybride, indéfiniment fertile sans altération de forme, ne peut se reproduire que par les soins de l'homme, ainsi que l'a démontré M. Godron. Ce qui donne encore de l'importance au critère de la reproduction sexuelle, c'est que l'impossibilité de procréer des intermédiaires durables existe souvent entre des espèces beaucoup plus rapprochées, en apparence, que ne le sont les simples races, fertiles entre elles, d'une seule et même espèce. Il y a certainement moins de différences organiques entre le cheval et l'âne, qu'entre le levrier et le bouledogue ou les

innombrables races de pigeons domestiques. Je dois cependant déclarer que les expériences d'hybridation ne sont point encore assez nombreuses pour qu'on ose ériger en principe une doctrine en faveur de laquelle il n'existe que de fortes présomptions. La question est donc encore pendante ; néanmoins, dans l'état actuel de nos connaissances, il semble infiniment probable qu'un intervalle infranchissable sépare les espèces, en apparence les plus voisines, et que, par conséquent, l'espèce existe.

**Dans quelle mesure on peut se servir de la paléontologie. —**

Au fond, et dans la pratique, cette certitude importe peu au géologue : il suffit qu'il puisse distinguer sûrement et infailliblement un certain nombre de formes bien caractérisées, sans qu'il ait à se préoccuper de leur qualification. Or, ces formes abondent à tous les niveaux, on pourrait presque dire dans toutes les couches, si l'on considère les choses un peu en grand. Je ne veux pourtant pas dissimuler que, dans les détails, le géologue rencontre les mêmes obstacles que le zoologiste et le botaniste. C'est que les espèces fossiles se trouvent exactement dans les mêmes conditions que les espèces vivantes, et qu'aussi bien que ces dernières, elles sont caractérisées à divers degrés. Les races et les variétés existaient autrefois comme de nos jours, et dans de pareilles limites, le même plan de structure s'appliquant aux êtres de toutes les époques. Si donc on ne peut déterminer avec certitude les espèces de plusieurs groupes de plantes ou d'animaux vivants, à plus forte raison en est-il de même quand on s'adresse aux fossiles, dont les parties les plus essentielles ont quelquefois disparu. Les térébratulés, les pholadomyes, les trigonies, les nérinées, certains groupes d'ammonites, sont aussi difficiles à distinguer et à spécifier que les genres les plus ardu de la zoologie et de la botanique actuelles. L'existence bien constatée de races et de variétés au temps jadis augmente encore les difficultés, et contribue à embrouiller bien des questions : car il est souvent difficile de décider si telle forme est une espèce distincte ou une simple variété. Dans le premier cas, elle acquiert, comme caractéristique d'un terrain, une importance beaucoup plus grande que si elle n'est qu'une variété, et peut autoriser des séparations d'étages auxquelles on n'aurait osé songer autrement. Et comme nous sommes tous influencés à divers degrés par nos idées préconçues, il est impossible que, malgré les intentions les plus droites et le désir le plus sincère de rester dans le vrai, nous ne nous trouvions portés à considérer tel fossile comme espèce ou

comme variété, suivant les besoins de la cause. On comprend que, sur un pareil terrain, les discussions deviennent interminables. Heureusement, je le répète, les difficultés ne se présentent que dans les détails, car il existe, à toutes les époques, et, par conséquent, à tous les niveaux, dans la série des terrains de sédiment, de nombreuses et d'excellentes caractéristiques pour en établir les divisions les plus importantes.

**Ce que l'observation révèle relativement aux causes de l'apparition et de l'extinction des espèces.** — J'ai dit que les espèces se succèdent et se remplacent incessamment dans la série sédimentaire, se croisent et s'enchevêtrent de diverses manières. Le plus intéressant peut-être, mais le plus insoluble de tous les problèmes du ressort de l'histoire naturelle, aurait pour objet de découvrir les causes de l'apparition et de l'extinction des espèces. Tout ce que l'observation nous révèle, c'est que chacune d'elles s'est montrée subitement, quelquefois en individus nombreux, à un certain niveau, et qu'après une période de développement maximum elle a disparu sans retour, à un autre niveau. La fin ressemble au commencement : tantôt l'espèce s'éteint brusquement à partir d'une couche où elle pullule ; tantôt ses représentants deviennent de plus en plus disséminés, jusqu'au niveau où l'on cesse de les rencontrer. Les espèces apparaissent par groupes ou isolément, selon les lieux et les terrains, et s'effacent de même ; enfin leur durée varie extrêmement, les unes, qu'on pourrait qualifier d'éphémères, ne se montrant que dans une seule couche, les autres se propageant sans modification dans une énorme série d'assises. Souvent aussi on remarque des intermittences plus ou moins nombreuses dans le développement numérique d'une espèce, qui présente ainsi plusieurs maxima ; mais cette particularité semble dépendre principalement de la nature du milieu et de la composition minéralogique des strates fossilifères. Je dois ajouter que la même espèce n'a pas la même durée sur tous les points du globe, et qu'elle s'éteint plus tôt dans tel endroit que dans tel autre. Ainsi, les mastodontes, qui avaient disparu de l'ancien continent à la fin de l'époque tertiaire, ont continué à se propager dans le nouveau pendant l'époque quaternaire. Mais il me semble qu'au point de vue de l'espèce on ne doit pas attacher une grande importance aux faits de cette nature, qu'on commence à signaler en grand nombre dans toute la série sédimentaire. Ils paraissent, en effet, dépendre de phénomènes physiques et de circonstances

locales. C'est ainsi que le loup, depuis longtemps exterminé dans la Grande-Bretagne, existera sans doute encore pendant bien des siècles sur le continent. Il en est de l'apparition comme de la disparition. Le niveau auquel on commence à rencontrer une espèce déterminée peut varier suivant les contrées. L'explication la plus vraisemblable, c'est que l'espèce, ayant apparu quelque part, s'est répandue de proche en proche, et, par conséquent, a débuté d'autant plus tard dans la série sédimentaire, que les assises où on la rencontre se trouvent plus éloignées de son centre de dispersion. On doit rejeter toute autre hypothèse, notamment celle d'apparitions simultanées ou successives de la même espèce dans des lieux différents; car s'il est une vérité bien établie, c'est que les espèces n'ont été produites qu'une seule fois, et que jamais une forme éteinte n'a reparu. En résumé, toute espèce a commencé et fini quelque part, et n'a duré qu'un temps déterminé.

**Hypothèses relatives à l'origine des espèces.** — Voilà, je le répète, tout ce que nous apprend l'observation. Il est donc absolument impossible, en ce moment du moins, de remonter aux causes de l'apparition et de l'extinction des espèces; et je terminerais ici une discussion à peine commencée, et désormais sans objet, si je ne tenais à exposer l'état actuel d'une question qui excite vivement la curiosité, et qui a toujours passionné les meilleurs esprits. Deux hypothèses principales se trouvent en présence: celle de la *transformation des espèces* et celle des *créations successives*. D'après la première, toutes les espèces dérivent, par transformation, d'un petit nombre de types extrêmement simples, d'un seul peut-être, par lequel la vie a débuté sur le globe; d'après la seconde, chaque espèce a été créée séparément et de toutes pièces, et ne provient pas plus d'une espèce antérieure qu'elle ne donne elle-même naissance à une espèce subséquente.

Au premier abord les deux hypothèses paraissent invraisemblables à un égal degré. Si notre esprit se refuse absolument à admettre qu'une plante ou un animal puisse apparaître subitement dans un lieu déterminé où rien n'existait auparavant, il est tout aussi difficile d'imaginer que la matière inerte ait eu la puissance d'engendrer, par ses propres forces, les innombrables organismes que nous voyons autour de nous, et qu'elle leur ait donné l'intelligence et la vie. Il faut donc entrer plus avant dans le débat et examiner les principales assertions émises de part et d'autre.

Les partisans de la doctrine des créations disent que les deux règnes organiques se composent de types spécifiques ou *espèces* plus ou moins caractérisées, il est vrai, mais toujours séparées les unes des autres par un espace infranchissable, et, par conséquent, ne passant jamais de l'une à l'autre. Les seules transformations qu'on ait observées ne donnent naissance qu'à des *racés* et à des *variétés*. Jamais on n'a vu une espèce se changer en une autre. Par conséquent chaque espèce a été créée par un acte spécial, isolément et pour son propre compte.

A ces assertions, dont quelques-unes paraissent fondées, les *transformistes* (pour être de fabrication défectueuse le mot n'en a pas moins son utilité) opposent des arguments de deux natures, consistant, soit en vues générales et en spéculations *à priori* (adaptation au milieu, lutte pour la vie, sélection naturelle, etc.), soit en exemples de transformations. Souvent plausibles, les premières ne sont guère que des présomptions hypothétiques, et ne conduisent à aucun résultat certain; et les seconds (je veux parler des exemples) intéressent au point de vue de la formation des races, mais ne laissent pas même apercevoir, d'une manière éloignée, la possibilité du passage d'une espèce à une autre. Ils ne portent, en effet, que sur des créations de variétés et des métamorphoses de races, toutes choses bien connues et que personne n'a jamais songé à contester. En supposant (ce qui n'est pas) qu'on pût citer des cas bien authentiques de transformations d'espèces, on aurait encore à prouver qu'ils rentrent dans une loi générale; et, pour cela, il faudrait au moins désigner clairement, et sans contestation possible, la filiation complète d'une espèce vivante, en indiquant toutes les formes qui la séparent du type primitif dont elle dérive. Or, il est à craindre qu'on n'arrive jamais à un pareil résultat; et cependant, pour qui ne veut pas se payer d'hypothèses et de probabilités, c'est la moindre des exigences.

En apparence plus sérieux, les arguments tirés des organes-témoins (stylets du pied du cheval, etc.), de l'atavisme et de l'état embryonnaire n'ont pas, au fond, plus de valeur, les faits cités indiquant tout aussi bien l'unité de plan que la filiation. Il serait difficile de trouver un meilleur exemple d'organes-témoins que les mamelles atrophiées et inutiles des mâles; et cependant personne n'imaginera que les mâles aient été jadis des femelles.

A défaut de mieux, plusieurs naturalistes se sont évertués à découvrir quelques tronçons de la série des formes successives d'une

espèce, et même à indiquer le prototype des mammifères ou de telle autre classe. Mais il resterait à combler les intervalles, souvent énormes, qui séparent les membres de ces tronçons, et à rechercher les types de ces prototypes. Que nous sert, en effet, de supposer que les chevaux descendent des *Hipparion*, des *Anchitherium* et des *Palæotherium*, si nous n'avons pas les formes intermédiaires et si les ancêtres des *Palæotherium* demeurent inconnus? A quoi bon désigner telle forme de poissons comme souche des mammifères, si les ascendants de ces poissons et la descendance qui les rattache aux mammifères ne sont pas désignés? Ces tâtonnements, ces hypothèses, prouvent seulement une chose qui n'a jamais été mise en doute, savoir l'unité de plan, la gradation et la ressemblance des principaux types de certains groupes naturels. De là à la démonstration de la descendance, il y a loin.

Mais, disent souvent les transformistes, la paléontologie nous réserve bien des surprises, et si l'on n'a pas encore trouvé toutes les formes intermédiaires, on les découvrira quelque jour. A cela, je répondrai d'abord que la raison me semble petite. Je ferai ensuite observer que, s'il reste beaucoup à trouver, l'expérience du passé enseigne ce qu'on peut attendre de l'avenir. Rien n'autorise à supposer que les investigations futures modifient jamais, d'une manière notable, l'état actuel de nos connaissances. S'il existe des moyens termes entre deux genres voisins, c'est, évidemment, dans les lieux mêmes où ces genres ont vécu. Les formes intermédiaires sont certainement représentées par des types variés, passant insensiblement du plus ancien au plus récent des deux genres; car on ne peut admettre qu'un animal à cinq doigts, par exemple, en produise, du premier coup, un autre qui n'en a que trois. Il y a donc de nombreuses dégradations, et chacune a fourni elle-même une très-grande quantité d'individus, autrement l'extinction d'une seule forme de passage aurait arrêté et terminé la série. Mais jusqu'à présent on n'a rien trouvé. A tous les niveaux de la série géologique, on voit, au contraire, apparaître brusquement et sans préparation une foule de types qui ne sont annoncés par aucun avant-coureur. Je citerai, par exemple: les crinoïdes, les gastéropodes, les nautilides, les trilobites, les poissons, les oiseaux, les mammifères ordinaires, et, parmi ces derniers, les carnivores, les proboscidiens, et les quadrumanes. On est donc en droit de nier l'existence des moyens termes; car il serait vraiment extraordinaire que les terrains qui ont si parfaitement conservé les moindres

débris des types, n'eussent gardé aucune trace des intermédiaires. Dans la série si souvent citée des *Palæotherium*, des *Anchitherium*, des *Hipparion* et des chevaux, malgré toutes les dégradations de formes et d'organes, les différences sont d'ordre générique, et partant infiniment plus considérables que celles qui séparent l'espèce cheval de l'espèce hémione, entre lesquelles on cherche en vain des passages. Je me résume en disant que tant qu'on n'aura pas prouvé la métamorphose d'une espèce en une autre, je suis en droit de la nier. Le doute, ou plutôt la négation est d'autant plus permise, que les faits dont il a été question, relativement à la reproduction sexuelle entre espèces voisines, autorisent à penser qu'un intervalle infranchissable existe entre les types spécifiques, si rapprochés qu'ils paraissent au premier abord. Si jamais les présomptions qui résultent des expériences de croisement déjà connues deviennent une loi générale, la doctrine des transformations recevra une atteinte dont elle se relèvera difficilement.

Mais il est temps de clore cette discussion déjà longue. Je conclurai en disant que, jusqu'ici, les preuves font défaut aux transformistes, et que les faits semblent donner plutôt raison à leurs adversaires. Dans l'état actuel de la question, se déclarer partisan de l'une ou de l'autre hypothèse, c'est donc faire acte de foi, et non de raisonnement. Laissons à l'avenir la solution du problème, si tant est qu'il y en ait une, et revenons à la géologie.

**Précautions à observer dans le choix des fossiles caractéristiques.** — Chaque espèce, ai-je dit, est caractéristique du terrain où elle existait, et où elle a laissé des débris fossiles. Cependant il importe de faire un choix ; car il y a des fossiles rares ou mal conservés ou mal caractérisés, et alors faciles à confondre avec des formes analogues d'un autre terrain. Autant que possible, on s'attachera donc aux fossiles qui se présentent dans des conditions opposées, et qui sont abondants, bien caractérisés et bien conservés. Si l'espèce est *sociale*, ou, en d'autres termes, si les individus qui la composent vivaient en sociétés nombreuses, comme par exemple certaines huîtres, certaines astartes, il n'en vaut que mieux. Les groupes ou associations d'espèces sont également préférables aux fossiles isolés ; car on ne rencontre jamais ces agglomérations qu'à des niveaux bien connus, tandis qu'une seule espèce, et même un groupe peu nombreux se trouvent assez souvent en dehors de leur zone habituelle. Plus on recueille de fossiles dans une assise, plus on est certain de son emplacement dans la série.

Un autre motif de se méfier des espèces isolées, c'est qu'elles proviennent quelquefois d'un terrain plus ancien ayant subi des remaniements, et que, par conséquent, elles peuvent induire en de graves erreurs. Il faut également ne pas se presser de conclure de faits douteux ou paraissant exceptionnels, et ne pas craindre de suspendre tout jugement jusqu'à ce que les nuages soient complètement dissipés; autrement on s'expose à se tromper et à tromper son prochain de la meilleure foi du monde, sauf à publier ensuite des rectifications indispensables mais souvent douloureuses.

**Horizons paléontologiques; horizons géologiques; centres de dispersion.** — Ces niveaux ou, autrement, ces assises caractérisées par une association constante des mêmes fossiles, sont appelés *horizons paléontologiques*. Par extension, on dit quelquefois *horizons géologiques*. Les horizons constituent de précieux points de repère; car il suffit d'en reconnaître un seul pour être immédiatement renseigné sur son âge relatif et sur l'emplacement, dans la série sédimentaire, de toutes les assises du massif qui le renferme. Cependant, si l'on explore une contrée fort éloignée des types européens, il ne faut pas plus se hâter de conclure d'un seul horizon qu'il n'est permis, dans un bassin particulier, de se décider à la vue d'un seul fossile. Si, en effet, les horizons paléontologiques changent et se succèdent incessamment dans le sens vertical, ils se transforment également dans le sens horizontal. C'est qu'il a existé en tout temps sur le globe des *centres de dispersion* ou des *provinces organiques* analogues aux centres actuels. Longtemps nié, ce fait a été mis hors de doute par les travaux les plus récents, et notamment par les recherches persévérantes de M. Barande, qui a prouvé qu'à l'époque silurienne, c'est-à-dire presque au début de la vie sur le globe, les animaux des mers qui occupaient l'emplacement des États-Unis, du pays de Galles, de la Suède et de la Bohême appartenaient, pour la plupart, à des espèces différentes. Je crois avoir montré que la faune du terrain jurassique supérieur, et surtout le groupement des espèces, c'est-à-dire les horizons géologiques, varient beaucoup, non-seulement du bassin méditerranéen à celui du sud-ouest de la France ou au bassin anglo-parisien, mais encore du pourtour oriental au pourtour occidental de ce dernier. Nous avons vu d'ailleurs que la même faune ne s'est point manifestée partout au même instant, mais qu'elle s'est étendue de proche en proche autour de son centre de dispersion; de sorte que les mêmes espèces, et quelquefois les mêmes horizons ne sont pas toujours

rigoureusement contemporains. C'est ce qu'on remarque, si l'on compare la faune jurassique de l'Europe occidentale avec celle de l'Inde, de l'Australie et du Chili.

**Sondages dans les mers profondes.** — Les sondages récemment opérés dans les mers profondes par les naturalistes anglais et américains ont produit des résultats assez surprenants pour que nous soyons obligés de redoubler de circonspection quand nous sommes appelés à interpréter certaines découvertes de la paléontologie. Si, en effet, il demeure établi que la boue à globigérines de l'océan Atlantique n'est que de la craie en voie de formation, et qu'elle renferme plusieurs espèces vivantes identiques avec des espèces fossiles de la craie blanche, la période crétacée, depuis longtemps terminée à la surface des continents et sur leurs rivages, continue d'exister dans le fond de certaines mers, et se trouve ainsi contemporaine de la période actuelle. M. Carpenter est même porté à admettre l'identité d'un type vivant de foraminifère découvert dans cette boue à globigérines, avec un type fossile de l'époque carbonifère. Dans les mers profondes de l'Angleterre, les sondages ont déjà enrichi la faune des mollusques de cette contrée de cent dix-sept espèces (près du quart), parmi lesquelles cinquante-six absolument nouvelles et sept que l'on ne connaissait qu'à l'état de fossiles tertiaires. Mais le résultat le plus intéressant a été obtenu par MM. Carpenter et Gwin-Jeffreys, qui dirigeaient les sondages du *Porc-épic* à l'ouest de la péninsule Ibérique. A des profondeurs variant de trois cents à mille quatre-vingt-quinze brasses, ces naturalistes signalent le plus singulier mélange de mollusques et de rayonnés du Spitzberg et des mers polaires, de la Norvège, de l'Amérique du Nord, de l'Angleterre, de la Sicile, avec beaucoup d'espèces inédites et plusieurs autres que l'on ne connaissait qu'à l'état fossile, soit dans le crag de l'Angleterre et le terrain subapennin de la Sicile et de la Calabre, soit dans la craie corallienne et le calcaire corallien de la Belgique. Un seul coup de drague, par 40 degrés de latitude nord et 9° 50' de longitude ouest a fourni, le 20 juillet 1871, cent quatre-vingt-six mollusques brachiopodes, acéphales et gastéropodes et quatorze ptéropodes. De toutes ces espèces, quatre-vingt-onze vivent ailleurs dans les mers actuelles, vingt-quatre n'étaient connues qu'à l'état fossile et soixante et onze sont absolument inédites. Ces exemples suffiront pour démontrer l'enchevêtrement des faunes, si opiniâtrement nié par un grand nombre de naturalistes. Ce sont, il est vrai, des faits encore exceptionnels; mais ils devien-

dront peut-être la règle, et, en tout cas, le géologue doit en tenir compte.

Pendant sa campagne de 1871 et 1872, M. Agassiz a recueilli dans le fond de l'océan Atlantique, le long des côtes de l'Amérique du Sud, des animaux marins tout à fait inconnus, se rapportant à des types secondaires et même paléozoïques. Je citerai, entre autres, des spongiaires appartenant aux genres *Cnemidium*, *Syphonia*, *Scyphia*, qu'on croyait éteints; un *Pentactinus* et un *Rhizocrinus*; un *Micraster*; un *Pecten* très-voisin du *P. paradoxus* du lias, type d'un sous-genre tout à fait caractéristique; un crustacé (*Tomocaris Percei*) qui rappelle d'une manière remarquable les trilobites siluriens.

Les sondages ont encore prouvé que, dans les zones tempérées, les animaux marins appartiennent à des types d'autant plus boréaux qu'on les recueille à des profondeurs plus grandes. Aux niveaux où la température avoisine le zéro du thermomètre, la faune est celle des mers polaires. Il existe donc une zone glaciale sous-marine à faune boréale; et sans doute cette faune s'étend, du côté de l'équateur, aussi loin que la vie n'est pas empêchée par l'accroissement de la profondeur. Toutes les fois que le géologue voudra déterminer le climat d'une époque d'après la flore et la faune sous-marines, il devra donc essayer de reconnaître, sous peine de se tromper du tout au tout, à quelle profondeur vivaient les espèces sur lesquelles il spéculé.

**Comment on doit établir les divisions d'un terrain.** — On ne saurait trop se pénétrer de cette vérité, que les divisions et subdivisions d'un terrain ne sont rigoureusement applicables que dans les lieux mêmes où elles ont été établies, et qu'elles doivent subir des remaniements en rapport avec les modifications des faunes. A mon avis, la règle la plus sage, c'est de prendre pour types, à toutes les époques géologiques, les localités les plus riches en fossiles. En s'éloignant ensuite de ces centres organiques on constate l'appauvrissement graduel dans les faunes, dont les espèces s'associent quelquefois d'une manière différente, tandis que certains horizons persistent çà et là avec une remarquable uniformité; et l'on cherche à conserver le plus longtemps le fil conducteur qui permet de se diriger dans un certain rayon. Puis, quand l'ordre des choses a changé d'une manière notable, que les horizons fossilifères ne sont plus discernables ou se présentent autrement, qu'en un mot la classification cesse d'être applicable, on s'efforce de découvrir le centre organique de la province où l'on vient d'entrer,

afin d'y établir les divisions qui conviennent à cette contrée. La comparaison de tous les centres pris pour types conduit, en dernier lieu, à la connaissance complète du terrain. Le temps n'est plus où l'on pensait que les types de France et d'Angleterre se reproduisaient invariablement sur tout le globe, à toutes les époques ; et c'est à peine si l'on accorde aujourd'hui que les espèces avaient autrefois une aire ou surface de dispersion plus étendue, en raison de la plus grande uniformité de la température.

**Horizons minéralogiques ou pétrographiques.** — Quoique sujette à varier dans le sens horizontal, la nature minéralogique des assises fournit quelquefois des caractères précieux, que le géologue se garde bien de dédaigner. Pour être moins étendus, les *horizons minéralogiques*, encore appelés *pétrographiques*, l'emportent souvent en nombre et en netteté sur les horizons paléontologiques, et fournissent des points de repère singulièrement appréciés dans les lieux et aux niveaux où manquent les fossiles. Quel est le jurassien qui se soit jamais mépris en rencontrant le *calcaire à entroques*, la *grande oolite*, la *dalle nacrée*, les *chailles* oxfordiennes, la *vergenne* corallienne, le *calcaire jaune* néocomien ? Il est bon de dire cependant que les horizons minéralogiques peuvent changer du tout au tout à des distances fort rapprochées, et que leur étude ne rend de véritables services que dans des contrées limitées. Mais il arrive infailliblement que le géologue sédentaire se laisse diriger aussi sûrement et plus rapidement par l'aspect des assises, que par la recherche et la détermination des fossiles.

**Nomenclature géologique.** — Encore mal établie, et variant au gré des auteurs, la *nomenclature* géologique, ou la manière de dénommer les terrains est encore à créer. Sans doute on n'arrivera jamais à un langage précis, comparable à celui de la chimie, lequel est d'ailleurs insuffisant ; mais il serait peut-être à désirer qu'on s'entendît davantage sur le choix et la valeur des expressions. Ce qui est un *terrain* ou une *formation* ou un *système* pour l'un, devient un *étage* pour un autre, une simple *assise* pour un troisième. Les noms assignés aux divisions sont indifféremment tirés de la contrée où elles paraissent le mieux caractérisées (terrain *silurien*, terrain *jurassique*), de la localité (étage *oxfordien*, marnes d'*Hauterive*), de la nature des roches (terrains *crystallins*, formation *crétacée*), des détails de la structure (grès *bigarré*, marnes *irisées*), des produits utiles qu'elles fournissent (terrain *houiller*, étage des *meulères* de la Brie), du rang qu'elles occupent dans la série

(terrains *secondaires, tertiaires*), de l'ancienneté relative de leur faune (terrain *paléozoïque, néozoïque*), des fossiles caractéristiques (calcaire à *gryphées, marnes à astartes*), de dénominations locales (*lias, faluns*), enfin des considérations les plus diverses (terrain *pénéen, du trias, éocène*). Il y aurait convenance à appliquer aux grandes divisions des noms régionaux (terrain silurien, terrain jurassique); à celles de moindre importance des noms locaux (étage oxfordien, étage cénomanién); aux subdivisions, des noms tirés des principaux fossiles (calcaire à dicéras, marnes à ptéroceres). Il serait également bon d'établir une nomenclature des termes au moyen desquels on désigne les divisions des différents ordres, et qui fût comparable à celle de la zoologie et de la botanique (règnes, embranchements, classes, ordres, tribus, familles, genres, espèces); mais ce serait sans doute une tentative prématurée. Cependant, je crois qu'on pourrait ainsi graduer les expressions, du général au particulier : 1° *époques* ou *périodes* (paléozoïque, mésozoïque); 2° *terrains* ou *formations* ou *systèmes* (jurassique, crétacé, etc., dans l'époque mésozoïque); 3° *étages* (oxfordien, kimmeridien, etc., dans le terrain jurassique); 4° *groupes* (astartien, virgulien, dans l'étage kimmeridien); 5° *sous-groupes* (calcaire à dicéras, marnes à virgules, etc., dans le groupe virgulien). Dans un sous-groupe on peut distinguer des *assises*, dont quelques-unes constituent souvent des horizons particuliers, puis les simples *feuillets* des couches. Je dois pourtant avouer que, dans la pratique, l'absence de toute nomenclature régulière est sans inconvénient, dès qu'on s'exprime de manière à éviter toute équivoque. L'essentiel est de se faire bien comprendre; et il importe peu, au fond, de dire *système, terrain, formation, étage, groupe, sous-groupe, assise* des marnes à astartes, le qualificatif indiquant toujours suffisamment ce qu'on a en perspective. C'est donc plutôt au point de vue de la méthode et de la régularité qu'à celui de l'utilité, qu'on peut aujourd'hui réclamer une nomenclature géologique, et je n'insisterai pas davantage à cet égard.

**Valeur des divisions actuelles des terrains sédimentaires. —**

Les grandes divisions de la série sédimentaire représentent autant d'époques de l'histoire du globe. Aussi les désigne-t-on fréquemment sous le nom d'*époques géologiques*. De tous les détails qui précèdent, il ressort que ces divisions et les époques correspondantes ne se succèdent jamais brusquement, mais qu'elles passent de l'une à l'autre, de même qu'un événement historique se rattache à quelque

fait précédent et en amène d'autres à la suite. Aujourd'hui la doctrine des cataclysmes et des rénovations périodiques n'est plus qu'un souvenir du passé. Les limites entre les époques, et, partant, les niveaux des grandes divisions de la série sédimentaire ont été établies, autant que possible, de manière à réunir dans un même ensemble une suite de couches dont la faune et la flore présentent des caractères communs, et se sont développées dans des conditions analogues ; mais cela ne veut pas dire que toutes les périodes aient eu la même durée. A peu près arrêtées et définitives pour l'Europe occidentale, les divisions primaires subiront probablement quelques modifications dès qu'on voudra les appliquer à des régions éloignées ; et il en sera de même, à plus forte raison, de leurs subdivisions. Rien ne fait supposer qu'en Europe même elles soient jamais appelées à éprouver des remaniements de quelque importance, ni que les découvertes paléontologiques conduisent un jour à augmenter le nombre des époques ou même celui des terrains. Plus vraisemblablement il s'opérera des réductions pour ces derniers. Les limites sont, en général, d'autant plus nettes, que les divisions ont plus d'importance. Ainsi, les passages de fossiles ne s'observent qu'assez rarement d'une époque à une autre ; plus habituels de terrain à terrain, ils ne sont pas rares d'étage à étage, et constituent la règle générale quand on descend aux groupes et aux sous-groupes. Il en résulte que les divisions sont d'autant plus naturelles qu'elles embrassent un plus grand nombre de couches. On ne peut cependant établir aucune règle absolue, parce que les passages d'espèces entre les groupes, les étages, les terrains, etc., sont plus ou moins abondants selon les contrées et les époques.

**Tableau de la classification des terrains sédimentaires.** —

Je me bornerai à donner ici le tableau de la classification des terrains de sédiment, telle qu'elle est généralement admise pour l'Europe occidentale, me réservant d'exposer plus tard l'histoire abrégée de chaque époque. Les étages ont été disposés d'après l'ordre de leur formation, de sorte que le tableau ci-après représente exactement la superposition des assises, les plus élevées étant les plus récentes.

Époques ou périodes.	} Néozoïque.	}	/ Terrain	<i>contemporain.</i>
			—	<i>quaternaire.</i>
	} Mésozoïque.	}	—	<i>tertiaire.</i>
			—	<i>crétacé.</i>
			—	<i>jurassique.</i>
			—	<i>du trias.</i>

Époques ou périodes.	}	Paléozoïque.	}	Terrain .	<i>permien.</i>
				—	<i>carbonifère.</i>
				—	<i>devonien.</i>
				—	<i>silurien.</i>
		—		<i>laurentien.</i>	
		Azoïque.		—	. . . . .

## CHAPITRE IV

### TERRAINS ÉRUPTIFS

**Terrains éruptifs.** — On désigne ainsi les terrains ignés qui sont venus, à diverses reprises, percer les couches primordiales ou sédimentaires et se répandre au dehors. Ce sont les *roches éruptives* et les *filons*. On connaît aussi des terrains éruptifs d'origine aqueuse, tels que les *argiles sidérolitiques*, les *pacos* et les *colorados* de l'Amérique. Ces derniers consistent en éruptions argileuses et ferrugineuses avec minéral d'argent et pyrites, le tout disposé en bassins circonscrits, analogues à ceux du fer en grains de nos contrées. Je n'ai rien à ajouter ici aux détails dans lesquels je suis entré relativement à l'origine des argiles et des fers; les éruptions aqueuses n'étant qu'une des phases de la sédimentation chimique, et leurs produits ne se distinguant que parce qu'ils se sont accumulés dans des dépressions peu étendues et sans communication avec les mers. Ce chapitre sera donc divisé en deux paragraphes seulement, consacrés l'un aux roches éruptives et l'autre aux filons.

#### § 1. — ROCHES ÉRUPTIVES.

**Enclaves transversaux, massifs, cônes, coulées, dykes.** — Ces roches constituent des *enclaves transversaux*, des *massifs*, des *cônes*, des *coulées* et des *dykes*. Les premiers affleurent sur des espaces étendus dans toutes les directions (fig. 114); les massifs se présentent comme des collines d'un médiocre relief, ordinairement allongées dans un sens (fig. 115); les cônes forment les dômes et les pitons décrits précédemment; les coulées s'étendent en nappes horizontales ou peu inclinées, et suivent la pente du terrain sous-jacent;

enfin, les dykes s'élèvent à la manière de murailles à peu près verticales, et établissent un passage entre les roches éruptives et les filons (fig. 116).

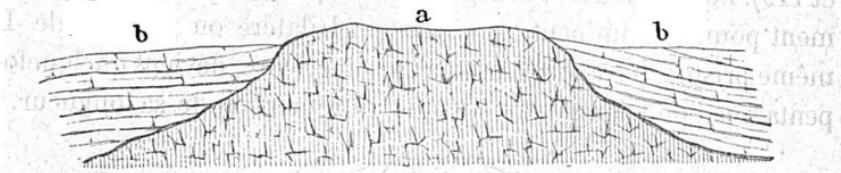


Fig. 114. — Enclave transversal granitique. — a, granite ; b, roche encaissante.

**Structure des roches éruptives.** — Toujours massive et sans délit, la *structure* de ces roches présente néanmoins des accidents

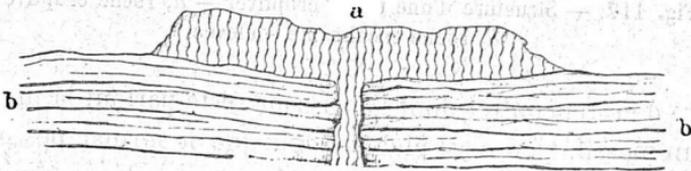


Fig. 115. Massif porphyrique. — a, porphyre ; b, sous-sol géologique.

assez nombreux. Nous savons déjà qu'elles sont morcelées et fendillées, au point qu'on trouve difficilement des carrières fournissant

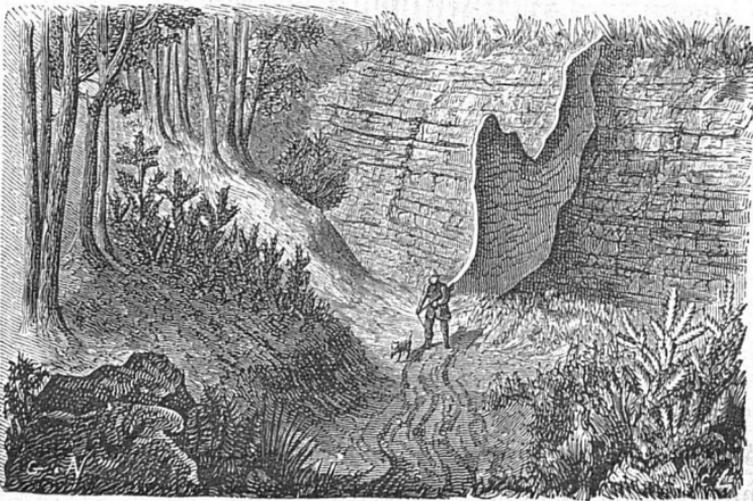


Fig. 116. — Dyke.

des monolithes de grande dimension. Les fissures proviennent de *dislocations* ou de *retrait*. Les premières affectent toutes les directions et s'entrecroisent de la manière la plus irrégulière dans les massifs, qu'elles divisent en fragments de toute forme et de toute grandeur

(fig. 117). Au contraire, les fissures du retrait sont disposées avec une certaine symétrie, et fractionnent les massifs en prismes allongés et volumineux, dirigés normalement à la surface extérieure (fig. 118 et 119). Le plus souvent hexagonaux, ces prismes ont assez fréquemment pour base un pentagone, un quadrilatère ou un triangle. Le même prisme, hexagonal à sa partie supérieure, devient quelquefois pentagonal ou triangulaire sur une autre portion de sa longueur. Il

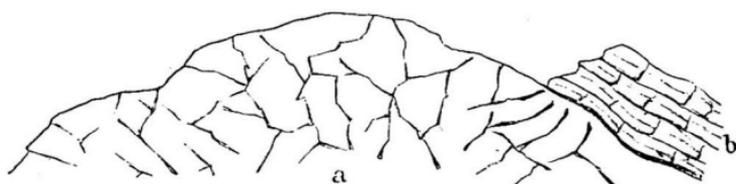


Fig. 117. — Structure d'une roche éruptive. — *a*, roche éruptive ;  
*b*, roche encaissante soulevée.

est rare d'en rencontrer dont l'épaisseur reste partout la même, et, dans un massif, rien n'est plus variable que le format des prismes juxtaposés. J'ajouterai que leur affleurement à la surface du sol, et, partant, leur section perpendiculaire à l'axe présente la même

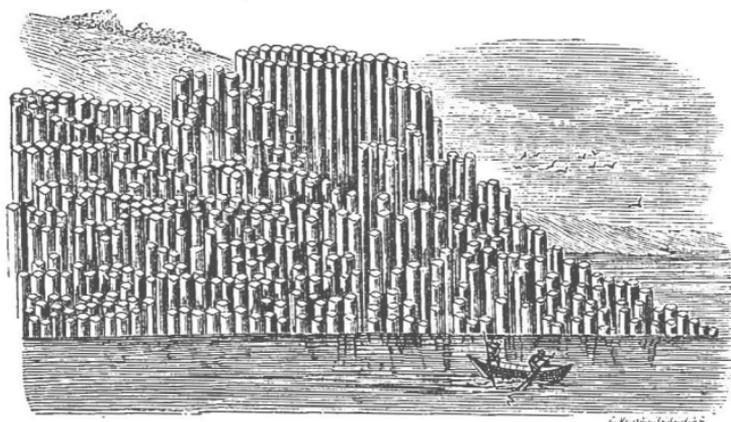


Fig. 118. — Colonnes basaltiques.

irrégularité, et que, si les hexagones dominent, les figures d'un nombre de côtés moindre ne sont pas rares. Aucun de ces hexagones ou de ces quadrilatères n'est régulier ; et la dimension des angles varie aussi bien que celle des côtés, puisque le même espace contient les figures géométriques les plus diverses réunies sans le moindre intervalle. Rarement les côtés des polygones sont parfaitement rectilignes ; par conséquent les surfaces exté-

rieures des prismes ne sont presque jamais planes. Dans un massif, il n'y a certainement pas deux prismes exactement pareils. Je dois

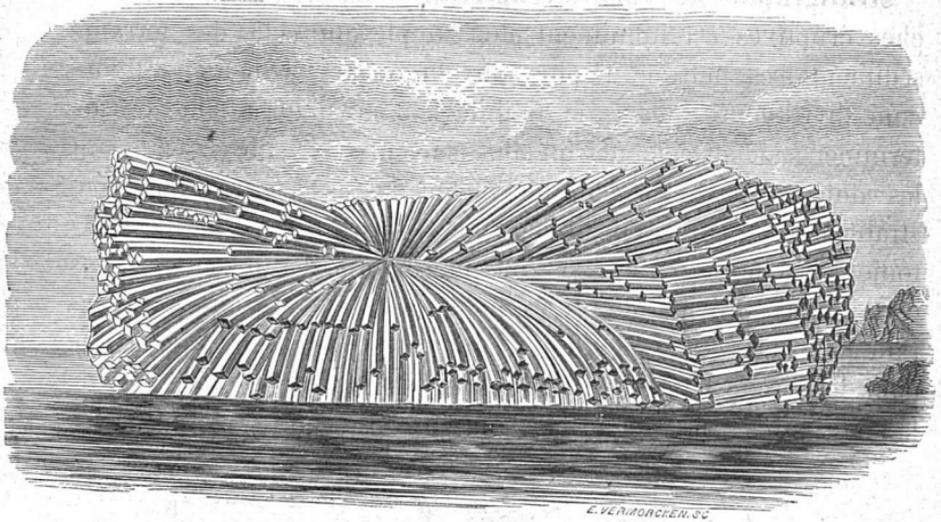


Fig. 119. — Écueil de basalte de Trezza.

beaucoup insister sur ces détails, car on a tiré des conséquences exagérées de la disposition en hexagones des fissures de retrait de certaines roches ignées : c'est ce que je montrerai bientôt (fig. 120).

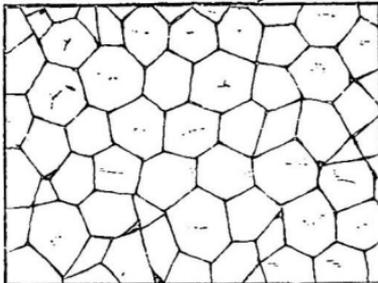


Fig. 120. — Surface d'une coulée basaltique divisée en prismes.

#### **Relations des roches éruptives avec les roches encaissantes.**

— En général, les roches éruptives constituent des massifs nettement séparés des roches encaissantes, qu'elles traversent dans une direction à peu près verticale. Quelquefois cependant elles sont injectées en veines ramifiées dans l'épaisseur des autres terrains, dont elles remplissent les fissures, ou encore elles s'étendent horizontalement entre les assises sédimentaires, au milieu desquelles on les voit disposées en couches à surfaces parallèles, affectant toutes les allures des strates formées au sein des eaux. L'Écosse et la Bohême

offrent de nombreux exemples de ces deux modes d'intercalation (fig. 124).

**Stratigraphie des roches éruptives.** — La *stratigraphie* des roches éruptives est infiniment plus simple que celle des terrains sédimentaires, puisque, le plus souvent, on ne voit aucun joint, aucune division en couches, et qu'il devient ainsi impossible de déterminer les déplacements qu'elles peuvent avoir subis. Cependant les coulées de laves forment quelquefois des assises superposées et stratifiées à la manière des roches de sédiment; mais il n'est pas toujours facile de décider si l'inclinaison qu'elles affectent, dans certains cas, provient de soulèvement ou du relief primitif du terrain à la surface duquel elles se sont épanchées. Ce n'est donc que dans des circonstances exceptionnelles que les règles ordinaires de la stratigraphie sont applicables aux terrains éruptifs, dont l'âge se

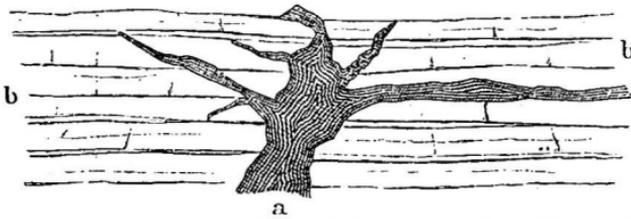


Fig. 124. — Roche éruptive injectée dans une roche sédimentaire.  
a, roche éruptive; b, roche sédimentaire.

détermine le plus souvent par leur action sur les roches en contact et par leur disposition relativement à ces dernières.

**Lois stratigraphiques.** — En ce qui concerne les terrains éruptifs, on peut formuler les lois suivantes, qui s'expliquent par leur énoncé même :

1° Une roche éruptive est plus récente que le terrain qu'elle a brisé ou soulevé.

2° Une roche éruptive est plus récente que le terrain qu'elle recouvre, qu'elle empâte ou dans les fissures duquel elle s'est injectée.

3° Une roche éruptive est plus récente que le terrain dont elle renferme les débris.

4° Une roche éruptive est plus récente que le terrain auquel elle a fait subir des altérations.

5° Une roche éruptive est plus ancienne que le terrain qui en renferme les débris.

6° Une roche éruptive intercalée en couches régulières dans un terrain de sédiment est contemporaine de ce terrain; elle est plus récente que la couche sur laquelle elle repose, et plus ancienne que celles qui la recouvrent.

**Âge relatif des roches éruptives.** — C'est en appliquant les uns ou les autres de ces principes, selon les lieux et les circonstances, qu'on est parvenu à déterminer l'*âge relatif* des roches éruptives. Cet âge aurait pu être établi absolument parlant, et en ne considérant que les roches ignées ; mais on a préféré les rattacher aux terrains sédimentaires avec lesquels elles se trouvent en relation. De cette manière, la chronologie des roches éruptives se trouve indiquée avec une extrême précision ; et l'on y gagne de pouvoir les rapporter aux époques et même aux formations et aux étages de même date. Voilà pourquoi la connaissance des terrains de sédiment doit précéder celle des terrains éruptifs. Ce n'est pas ici le lieu de nous livrer à l'étude de ces derniers, car elle appartient à la géologie descriptive ; et je dois me borner à des indications générales concernant les catégories de roches les plus importantes, en faisant toutefois observer que la même roche éruptive a presque toujours surgi à plusieurs reprises et à des intervalles de temps inégaux.

1° *Roches granitiques.* — Ont apparu dès l'époque du refroidissement du globe, et se sont montrées, avec interruptions assez longues et assez fréquentes, jusque vers le commencement de l'époque tertiaire. Les éruptions granitiques paraissent d'autant plus importantes qu'elles sont plus anciennes ; elles abondent dans le terrain carbonifère, mais elles deviennent fort rares à partir de l'époque mésozoïque.

2° *Roches porphyriques.* — Suivent de près les précédentes, et finissent presque au même moment. Elles ont leur maximum vers la fin de la période paléozoïque.

3° *Roches dioritiques.* — Paraissent commencer après les porphyres, et cessent vers la fin de l'époque tertiaire. Elles ont leur maximum au milieu de cette même époque.

4° *Roches trappéennes.* — On a réuni sous ce nom des produits éruptifs assez divers, dont les uns sont analogues au basalte, et les autres aux porphyres noirs ; aussi n'ai-je pas osé admettre et caractériser une espèce trapp dans la description des roches donnée au chapitre I<sup>er</sup>. Il y a donc là un important problème à résoudre. En attendant, et provisoirement, je me conformerai à la coutume, et je dirai que les produits variés désignés sous le nom de *trapps*, ont apparu dans le terrain silurien, qu'ils s'arrêtent vers la base du terrain tertiaire, et qu'ils ont deux maxima, l'un à l'époque paléozoïque, l'autre à l'époque crétacée.

5° *Roches trachytiques.* — Commencent à l'époque néozoïque,

avec un maximum vers la fin du terrain tertiaire ; s'arrêtent au début des temps actuels.

6° *Roches basaltiques.* — Comme les précédentes.

7° *Roches laviques.* — De même nature que les trachytes et les basaltes, elles en diffèrent parce qu'elles ont été émises par des volcans à cratère, et qu'elles constituent des coulées plutôt que des pitons, des dômes et des massifs tabulaires. Caractérisent l'époque actuelle.

**Roches plutoniques et roches volcaniques.** — Toutes ces roches forment d'ailleurs deux catégories : 1° les *roches plutoniques*, qui comprennent les granites, les porphyres et les diorites ; 2° les *roches volcaniques*, c'est-à-dire les trachytes, les basaltes et les laves. Parmi les produits volcaniques, on distingue les roches *anciennes* (trachytes et basaltes), émises par les volcans sans cratère, et les roches *modernes* (laves), émises par les volcans actuels. Une remarque fort importante au point de vue de la théorie des volcans et de l'histoire de la terre, c'est que, de toutes les roches ignées, les laves modernes sont les seules dont la structure devienne bulleuse et scoriacée, et trahisse, par conséquent, l'intervention des gaz et des vapeurs : toutes les autres sont compactes et homogènes ; de sorte que rien ne dénote que leur émission ait été accompagnée d'un dégagement de fluides aériformes.

**Origine des roches éruptives.** — Il n'y a que peu de choses à dire relativement à l'*origine* des roches éruptives. On sait qu'elles proviennent de l'intérieur du globe, où elles constituent des amas ou des couches dont l'étendue et la profondeur se trouvent sans doute en rapport avec l'abondance de la roche à la surface et son âge relatif. Les phénomènes actuels nous rendent témoins de la sortie des laves, et nous font concevoir les émissions analogues des basaltes et des trachytes, qu'on a souvent appelés *laves anciennes*. La ressemblance entre les coulées volcaniques et celles de la plupart des roches plutoniques ne permet pas de douter que ces dernières n'aient été rejetées de la même manière, à l'état de fusion ignée. Quelques auteurs admettent, il est vrai, des actions moléculaires subséquentes qui en ont souvent modifié la texture par une sorte de métamorphisme ; mais cela importe peu en ce moment, et tant que l'hypothèse ne reposera pas sur des preuves suffisantes, nous devons nous borner à la mentionner sans nous en préoccuper davantage. L'origine des roches éruptives ne peut faire l'objet d'un doute : elles proviennent de l'intérieur du globe ; et il est infiniment probable qu'elles existent, sans modifications, telles qu'elles sont sorties des en-

trailles de la planète, et qu'ainsi les différences de texture proviennent uniquement de leur composition minéralogique et des circonstances de leur émission et de leur refroidissement. Une roche cependant paraît faire exception : c'est le granite. Il importe d'en rechercher l'origine.

**Origine du granite.** — C'est à la fois la plus ancienne et la plus superficielle des roches ignées. Forme-t-elle le sol primordial, est-elle seulement éruptive, ou bien y a-t-il un granite primordial et un granite éruptif? Voilà autant de questions encore irrésolues, et, sur tous ces points, je n'ai rien à ajouter à ce qui a été dit au chapitre des terrains primordiaux. Cependant, comme il existe incontestablement un granite éruptif, et que toutes les roches de ce nom affectent une composition absolument pareille, c'est ici le lieu de rechercher, non plus le rôle et la provenance, mais bien le mode de formation des roches granitiques considérées en elles-mêmes, abstraction faite de leur origine première. Cette recherche a donné lieu à bien des débats, qui ne sont pas près de finir. Les hypothèses les plus diverses ont été successivement proposées; mais je ne mentionnerai que les plus accréditées.

**Hypothèse de Werner.** — Pour Werner et pour son école le granite a été formé par l'eau. Cette roche passe insensiblement au gneiss, et celui-ci au micacite et au talcite, qui se confondent eux-mêmes avec des terrains évidemment sédimentaires. C'est le premier dépôt effectué au sein du *fluide chaotique*; c'est le *terrain primitif* de cet auteur, qui assigne également aux porphyres et même aux basaltes une origine aqueuse. Aujourd'hui cette hypothèse est tombée en discrédit, car elle est démentie par les faits. Je me dispenserai donc de la réfuter.

**Hypothèse de l'origine métamorphique du granite.** — Je ne mentionnerai également que pour mémoire une deuxième hypothèse, qui fait du granite une roche métamorphique provenant de terrains sédimentaires transformés; non plus que celle qui admet une espèce de métamorphisme réciproque entre le granite et les roches éruptives. Rien n'indique, en effet, que le granite soit du trachyte cristallisé ou que le trachyte soit du granite fondu; et le principal reproche qu'on peut adresser à toutes ces conceptions, c'est qu'elles ne sont que des jeux de l'esprit dont on ne voit pas l'utilité, et qui ne reposent sur aucune preuve sérieuse. Comme la précédente et la suivante, l'hypothèse de l'origine métamorphique du granite est combattue par les arguments qui seront exposés ci-après en faveur de l'origine hydrothermale de cette roche.

**Hypothèse d'Hutton.** — De toutes les théories anciennes, celle d'Hutton a réuni en sa faveur le plus grand nombre de partisans. Elle est encore adoptée par beaucoup de géologues. Frappé de l'analogie qui existe entre la manière d'être des granites et celle des produits éruptifs ; reconnaissant que les uns et les autres se sont insinués en filons et en veines ramifiées dans les fissures de divers terrains ; qu'ils empâtent des fragments de schistes entraînés dans leurs coulées et qu'ils altèrent souvent les roches en contact, Hutton pense que le granite est une roche éruptive ignée, comme les laves et les porphyres.

**Objections.** — En ce qui concerne le mode d'émission, il se trouve évidemment dans le vrai, au moins toutes les fois que la sortie du granite a eu lieu comme il vient d'être dit. La question n'est donc pas de savoir si les granites ont une origine éruptive, mais bien de décider s'ils ont surgi au dehors à l'état de fusion ignée ou de toute autre manière. Certaines particularités de structure et même de composition ont fait, en effet, soupçonner que le granite n'a pu subir une simple fusion à la manière des roches éruptives. Son état cristallin et la séparation si nette de ses éléments minéralogiques paraissent incompatibles avec cette hypothèse. D'un autre côté, Breislak a fait l'importante observation que des trois minéraux constitutifs du granite le moins fusible, c'est-à-dire le quartz, se moule sur les deux autres, dont il empâte les cristaux. Évidemment le contraire aurait eu lieu si la roche avait été liquéfiée par le feu, puis refroidie ; et les explications de Fournet, qui suppose le granite maintenu liquide au-dessous de son point de solidification par une sorte de surfusion, ou celles de Durocher, qui considère ce produit comme une espèce d'alliage fusible dont toutes les parties demeurent liquides au-dessous du point de fusion du quartz et même du feldspath, ne sont que de pures hypothèses. A la théorie de l'origine ignée exclusive du granite, Schœrer adresse une nouvelle objection tirée de l'existence dans cette roche de substances qu'il appelle *pyrognomiques* (silicates de cérium et d'yttria), substances qui auraient perdu leurs propriétés si elles avaient supporté une chaleur dépassant le rouge sombre. Plus récemment, M. Sorby a révélé, dans les éléments des roches granitiques, et notamment dans le quartz, l'existence de cavités microscopiques, qui se comptent par myriades, et qui renferment de l'eau et même des liquides hydrogénés très-volatils, toutes choses paraissant incompatibles avec l'hypothèse d'une fusion ignée antérieure. Enfin, les

expériences ou les observations de MM. de Sénarmont, H. Rose, Daubrée, Sorby, Delesse, etc., démontrent que les minéraux constitutifs du granite ne peuvent s'obtenir, dans les laboratoires, qu'avec l'intervention combinée de l'eau, de la chaleur et de la pression.

**Hypothèse courante.** — Il est donc assez probable que le granite a une origine hydrothermale, c'est-à-dire que l'eau est intervenue pour une grande part dans sa formation. Cette hypothèse se plie à toutes les combinaisons, et peut aussi bien s'appliquer au granite évidemment éruptif qu'au granite primordial, s'il en existe. Dans l'un et l'autre cas, la possibilité du contact avec l'eau n'est pas plus difficile à établir que l'existence de ce liquide dans les laves volcaniques. De même que ces dernières, le granite éruptif, et partant l'eau qu'il pouvait contenir, ont subi une pression considérable. Si l'existence d'un granite primordial est jamais démontrée, on admettra sans peine qu'il a commencé à se solidifier quand les couches extérieures de la planète avaient encore une température fort élevée; qu'il a supporté une énorme pression, puisque toutes les mers faisaient partie de l'atmosphère, alors infiniment plus lourde et plus épaisse; enfin il s'est consolidé en présence de la vapeur d'eau. Quant au granite éruptif injecté en filons et renfermant des fragments d'autres roches, il n'y a pas grand inconvénient à admettre qu'il est sorti de terre à l'état pâteux, à une température élevée, bien inférieure cependant à celle de la fusion du quartz, et qu'il était saturé de vapeur d'eau, comme les laves actuelles. Cependant il ne faut pas se dissimuler que ces vues sont hypothétiques, et que beaucoup de points demandent à être élucidés. L'introduction de divers liquides dans les cavités microscopiques du quartz, et surtout celle de substances pyrognomiques peut s'expliquer, jusqu'à un certain point, par des pénétrations capillaires entre les interstices des cristaux, pénétrations analogues à celles qu'on observe dans les agates. On ne s'explique pas bien non plus comment une roche composée de cristaux distincts, en simple contact, a pu couler et s'injecter dans des fissures fort étroites, à une température où ces cristaux étaient solidifiés; et si l'on admet que le granite s'est répandu à l'état de pâte homogène, on comprend mal que ces éléments aient pu s'isoler aussi parfaitement et cristalliser à la suite d'un refroidissement qui a dû être fort rapide, au moins dans les veines d'injection. La seule chose qui paraisse probable, c'est que le granite est une roche hydrothermale, dont la température initiale était dans certains cas assez élevée pour avoir profondément altéré

les terrains en contact immédiat ; mais il s'en faut de beaucoup que tout ait été dit dans la question qui nous occupe.

## § 2. — FILONS.

On appelle ainsi des masses minérales aplaties provenant de l'intérieur du globe, injectées dans des terrains plus anciens, dont elles remplissent les fissures, en formant des lames planes ou ondulées et plus ou moins ramifiées. Leur épaisseur varie beaucoup ; mais, en règle générale, elle augmente avec la profondeur, puisque chaque filon se trouve en rapport avec la masse minérale intérieure dont il émane. Il y a cependant des exceptions, et l'on connaît des *filons en chapelet* qui consistent en une suite de dilatations et d'étranglements. Les filons s'amincissent à leur partie supérieure, et se terminent ordinairement en coin ou en biseau, par suite du rapprochement des surfaces ; c'est aussi près de leur extrémité qu'ils se ramifient le plus. On a donc pu les comparer à un arbre prenant racine dans les entrailles du globe, et développant près de la surface du sol des branches de plus en plus menues.

Il est assez rare qu'un filon soit rigoureusement vertical. Toutes les fois qu'il offre une inclinaison quelconque, on appelle *mur* la paroi de la roche encaissante sur laquelle il repose, et *toit* la paroi de la même roche qui le recouvre. Ces parois mêmes sont les *épontes*, et les deux faces de la roche injectée, les *salbandes* du filon. Souvent on remarque entre les salbandes et les épontes des solutions de continuité qui ont reçu le nom de *lisières*. Elles sont ordinairement remplies par des matières argileuses ou *traces* du filon, qui persistent quand ce dernier disparaît momentanément, comme, par exemple, dans les filons en chapelet. Quelquefois les surfaces des épontes et des salbandes offrent des places polies et striées par suite de glissements : ce sont les *miroirs* des filons.

appelle *inclinaison* l'angle formé par le plan du filon avec la verticale, et *direction* l'angle formé par son affleurement ou sa section horizontale avec le méridien du lieu. L'*affleurement* lui-même s'élève quelquefois au-dessus du niveau du sol, et forme comme une muraille appelée *dyke* lorsqu'elle a une certaine épaisseur. Il y a donc passage entre les filons et les roches éruptives, qu'on ne distingue pas toujours facilement des filons simplement rocheux.

Dans une région limitée, les filons de même âge et de même nature sont le plus souvent parallèles, ainsi que la plupart de leurs

ramifications ou *veines*. On comprend aisément, en effet, que la force qui a fendu et entr'ouvert l'écorce sur un point, ait produit plusieurs fissures à peu près dirigées dans le même sens, comme les fêlures qu'on obtient en pliant une lame d'argile qui commence à durcir. Si, au contraire, les filons d'une contrée se croisent dans plusieurs directions, à chacune d'elles correspond une nature particulière de substance injectée, et les âges diffèrent pour chaque orientation. Un *filon croiseur* est celui qui traverse, sous un angle quelconque, un autre filon, appelé *filon croisé*. Quelquefois ce dernier se trouve simplement déplacé et refoulé : on dit alors qu'il est *rejeté*. Quand le filon croiseur s'arrête ainsi devant le filon croisé, sans le traverser, il prend le nom de *filon intercepté* (122).

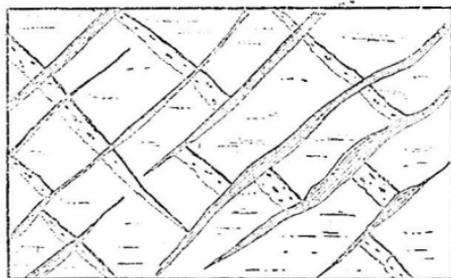


Fig. 122. — Filons croiseurs, croisés, rejetés, interceptés.

**Age et direction des filons : lois.** — L'âge relatif des filons se détermine de la même manière que celui des roches éruptives. Les notions générales concernant l'âge et la direction des premiers peuvent se résumer dans les lois suivantes, promulguées par Werner :

1° Les filons parallèles sont ordinairement contemporains et de même composition.

2° Les filons non parallèles sont ordinairement de composition et d'âge différents.

3° Un filon croiseur ou intercepté est plus récent qu'un filon croisé ou rejeté.

**Origine des filons.** — Sous le rapport de l'origine, M. Élie de Beaumont établit les deux catégories des *filons injectés* et des *filons concrétionnés*. Les premiers sont formés par des substances minérales massives et homogènes, injectées dans les fissures à l'état de fusion ignée ; les seconds, de matières apportées par les sources minérales, et placardées en couches parallèles contre les parois des éponges. Les uns ont une origine ignée, les autres, une origine hydrothermale. Les filons injectés consistent surtout en roches

plutoniques appartenant aux espèces ordinaires, et ne renfermant que rarement des substances métalliques ; souvent ils sont accompagnés de débris de la roche encaissante, formant des *conglomérats de frottement*. Au contraire, les filons concrétionnés consistent en minéraux cristallisés, et sont toujours métallifères.

**Minerai, gangue.** — Dans l'un et l'autre cas, on distingue le *minerai* et la *gangue*. Celle-ci n'est autre chose que la roche éruptive elle-même, dans les filons injectés. Dans les filons concrétionnés, elle est formée par de la silice à l'état de quartz hyalin, d'agate et même de jaspé ; par de la chaux carbonatée spathique, de la dolomie cristallisée, de la fluorine cubique ou concrétionnée, de la barytine en cristaux, quelquefois de fer oxydé ou sulfuré et de l'argile. Dans cette dernière circonstance on dit que le filon est *terreux* ou *pourri*. Ces substances existent tantôt isolément, tantôt réunies, et sont ordinairement disposées en placages concentriques, ainsi qu'il a été dit.

Par le mot *minerai* on désigne toute roche dont on peut retirer un métal ou même une substance utile. Dans l'état actuel des procédés d'extraction, il suffit que la *richesse* d'un filon soit de  $\frac{1}{3}$  en fer,  $\frac{1}{20}$  en zinc,  $\frac{1}{30}$  en plomb,  $\frac{1}{50}$  en cuivre,  $\frac{1}{1000}$  en argent,  $\frac{1}{10\ 000}$  en or, pour que l'exploitation en devienne avantageuse. Le métal provient des eaux minérales qui ont déposé les gangues cristallines ou de sublimations. Ordinairement ces dernières ont été facilitées par des *agents minéralisateurs*, tels que l'oxygène, le soufre, le chlore, l'arsenic, qui servent d'*allège* aux métaux, en leur aidant, en quelque sorte, à s'élever dans les filons. Ils se rencontrent soit à l'état natif (or, platine, iridium, argent, cuivre, bismuth), soit à l'état d'oxydes (manganèse, fer, étain), soit à l'état de sulfures (zinc, fer, antimoine, plomb, cuivre, mercure, argent), soit à l'état de carbonates (zinc, fer, cuivre), soit à l'état de silicates (zinc). On remarque presque toujours une telle relation entre la nature de la gangue et celle du minerai, qu'ordinairement l'une annonce l'autre. Ainsi l'or natif accompagne fréquemment les gangues quartzeuses et ferrugineuses. On observe également des associations à peu près constantes entre certains métaux : par exemple, le platine, le rhodium, l'iridium, sont fréquemment ensemble, de même que l'étain, le tungstène, le molybdène, le titane ; au contraire, l'étain et l'argent semblent s'exclure. Il y a donc entre les matières métalliques des sympathies et des antipathies dénotant que celles qui se plaisent ensemble proviennent des mêmes régions souterraines. Il est

bon d'ajouter cependant que les mêmes règles ne sont pas rigoureusement applicables en tout lieu, et que, suivant les circonstances, les antipathies peuvent se transformer en sympathies, et réciproquement.

**Nature minéralogique des filons.** — Au point de vue de la *composition minéralogique*, il y a des filons *rocheux* ou *pierreux* et des filons *métallifères*. Les géologues s'accordent à subdiviser ces derniers en trois groupes, qui se succèdent de la manière suivante dans l'ordre d'ancienneté, quoiqu'il y ait aussi, comme en toute chose, des passages et des moyens termes.

1° *Filons stannifères*. — Ils sont croisés par tous les autres. On les rencontre à partir des couches les plus anciennes de l'écorce solide, et ils ne semblent pas dépasser l'époque paléozoïque. Caractérisés par l'étain à l'état d'oxyde et de sulfure, ils renferment aussi du zinc, du cadmium, du titane, du tungstène, du molybdène, et, en général, des métaux de densité faible ou moyenne ayant une grande affinité pour le soufre et l'oxygène. On ne connaît pas ces métaux à l'état natif. Ayant apparu les premiers, ils semblent avoir leur gisement profond dans les couches les plus extérieures du globe.

2° *Filons plombifères*. — Un peu postérieurs aux précédents, les filons plombifères s'étendent jusque dans les terrains tertiaires. On y rencontre, avec le plomb sulfuré, l'antimoine, le bismuth, le cuivre, le mercure, l'argent, etc. Ce groupe renferme donc les métaux facilement fusibles, volatils à la chaleur rouge, d'une densité moyenne plutôt forte que faible, et d'une affinité moyenne pour le soufre et l'oxygène. Aussi commence-t-on à les trouver à l'état natif, quoique le plus souvent ils soient combinés avec le soufre, plus rarement avec le chlore ou l'oxygène. On admet qu'ils proviennent des couches moyennes de l'écorce solide.

3° *Filons aurifères*. — Quoique les gisements du Brésil paraissent anciens, on peut affirmer, d'une manière générale, que les filons aurifères sont extrêmement récents. La plupart datent au plus de l'époque tertiaire. On y trouve l'or, l'iridium, le platine, le rhodium et tous les métaux lourds, difficilement fusibles, peu ou point volatils, n'ayant que de très-faibles affinités pour les combinaisons et se rencontrant toujours à l'état natif, fréquemment alliés entre eux. Puisqu'ils sont plus denses que les autres métaux et qu'ils ont apparu les derniers, on imagine que leur gisement réside dans les couches profondes de l'écorce solide.

Le fer, le manganèse, le nickel, le cobalt et le chrome ne figurent

pas dans les trois catégories ci-dessus, parce qu'ils se montrent à toutes les époques, et qu'ils semblent à peu près uniformément répartis dans toute l'épaisseur de l'enveloppe solide de la planète.

---

## CHAPITRE V

### MÉTAMORPHISME

**Métamorphisme.** — On appelle *métamorphisme* toute modification subie par les roches ou les terrains postérieurement à leur formation. Les changements portent sur la composition chimique et minéralogique, la texture, l'aspect, la coloration, la structure, la teneur en cristaux, etc. Ils proviennent tantôt de l'action directe et immédiate des roches éruptives, dans les instants qui en ont suivi l'émission, et alors qu'elles possédaient une température fort élevée; tantôt du contact de vapeurs, d'émanations ou de liquides acides et d'eaux minérales; tantôt de lentes actions moléculaires; tantôt enfin de mouvements du sol. Les *agents du métamorphisme*, ou, en d'autres termes, les causes de la transformation des roches, sont, par conséquent, la chaleur, la pression, l'eau liquide ou en vapeur, les réactions chimiques, les effets mécaniques, et, dans certains cas, assure-t-on, des courants électriques. La chaleur a joué le principal rôle : c'est elle dont l'action est la plus marquée, et dont l'intervention se trahit dans la plupart des cas; mais ce sont les attractions moléculaires, favorisées par la présence de l'eau, par la pression et quelquefois par une température élevée, qui ont, avec l'aide du temps, modifié les plus vastes surfaces. Presque toujours les transformations se sont opérées sur des roches déjà existantes; on cite cependant des exemples d'une sorte de métamorphisme inverse, appelé par Fournet *endomorphisme*, dans lequel la roche encaissante réagit sur la roche injectée dans ses fissures, et lui fait subir diverses altérations. Le métamorphisme est d'ailleurs plutôt une exception qu'une règle générale.

**Métamorphismes divers.** — Au point de vue des résultats, on peut distinguer un *métamorphisme de composition*, un *métamorphisme de texture* et un *métamorphisme de structure*. Dans le premier cas, la nature chimique de la roche a subi des modifications profondes : ainsi

le calcaire se change en gypse, le kaolin en alunite. Dans le second, c'est seulement l'aspect, la coloration et l'arrangement moléculaire qui sont altérés ; par exemple, dans le calcaire compact transformé en marbre sacharoïde, dans l'anhracite transformée en graphite. Dans le troisième cas, la composition et la texture des roches sont respectées, mais les strates et les feuillets se disposent autrement : ainsi les argiles deviennent des schistes ardoisiers.

Sous le rapport de la nature des agents, on peut admettre un *métamorphisme physique* et un *métamorphisme mécanique*. La transformation du calcaire en gypse ou en marbre est du ressort du premier, la production de la schistosité revient au second. On pourrait appeler *métamorphisme spontané* celui qui s'opère à la longue par les seules actions moléculaires, sans aucune intervention étrangère appréciable. Mais, pour beaucoup d'auteurs, il n'y a pas là de métamorphisme.

Enfin, sous le rapport de son intensité et de l'étendue de la zone dans laquelle il s'exerce, on distingue un *métamorphisme de contact* et un *métamorphisme régional*. Dans le premier cas, l'altération n'a lieu que dans une bande assez étroite, au contact immédiat de la roche éruptive ou des autres agents du métamorphisme ; dans le second, elle affecte de vastes surfaces, et doit être attribuée principalement aux actions moléculaires, favorisées par la chaleur centrale.

Comme en toutes choses, il existe des moyens termes ; et souvent on a peine à décider si tel exemple se rapporte à l'une ou à l'autre des catégories ci-dessus désignées. Pour ne parler que du métamorphisme de contact, rien n'est plus variable que l'étendue de la zone affectée. Tantôt la roche encaissante n'est modifiée que sur une épaisseur de quelques millimètres, tantôt l'altération s'étend à plusieurs mètres et même à plusieurs centaines de mètres. Ainsi, les filons de basalte n'ont attaqué le calcaire jurassique de l'Albe du Wurtemberg que sur une mince lisière ; en Irlande, la craie a été rendue cristalline, par certaines coulées de trapp, jusqu'à une distance de 3 mètres ; près de Christiania, en Norvège, le métamorphisme attribué aux enclaves granitiques s'étend à 360 mètres, et dans les Pyrénées, la zone transformée atteint parfois 1500 mètres, d'après Durocher. On passe donc insensiblement au métamorphisme régional, qui se distingue peut-être par le mode d'action des agents, plutôt que par l'étendue des surfaces modifiées.

**Rapport entre les causes et les résultats.** — En général la transformation est d'autant plus complète que les causes du méta-

morphisme ont opéré avec plus d'énergie. Assez habituellement la profondeur de l'altération de la roche encaissante se trouve en rapport avec l'épaisseur des filons et des coulées de la roche éruptive. Ainsi, la craie du nord-est de l'Irlande n'est modifiée que par les filons de trapp les plus puissants. On constate cependant beaucoup d'irrégularités et d'exceptions. Dans l'île de Sky, en Écosse, le lias est altéré par certains filons de trapp et non par d'autres, sans qu'on puisse deviner pourquoi. A Andlau et à Barr, le terrain de transition des Vosges a été profondément modifié par le granite, tandis qu'il demeure presque intact à Wesserling. Une roche en attaque une autre dans un certain lieu, et n'exerce aucune action plus loin, et cela sans cause appréciable. Toutes n'agissent pas non plus avec la même énergie. En général, c'est le granite éruptif qui produit les effets les plus étendus ; mais souvent il ne détermine aucune modification dans les terrains. Ici encore je ne parle que du métamorphisme de contact opéré par les roches ignées, car on peut exactement en apprécier l'action ; mais il est infiniment probable que des irrégularités analogues se produisent dans toutes les circonstances, et quels que soient les agents des transformations.

**Effets du métamorphisme.** — Dans un ouvrage élémentaire on doit s'en tenir aux indications générales. Je n'examinerai donc pas tous les cas de métamorphisme reconnus jusqu'à ce jour, et je me bornerai aux plus habituels, renvoyant le lecteur, pour les détails, aux écrits de Hutton, J. Hall, Léopold de Buch, Durocher, de Sénarmont, Fournet ; de MM. Studer, Élie de Beaumont, Bischof, Sorby, Delesse, et surtout de M. Daubrée, dont les expériences ont jeté une si vive lumière sur le sujet qui nous occupe. Voici les effets du métamorphisme qu'il importe le plus de connaître.

1° *Schistosité.* — C'est la transformation d'argiles en ardoises. Elle provient, comme nous l'avons vu, d'une action purement mécanique de compression et de froissement. C'est le meilleur exemple de métamorphisme de structure que l'on puisse citer. Elle paraît s'étendre non-seulement aux ardoises, mais encore à certains schistes cristallins, et même, d'après M. Daubrée, à certains porphyres. Je n'ai d'ailleurs rien à ajouter à ce qui a été dit précédemment touchant les causes de ce phénomène.

2° *Division prismatique.* — C'est encore une action en grande partie mécanique. Les roches, rendues plus compactes, et quelquefois un peu vitrifiées au contact de coulées éruptives ou de filons qui possédaient une température fort élevée au moment de leur

émission, se sont parfois divisées, par le retrait, en prismes hexagonaux ou de toute autre forme. Absolument comparables à ceux des basaltes, ces prismes se distinguent par leurs dimensions beaucoup plus réduites. On cite des grès, des argiles, des houilles dont la structure a été ainsi modifiée : telles sont, par exemple, les argiles recouvertes par le basalte du plateau de Gergovia, en Auvergne ; telles sont les houilles divisées en prismes, après leur transformation en coke par la domite de Commentry. J'ai vu des morceaux de grès bigarré provenant des hauts-fourneaux d'Audincourt et de Bellefontaine, en partie vitrifiés et fendus en prismes ; ce qui prouve bien que cette structure particulière est la conséquence du retrait.

3° *Division en dalles*. — Je veux parler ici de la division, déjà mentionnée, en dalles minces et sonores, des assises, d'ailleurs fort régulières, de la *dalle nacrée* du Jura central. C'est à la fois un métamorphisme de texture et de structure, la roche consistant presque entièrement en lamelles spathiques brillantes, qui n'ont pu se développer qu'à la suite de lentes actions moléculaires, consécutives au dépôt de la pâte calcaire. Ce n'est point un métamorphisme de contact, puisque la structure et la texture particulières de la dalle nacrée ne proviennent d'aucune réaction extérieure, et que la transformation a été en quelque sorte spontanée. Par l'étendue des surfaces modifiées, l'effet dont il s'agit se rattache au métamorphisme régional. Il conviendrait de dire local, dans le cas particulier. Sans doute, beaucoup de géologues n'admettront pas qu'il y ait métamorphisme ; cependant quel nom donner à cette transformation si profonde opérée après coup ?

4° *Texture cristalline*. — Elle ne se montre guère que dans les calcaires et les dolomies compactes sédimentaires, changés en roches cristallines lamelleuses ou sacharoides. C'est le meilleur exemple de métamorphisme de texture. Suivant la manière dont elle s'est opérée, la production de la texture cristalline revient au métamorphisme de contact ou au métamorphisme régional. Dans le premier cas, c'est la chaleur et la pression des coulées éruptives qui ont modifié l'arrangement moléculaire des roches sur lesquelles elles se sont épanchées, sans en altérer la composition chimique. Les célèbres expériences de J. Hall, qui est parvenu à convertir en marbre de la craie enfermée dans un tube de fer bien scellé et porté à une haute température, ne laissent aucun doute à cet égard. La texture cristalline du calcaire d'Antrim, en Irlande, est due, certainement, à des filons de trapp ; le marbre de Carare n'est que du

calcaire jurassique modifié; les marbres sacharoïdes et lamelleux des Pyrénées proviennent, d'après Dufrénoy, de calcaires de tout âge transformés par le granite et les ophites. De son côté, M. Élie de Beaumont attribue à la réaction des roches granitiques la texture sacharoïde du calcaire jurassique des Alpes de l'Oisans. Il faut sans doute rapporter au métamorphisme régional l'état cristallin de la plupart des calcaires subordonnés aux gneiss et aux micacites; et l'on ne doit pas hésiter à lui attribuer les transformations, plus ou moins complètes, si fréquentes dans les terrains de sédiment inférieurs. La colline du promontoire qui sépare Nice de Villefranche est formée de bancs de calcaires et de dolomies régulièrement stratifiés, n'ayant subi aucune altération, au milieu desquels on remarque des bancs fort réguliers, blancs et sacharoïdes, dont l'état cristallin ne peut être expliqué que par de lentes actions moléculaires, analogues à celles auxquelles est due la texture particulière de la dalle macrée.

5° *Vitrification*.— Par le ramollissement résultant d'un commencement de fusion, les grès et les argiles se transforment, suivant les cas, en quartzite, en thermantide ou en porcellanite, en présence des roches ignées. Ce sont autant d'effets de métamorphisme de contact.

6° *Compacité*. — Une autre réaction des produits éruptifs a eu pour conséquence d'agglomérer et de changer en masses compactes et homogènes des roches meubles ou morcelées. Ainsi le grès est devenu jaspe. D'après M. Daubrée, les schistes argileux des Vosges passent graduellement, sous l'influence du granite et de la syénite, à des eurites compactes, parfois porphyroïdes, et même à des porphyres verts renfermant des cristaux d'anorthite et d'amphibole. On signale de semblables transformations aux environs de Dublin et dans les Ourals.

7° *Carbonisation*. — Les végétaux enfouis dans les terrains de sédiment, et préservés de la décomposition par des causes quelconques, se convertissent, sous l'influence de l'eau, de la pression et d'une chaleur modérée mais longtemps continuée, en combustibles dont la carbonisation est en général d'autant plus complète, qu'ils appartiennent à des époques plus anciennes. On passe ainsi de la tourbe et du bois fossile au lignite, à la houille, à l'anhracite, au graphite. C'est là un fait de métamorphisme local, en grande partie imputable à la chaleur et aux actions moléculaires. Au contact des roches éruptives les mêmes transformations s'opèrent beaucoup plus rapidement, mais seulement sur une lisière assez

étroite. Il arrive même que la houille se change en un véritable coke. Dans ce cas, au lieu d'imprégner le combustible, comme il arrive toujours dans le charbon de terre, les bitumes et le goudron, dégagés par une distillation plus rapide, se sont infiltrés dans les roches voisines. Le graphite d'Omenak, au Groënland, et celui de Java sont dus à des lignites de l'époque tertiaire; celui de l'Écosse et de Worcester, près de Boston, et l'anthracite de cette dernière localité proviennent de houilles transformées; dans les mines de Newcastle, en Angleterre, le charbon fossile a été changé en coke au contact des roches trappéennes.

8° *Pénétration d'éléments étrangers.* — Diverses substances s'insinuent par voie de capillarité, par infiltration, par sublimation ou de toute autre manière, et se mélangent intimement et uniformément à certaines roches, dont elles modifient la composition et quelquefois l'aspect et la texture. Comme exemples on peut citer les calcaires et les schistes bitumineux; les calcaires anciens colorés en noir par des substances charbonneuses; certaines dolomies, celles de Fassa et de Lavina, notamment, qui proviennent, assure-t-on, de calcaires injectés de magnésie dans le voisinage de massifs éruptifs, etc.

9° *Formation de cristaux étrangers.* — Au contact des roches ignées, les minéraux les plus divers apparaissent souvent dans les roches métamorphiques, en cristaux fort nets et fort nombreux. On peut citer le calcaire cristallin de la Somma du Vésuve, si riche en minéraux variés; celui du Kayserstuhl, rendu lamellaire par le basalte, et rempli de cristaux de quartz, d'apatite, de pyrochlore, de pérowskite, de mica magnésien, de pyrite et de fer oxydulé titanifère; les schistes du Harz, qui sont chargés de mica, de feldspath, de tourmaline, de chlorite et de grenat dans le voisinage du granite. Ce sont autant d'effets de métamorphisme de contact. On admet que, sous l'influence d'une grande pression et d'une forte chaleur, les éléments des minéraux cristallisés se sont associés, soit qu'ils aient existé précédemment dans la roche métamorphique, soit qu'ils y aient été introduits grâce au dérangement moléculaire qu'elle a subi pour passer de l'état compacte à l'état cristallin. Telle est certainement la double origine des espèces minérales dont les cristaux remplissent les gneiss, les micacites, les talcites et les calcaires subordonnés. La texture particulière de toutes ces roches est généralement attribuée à un vaste métamorphisme régional, dû à l'action combinée de l'eau, de la pression et d'une chaleur modérée émanant des profondeurs du globe. Il est donc vraisemblable que

beaucoup d'éléments minéraux y ont été introduits par l'intermédiaire du liquide. Les curieuses observations de M. Daubrée, qui a trouvé, dans les bétons romains de Plombières, des zéolithes telles que l'apophyllite, la chabasia et l'harmotome, développées sous la seule influence des eaux minérales et d'une faible chaleur, peuvent être invoquées à l'appui de cette supposition. D'un autre côté, les expériences si variées de Berthier, Ebelmen, Durocher, de Sénarmont et de MM. Bischof, Ch. et H. Deville, Caron, Daubrée, etc., ont prouvé que la plupart des minéraux qui se développent après coup dans les roches métamorphiques peuvent être fabriqués dans nos laboratoires, les uns par voie sèche, les autres par voie humide, et que la plupart se forment à une température modérée, sous l'influence de la vapeur d'eau surechauffée. Or, dans le grand laboratoire de la nature, ce n'est ni la matière première, ni le liquide, ni la chaleur, ni la pression, ni le temps qui font défaut.

10° *Épigénie*. — Ce genre de métamorphisme consiste dans la substitution d'une matière à une autre par voie de décomposition chimique. Ainsi le calcaire se transforme en gypse en présence de l'acide sulfurique, parce que ce dernier corps se met à la place de l'acide carbonique; le kaolin se change en alunite; le perchlorure de fer devient le fer sublimé des volcans, etc. Ce cas, ainsi que le suivant, se rapporte au métamorphisme de composition.

11° *Pseudomorphisme*. — C'est une variété de l'épigénie, dans laquelle la transformation s'opère d'une manière toute mécanique, et uniquement par substitution moléculaire, sans qu'il y ait de réaction chimique proprement dite. Le plus souvent c'est un corps d'une forme déterminée, cristal ou fossile, dont la substance disparaît pour être remplacée par une autre à la suite d'une espèce de moulage. Tels sont les cristaux de quartz cubique qu'on trouve à la place de cristaux de fluorine; tels sont encore les ammonites pyriteuses, les polypiers et les arbres silicifiés.

**Action particulière des roches éruptives.** — En ce qui concerne l'action particulière des roches éruptives dans la production du métamorphisme, on doit se borner à des indications sommaires, parce que les exceptions abondent. En général les roches plutoniques produisent des effets témoignant d'une moindre chaleur que les roches volcaniques, et accusant plus souvent l'intervention de l'eau, quoique leur zone d'action soit ordinairement plus étendue. Ainsi, au contact du granite, on n'observe ni fusion, ni vitrification, ni ramollissement, ni division prismatique; les combustibles sont trans-

formés en anthracite et en graphite, jamais en coke, et les minéraux hydratés se développent assez souvent dans l'intérieur des roches.

**Métamorphisme régional.** — C'est à peine si j'ose entrer maintenant dans quelques considérations relatives au métamorphisme régional, qu'il est souvent difficile de distinguer du métamorphisme de contact, et dont les effets se confondent quelquefois avec ceux de la sédimentation. Il en résulte qu'on est loin de s'entendre sur les limites qu'il convient de lui assigner. J'ai déjà dit que pour beaucoup de géologues, la texture et la structure particulières de la dalle naquée du Jura, l'état cristallin de la dolomie de Nice et de beaucoup de roches analogues sont la conséquence de l'action sédimentaire. Le doute est moins permis en d'autres circonstances. Ainsi, les argiles siluriennes des Ardennes ont passé à l'état de schistes, et renferment des minéraux étrangers qui se sont formés après coup. Dans les monts Ourals, le terrain silurien consiste surtout en schistes cristallins, où l'on remarque çà et là des lambeaux fossilifères qui témoignent de la transformation; le calcaire carbonifère, parfaitement intact et souvent crayeux dans le reste de la Russie, y est de couleur foncée, dur et cristallisé. Évidemment il y a là métamorphisme; et ces transformations ne dépendent pas exclusivement de l'action du temps, puisque les schistes des Grisons ne datent pas de loin, et qu'en Russie, en Suède et dans les États-Unis, les roches paléozoïques n'ont ordinairement subi aucune altération. On doit encore remarquer que les terrains métamorphiques dont il est question occupent des régions montagneuses, où le sol a subi de nombreuses dislocations, tandis que les dépôts intacts de la Russie et des États-Unis s'étendent en pays de plaine, et conservent leurs assises parfaitement horizontales.

**Schistes cristallins.** — Le point le plus obscur est celui qui touche aux schistes cristallins proprement dits : *gneiss*, *micacites* et *tal-cites*. Ces derniers passent insensiblement aux roches franchement sédimentaires; quant aux gneiss, on en connaît qui renferment des roches fossilifères ou qui alternent avec des assises de sédiment, par exemple dans le terrain laurentien du Canada, en Écosse, dans les Alpes de Glaris, etc. Évidemment ces gneiss sont métamorphiques. Tout le gneiss se trouve-t-il dans le même cas? On n'oserait l'affirmer, puisque cette roche passe souvent au granite, et que, dans certaines circonstances, on soupçonne qu'elle doit sa structure feuilletée à des actions mécaniques analogues à celles qui ont produit les ardoises. Je suis donc forcé de m'arrêter ici; mais je ne

dissimulerai pas que l'hypothèse de l'origine métamorphique du gneiss semble appelée à gagner du terrain. Il n'y a rien d'étonnant, en effet, à ce que la roche sédimentaire la plus ancienne de toutes et la plus rapprochée du foyer de la chaleur centrale n'ait conservé aucun de ses caractères primitifs. Par le court aperçu qui précède le lecteur peut juger combien est encore obscure la question du métamorphisme : c'est un des plus vastes champs ouverts à l'activité des géologues.

## CHAPITRE VI

### MOUVEMENTS DU SOL

**Mouvements du sol.** — Les déplacements des mers, si nettement accusés par les empiètements ou les retraits de leurs bassins ; l'inclinaison, le bouleversement et la rupture des couches sédimentaires primitivement horizontales ; l'exhaussement des montagnes et beaucoup d'autres indices témoignent des mouvements incessants de l'écorce du globe. Un examen attentif de la disposition des strates fossilifères démontre que ces mouvements ont eu lieu à toutes les époques. Comme on ne peut les apprécier que d'après leurs effets, il est impossible de faire la part, sans doute extrêmement minime, des dérangements stratigraphiques exclusivement occasionnés par les *tremblements de terre*. Obligé par la force des choses à ne pas m'occuper de ces derniers, je diviserai ce chapitre en deux paragraphes seulement, consacrés, l'un aux *mouvements séculaires*, l'autre aux *mouvements orogéniques*.

#### § 1. — MOUVEMENTS SÉCULAIRES.

**Mouvements séculaires.** — On doit comprendre sous ce titre tous les mouvements qui n'ont produit que de vastes ondulations de terrain, en laissant les strates peu inclinées, et tous ceux qui ont porté de grandes surfaces au-dessus du niveau des mers. Le plus souvent la pente des couches est alors tellement faible, qu'on ne peut l'apprécier qu'en suivant long temps une même assise, laquelle paraît horizontale au premier abord, et ne commence à se relever d'une manière sensible que vers les limites du bassin dont elle

fait partie. Telles sont les allures des terrains sédimentaires dans tous les lieux où ils n'ont subi aucun bouleversement ; par exemple aux États-Unis, dans le centre de la Russie, dans le nord-ouest et le sud-ouest de la France, etc.

En étudiant les contours des anciennes mers, ou, ce qui revient au même, l'emplacement des terrains qu'elles ont déposés, on parvient assez facilement à reconnaître les rivages, et l'on voit clairement que les bassins ont subi de nombreux déplacements, qu'on ne peut attribuer qu'aux mouvements séculaires. Tantôt un exhaussement s'est propagé dans une certaine direction, en refoulant peu à peu les mers du même côté ; tantôt il s'est opéré, dans un même bassin, une succession d'affaissements ou de soulèvements qui ont attiré, puis repoussé les eaux. C'est ainsi qu'à l'époque tertiaire le bassin de Paris a été soumis à de nombreuses oscillations ; tandis qu'à l'époque secondaire ou mésozoïque, le sol s'était progressivement élevé, dans le pourtour oriental, au point que les rivages, qui couraient au pied des Vosges au moment où se formait le trias, s'avançaient jusqu'au delà de l'emplacement de Laon, d'Épernay et de Nogent-sur-Seine à la fin de l'époque crétacée.

Ce sont encore les mouvements séculaires qui ont porté les terres fermes au-dessus des eaux, sauf les cas assez rares où des soulèvements de montagnes ont fait apparaître des îles nouvelles. Avec le temps on arrivera sans doute à connaître les emplacements successifs des terres et des mers sur toute la surface émergée de la planète, et, par conséquent, les mouvements qui ont animé l'écorce solide à toutes les époques. Le travail des géologues est assez avancé pour qu'on puisse indiquer assez exactement ceux qui se sont manifestés sur l'emplacement de l'Europe et d'une partie de l'Amérique du Nord et de l'Asie ; mais ce serait sortir des limites que je me suis tracées, de vouloir les signaler, même d'une manière sommaire. Je dirai seulement que les terres fermes ont constamment gagné en surface par des exhaussements fort lents, quelquefois interrompus çà et là par des affaissements momentanés. On en trouvera la preuve dans le dernier chapitre de cet ouvrage, où il est souvent question de l'emplacement des anciennes mers.

## § 2. — MOUVEMENTS OROGÉNIQUES.

**Mouvements orogéniques.** — Nous avons vu que les mouvements auxquels on attribue le soulèvement des montagnes, ou

*mouvements orogéniques*, se distinguent de tous les autres en ce qu'ils ont affecté de grandes étendues, mais dans une seule direction; de sorte que les chaînes de montagnes sont toujours beaucoup plus longues que larges. On rattache encore aux mouvements de cette nature tous ceux qui ont plié, rompu ou disloqué les couches de l'écorce solide, et donné naissance aux divers accidents stratigraphiques. Ils se distinguent essentiellement des mouvements séculaires, en ce qu'ils ne se sont manifestés qu'à d'assez longs intervalles, et que l'amplitude et sans doute l'énergie en sont infiniment plus grandes. Ils paraissent encore s'être effectués beaucoup plus rapidement; et, quoique nous n'en ayons point été les témoins, nous savons par des preuves irréfragables que le soulèvement des Alpes ou des Pyrénées, par exemple, a eu lieu en moins de temps que les lentes oscillations des continents, et n'a duré qu'un instant par rapport à ces dernières. Cela ne veut pas dire cependant que les mouvements orogéniques aient été brusques et instantanés. Peut-être certaines failles se sont-elles ouvertes subitement; il semble néanmoins probable que les plissements de terrains, les renversements de couches, etc., ont dû s'opérer avec une lenteur relative. Nous savons d'ailleurs que la même chaîne, et quelquefois la même montagne, est l'œuvre de plusieurs mouvements consécutifs, souvent fort éloignés les uns des autres. L'exemple du Jorullo et du Monte-Nuovo nous montre que des bouleversements de terrains, même peu importants, mettent un certain temps à s'effectuer. M. Élie de Beaumont fait observer que le soulèvement des montagnes n'a pas interrompu la sédimentation, qui a continué de s'opérer à leur pied, comme si rien n'était survenu, pendant que les animaux marins ne cessaient de se propager. On doit en conclure que la formation des montagnes n'a produit aucune de ces grandes catastrophes imaginaires marquées par un anéantissement complet de la vie sur le globe, et que l'apparition d'une grande chaîne ne peut coïncider que fortuitement avec la fin d'une période géologique.

**Amplitude des mouvements orogéniques.** — L'amplitude des mouvements orogéniques l'emporte infiniment sur celle des mouvements séculaires. Le fait paraît tellement évident qu'on peut l'admettre sans discussion. Il est presque inutile d'ajouter que cette amplitude a beaucoup varié suivant les temps et les circonstances, et que les forces qui ont soulevé les Vosges n'avaient pas la même intensité que celles qui ont soulevé les Alpes ou les Cordillères. En appliquant les lois stratigraphiques exposées ci-dessus,

on a pu déterminer l'âge relatif des principales montagnes du globe, et l'on a reconnu que presque toujours une chaîne est d'autant moins élevée qu'elle date de plus loin. Ainsi les collines de la Vendée ont précédé les monts du Hundsruock et du Taunus, et ceux-ci les Vosges, elles-mêmes plus anciennes que les Pyrénées, qui ont apparu avant les Alpes.

Il semble donc que l'amplitude des mouvements orogéniques augmente à mesure qu'on se rapproche des temps actuels, et que, s'il doit survenir de nouvelles chaînes, elles l'emporteront sur les plus hautes montagnes connues. Cette perspective n'a rien de surprenant : si le globe a été primitivement embrasé, et si l'écorce solide s'est épaissie peu à peu, l'effort nécessaire pour la soulever et pour la rompre a dû augmenter avec cette épaisseur.

**Leur intensité croissante.** — On peut tirer de l'allure des strates une autre preuve de l'intensité croissante des mouvements orogéniques. Dans les premiers âges de la planète il n'y avait point de montagnes, parce que la mince écorce dont elle était enveloppée n'opposait, pour ainsi dire, aucune résistance aux forces intérieures : aussi est-elle brisée, bouleversée et morcelée ; ses aspérités se bornent à des rides insignifiantes. Plus tard, les ruptures et les plissements deviennent plus rares, mais augmentent en amplitude, et de véritables montagnes apparaissent. Plus tard encore, les strates demeurent presque partout horizontales, et ne sont plus inclinées que par les mouvements séculaires ; mais d'énormes chaînes surgissent dans les lieux où s'est concentrée l'énergie de la planète.

**Age relatif des montagnes.** — A propos de l'âge relatif des montagnes, je dois dire que si les lois stratigraphiques servant à le déterminer sont extrêmement simples, et que, s'il paraît facile en théorie de distinguer une couche relevée d'une autre plus récente qui vient la recouvrir en stratification discordante, rien n'est plus difficile et plus délicat que leur application sur le terrain. Une chaîne est toujours le résultat d'actions multiples, et provient d'un nombre souvent considérable de soulèvements, de plissements et d'affaissements successifs. Telle partie a subi de fréquentes oscillations, telle autre a surgi en une seule fois. Parmi ces divers mouvements, il n'est pas toujours facile de discerner le plus important, celui qui a imprimé à tout le système son cachet particulier. Souvent aussi une chaîne principale se trouve entourée de collines d'un âge différent, dont il n'est pas aisé de la distinguer. Je crois

done qu'il ne faut accepter que sous bénéfice d'inventaire beaucoup de résultats donnés comme certains, l'âge relatif de la plupart des montagnes du globe n'étant peut-être établi que d'une manière provisoire.

**Orientation des montagnes.** — On s'est beaucoup préoccupé de l'orientation ou autrement de la direction des montagnes. Au premier abord, les chaînes semblent distribuées sans aucun ordre; on ne peut saisir aucune relation géométrique entre elles, et leur répartition à la surface du globe ne paraît soumise à aucune loi. La direction même ne peut pas toujours se déterminer d'une manière précise, les montagnes décrivant souvent les sinuosités les plus capricieuses. Il paraît naturel, en effet, que les forces intérieures et le retrait de la planète aient rompu et bouleversé, sans régularité ni symétrie, une écorce solide formée d'éléments hétérogènes et diversement combinés, suivant les lieux.

**Parallélisme des chaînons rapprochés contemporains.** — Cependant, si l'on regarde les choses de près, on ne tarde pas à reconnaître que, dans des circonstances à la vérité exceptionnelles, les chaînons affectent un certain parallélisme. Mais ils sont alors fort rapprochés, et appartiennent à un même système orographique, comme, par exemple, ceux du Jura central ou du Jura méridional. Très-souvent aussi les failles d'une contrée limitée courent parallèlement les unes aux autres, ou à peu près. L'observation démontre qu'ordinairement tous les accidents stratigraphiques parallèles entre eux, chaînons et failles, sont contemporains. Il en est donc de ces accidents comme des filons, qui ne sont d'ailleurs qu'une variété de failles. On comprend aisément, en effet, qu'une pression latérale de l'écorce solide, un bombement à grand rayon ou toute autre action dynamique puisse produire à la surface du globe une série de vides ou de fentes à peu près dirigées dans le même sens. Mais il faut se garder d'ériger en loi générale des principes seulement applicables dans des cas particuliers. Je ne dis pas que des chaînes fort éloignées parallèles entre elles, ou plus exactement parallèles à un même grand cercle de la sphère terrestre, ne soient pas quelquefois de même âge, mais je crois que le plus souvent il n'y a, dans ces parallélismes à grande distance, que des coïncidences fortuites de direction. Trop fréquemment on s'est hâté de proclamer la contemporanéité de deux ensembles orographiques sans preuves suffisantes et seulement parce qu'ils sont dirigés parallèlement. On s'est donc appuyé sur ce

qui était à démontrer, et l'on aurait dû procéder en sens inverse. Ce n'est, en effet, qu'au moment où l'âge du plus grand nombre des montagnes du globe aura été rigoureusement déterminé, qu'il sera possible de voir à quel point on est autorisé à généraliser le principe de la contemporanéité des accidents stratigraphiques parallèles au même grand cercle. A mon avis, tout ce qu'on peut affirmer aujourd'hui, c'est que, le plus souvent, les failles et les chaînons de même âge sont parallèles quand ils font partie d'un même ensemble orographique.

**Théories orogéniques.** — Cependant on a été plus loin dans la voie des conjectures, et plusieurs théories orogéniques ont vu le jour à diverses époques. Elles s'effacent toutes devant celle de M. Élie de Beaumont, la seule qu'il me paraisse utile de faire connaître.

**Théorie de M. Élie de Beaumont.** — D'après cet auteur, loin d'être abandonnée au hasard, comme il le semble au premier abord, l'orientation des montagnes obéit à des lois d'une rigueur mathématique. Tous les accidents stratigraphiques, failles, chaînons, plissements, etc., sont disposés de manière à dessiner sur le globe un réseau géométrique formé par la juxtaposition de 12 pentagones réguliers, assemblés comme ceux d'un dodécaèdre. Mais ces accidents n'existent pas uniquement sur les côtés des pentagones ; ils peuvent se manifester aussi bien, et avec la même énergie, sur des points quelconques du trajet des grands cercles de la sphère terrestre qui passent par ces côtés et en marquent le prolongement, et sur le trajet d'autres grands cercles ayant avec les premiers des relations déterminées, et disposés de manière à dessiner sur la sphère des triangles trirectangles, des triangles équilatéraux, des triangles rectangles scalènes et d'autres figures. C'est à cet ensemble de lignes, qui dérivent toutes du pentagone, et qui entourent le globe d'un réseau fort compliqué mais extrêmement régulier, qu'est affecté le nom de *réseau pentagonal*.

**Réseau pentagonal.** — Les *grands cercles principaux* de ce réseau sont au nombre de 61, savoir : 6 *dodécaédriques réguliers*, respectivement parallèles aux 12 faces du dodécaèdre fondamental ; 10 *octaédriques* ou *icosaédriques*, parallèles aux 20 faces de l'icosaèdre régulier dont les sommets coïncident avec les centres des 12 pentagones du dodécaèdre ; 15 *primitifs*, dont les intersections marquent le centre de chacun des 12 pentagones, et qui tracent les côtés des 20 triangles équilatéraux de l'icosaèdre ; enfin 30 *dodécaédriques rhomboïdaux*, perpendiculaires deux à deux aux plans des 15 grands

cercles primitifs. Mais le réseau formé par les entrecroisements de ces 61 grands cercles principaux n'étant pas assez compliqué pour qu'on pût lui rapporter tous les accidents stratigraphiques, M. Élie de Beaumont a établi des *grands cercles auxiliaires*, en se laissant guider par les procédés ordinaires de la cristallographie. Ces cercles, qui forment 4 groupes, à chacun desquels est assigné un nom particulier, passent toujours par les pôles de l'un des grands cercles principaux, et coupent celui-ci à angle droit; de sorte que les grands cercles auxiliaires sont tout simplement les perpendiculaires aux grands cercles principaux. On pourrait imaginer encore d'autres grands cercles auxiliaires; mais l'auteur a pensé que, pour un premier essai du réseau pentagonal, il convenait de se limiter à ceux qui viennent d'être indiqués. Il prend aussi en considération 362 *points principaux*, marqués par les intersections réciproques des grands cercles principaux.

**Systèmes orographiques ou systèmes de montagnes.** — C'est toujours dans le sens de l'un des grands cercles principaux ou auxiliaires du réseau pentagonal que se manifestent les accidents stratigraphiques du globe terrestre, et que sont dirigées les chaînes de montagnes. Les points principaux tombent souvent sur des localités remarquables à divers titres. Pour M. Élie de Beaumont, un *système orographique* ou *système de montagnes* se compose, non-seulement des reliefs montagneux d'une orientation déterminée dont il tire son nom, mais encore des failles, des dépressions, des plissements et de tous les accidents stratigraphiques parallèles au grand cercle du réseau pentagonal auquel on rapporte les premiers, ou qui se rencontrent sur son trajet, quelque éloignés qu'on les imagine. Ce grand cercle prend le nom de *cercle de comparaison*. Un système orographique consiste donc essentiellement dans une direction, une orientation. Par exemple, le système des Pyrénées ne se compose pas seulement de la chaîne principale, il comprend encore plusieurs chaînons des Alpes maritimes et des Apennins entre Modène et Florence, entre Bari et Tarente; la falaise qui termine les Alpes au nord de Bergame et de Verone; plusieurs lignes de fracture des Alpes de Savoie et de Glaris, des Alpes Juliennes, d'une partie des montagnes de la Croatie, de la Dalmatie, de la Bosnie et de la Grèce; enfin des accidents divers dans les Carpathes, le nord de l'Allemagne et le Harz, le nord de la France, l'Angleterre. Au système du Ténare, montagne de la Grèce, se rattachent l'Etna, puis le Mouna-Roa dans l'île d'Hawaï.

**Directions d'emprunt, directions récurrentes.** — M. Élie de Beaumont regarde comme de même âge les chaînes et les accidents orographiques parallèles au même cercle de comparaison et ceux qui lui sont perpendiculaires. Ces derniers constituent néanmoins un système différent. C'est là une loi générale, qui n'admet que des exceptions apparentes. Celles-ci sont de deux espèces. Quelquefois un mouvement s'est manifesté dans un terrain déjà parcouru par des failles, dissimulées par des sédiments qui sont venus plus tard les recouvrir. Ces failles offrent des lieux de moindre résistance, et le soulèvement en emprunte momentanément la direction, quoique le système auquel il appartient puisse avoir une orientation toute différente. On dit alors qu'il y a *direction d'emprunt* ou *direction épigénique*. Il est évident que, dans des cas pareils, des chaînes parallèles ne sont pas toujours contemporaines, et que des chaînes non parallèles peuvent avoir le même âge. Une autre exception se produit quand il se manifeste quelque part des chaînes ou des accidents stratigraphiques parallèles à un système plus ancien. Les nouveaux venus ont alors une *direction récurrente*. Telle est en substance, si j'ai bien compris, la théorie de M. Élie de Beaumont.

**Application de la théorie.** — Dans l'esprit de ce savant, l'application en est d'une rigueur mathématique, et les accidents orographiques suivent, avec une remarquable exactitude, les directions assignées par la théorie. Pour donner une idée de la confiance qu'elle inspire à son auteur, je copie les lignes suivantes du *Rapport sur les progrès de la stratigraphie*, où M. Élie de Beaumont a exposé ses vues les plus récentes.

« ... En présence de la légère incertitude dont reste affectée la position du réseau pentagonal, que l'auteur » (M. Élie de Beaumont) « ... n'a présentée que comme *provisoire*, on ne peut s'étonner que » d'une chose, c'est que, du moins pour la France, où se réunissent » à la vérité les conditions les plus favorables, j'aie pu me trouver conduit pratiquement à ne considérer comme absolument » négligeables que des écarts de 1 à 2 kilomètres. Et il faut remarquer que ces écarts, quoique peu considérables, sont cependant » un résultat complexe, car ils se composent de trois parties dues : » 1° à ce qu'on ne peut presque jamais reconnaître bien précisément le point qui devrait être considéré comme le centre de chaque accident géologique que l'on compare au cercle calculé ; 2° à ce que la nature n'a peut-être placé ces points en ligne droite que » d'une manière approximative ; 3° à ce que l'installation actuelle

» du réseau pentagonal n'est que *provisoire* et demeure susceptible  
 » d'une rectification ultérieure. »

**Lignes naturelles.** — Pour éviter ces inconvénients, il a suffi à M. Élie de Beaumont de substituer aux directions idéales, représentées par la ligne mathématique, des *lignes naturelles* « dont l'épaisseur est comparable à celle des accidents géologiques qui en jalonnent le cours. En enregistrant, avec des expressions progressives et nuancées, tous les points définis près desquels passent les cercles calculés », continue ce géologue, « j'ai traité, en fait, les lignes tracées par des jalons naturels comme autant de petites zones que la marche du travail m'a conduit à réduire à moins de 8 kilomètres de largeur : un peu plus de 4 minutes de degré du méridien.

» Il n'est pas inutile d'insister sur l'étroitesse comparative d'une semblable zone. La circonférence du globe étant d'environ 40 000 kilomètres, une zone de 8 kilomètres de largeur est cinq mille fois aussi longue que large... Sur un globe de 1 mètre de diamètre, la représentation exacte d'une pareille zone n'aurait guère que 6/10 de millimètre de largeur : ce serait un gros trait...

» On a peine à concevoir comment l'appareil mécanique que constitue le globe terrestre en voie de refroidissement a pu fonctionner avec assez de précision pour faire naître une série de repères dans un espace aussi étroit ; mais le fait est mis en complète évidence par le contenu de cette quatrième partie du *Rapport*. Chacun des cercles du réseau pentagonal que la nature a réalisés est représenté par une semblable zone, accompagnée, il est vrai, par un cortège d'accidents moins étroitement resserrés, et quelquefois par un système de chaînes de montagnes parallèles à sa direction et embrassant une largeur qui peut atteindre et même dépasser 20 degrés. »

**Largeur maximum d'un système orographique.** — Il est, en effet, important de noter que, dans la pensée de M. Élie de Beaumont, les accidents stratigraphiques parallèles à un grand cercle de comparaison, et, par conséquent, appartenant au même système, peuvent s'écarter de 10 degrés de part et d'autre de ce cercle, et même, exceptionnellement, de 20 degrés.

**Nouveaux détails relatifs à l'application de la théorie.** — Les passages suivants, extraits du *Rapport*, suppléeront à ce que la présente exposition de la théorie de M. Élie de Beaumont pourrait avoir d'insuffisant.

« Dans l'idée première des systèmes de montagnes, le *grand cercle de comparaison* était une ligne idéale, abstraite ; on ne suppose en aucune façon qu'elle pût avoir, sur la surface du globe, une existence réelle. Or l'application du réseau pentagonal a mis en lumière le fait que le grand cercle de comparaison d'un système de montagnes, lorsqu'il remplit bien la condition d'être la véritable représentation de tout l'ensemble, a joui du privilège d'être choisi de préférence pour devenir le théâtre des phénomènes de dislocation et d'éruption, et la propriété du réseau pentagonal est de faire découvrir ces cercles privilégiés... »

« On peut remarquer aussi que les chaînes de montagnes ne sont pas en rapport par leurs directions seulement avec les cercles de la sphère géologique : elles le sont aussi par leurs terminaisons. Elles s'arrêtent presque toujours à la rencontre d'un des cercles principaux ou auxiliaires du réseau, de sorte qu'un système de montagnes est composé de chaînons parallèles à un grand cercle du réseau et terminés à la rencontre d'autres cercles qui coupent le premier, à peu près comme un filon est composé de tronçons terminés et rejetés transversalement à la rencontre de filons croiseurs ou de simples fissures.

« Les lignes stratigraphiques, parallèles aux cercles du réseau, qui entrent dans la constitution des systèmes de montagnes, jouent un rôle analogue dans leurs rencontres naturelles ou dans leur rencontre avec d'autres cercles du réseau. Les accidents orographiques sans longueur, comme les pics bien détachés sur les chaînes de montagnes, les volcans isolés, les îles éparses au milieu de l'Océan, se trouvent très-souvent aux points d'intersection des cercles du réseau pentagonal et de leurs parallèles.

« Les caps et les fonds des golfes anguleux se trouvent très-habituellement sur les points par lesquels les cercles du réseau et leurs parallèles passent de la terre sur la mer, et souvent ils sont marqués par les intersections de ces cercles.

« De là résulte que les points remarquables de l'écorce terrestre, loin d'y être jetés pêle-mêle et au hasard, y forment une sorte de quinconce soumis directement ou indirectement à la symétrie pentagonale, et qu'on peut appeler le *quinconce pentagonal*.

« Dans le quinconce, les intersections des cercles du réseau entre eux jouent le rôle principal. Les intersections de leurs parallèles ne se rattachent qu'indirectement à la symétrie pentagonale, et peuvent être qualifiés de *points de second ordre*.

» Mais la nature, en marquant tous ces points en nombre im-  
 » mense, n'a pas pris soin d'accentuer plus fortement les points du  
 » premier ordre que ceux du second. De très-hautes montagnes  
 » marquent souvent les points de cette dernière classe. Dans l'Eu-  
 » rope occidentale, le mont Blanc, le mont Rose, le Cantal, le mont  
 » Dore, la Maladetta, etc., se trouvent en dehors des grands cercles  
 » principaux du réseau et de tous les cercles auxiliaires étudiés jus-  
 » qu'à présent, et ne correspondent qu'au croisement de leurs pa-  
 » rallèles ; tandis que d'autres montagnes moins hautes quoique  
 » très-remarquables aussi, la Miedje en Dauphiné, le ballon de  
 » Guebwiller et le Champ-du-Feu dans les Vosges, le Chaumont et  
 » la Dôle dans le Jura, se trouvent placées, avec une précision sin-  
 » gulière, sur le cours des cercles du réseau, et souvent même à  
 » leurs intersections.

» Une chose curieuse à remarquer, c'est que les lieux où la popu-  
 » lation est concentrée se trouvent sous ce rapport dans le même  
 » cas que les hautes montagnes... Les hommes... n'ont aggloméré  
 » leurs habitations de manière à former des villes que dans les points  
 » où ils trouvaient des conditions d'existence exceptionnellement  
 » favorables. Ces points étaient particulièrement ceux que les  
 » formes orographiques ont destinés à être dans plusieurs direc-  
 » tions des lieux de passage habituel. Ces points-là se sont rencon-  
 » trés de préférence sur les lignes stratigraphiques et à leurs croise-  
 » ments. Il en a été de même de beaucoup de rochers qui, sans être  
 » assez élevés pour être inhabitables, étaient assez escarpés pour  
 » être facilement défendus.

» Les confluent et les coudes des rivières se trouvent même  
 » assez souvent sur les cercles du réseau ou à leur croisement, et  
 » dans beaucoup de cas les populations s'y sont agglomérées. »

**Installation du réseau pentagonal.** — Après quelques tâton-  
 nements, M. Élie de Beaumont a installé le réseau pentagonal sur le  
 globe terrestre de manière à le faire coïncider avec le triangle tri-  
 rectangle ou à peu près tel formé par les grands cercles de compa-  
 raisons provisoires des systèmes du Ténare, des Andes et de l'axe  
 volcanique méditerranéen. Le centre du pentagone européen tombe  
 à Reinda, en Saxe. Tout en déclarant cette installation provisoire,  
 l'auteur des systèmes de montagnes la croit exacte à deux minutes  
 près.

**Premières objections à la théorie.** — On voit que la théorie  
 de M. Élie de Beaumont est très-complète, très-précise, et d'une ri-

gueur absolument mathématique. L'impression qu'on éprouve à une première lecture, c'est la surprise qu'inspirent les perspectives imprévues. Mais, la réflexion venue, on s'étonne de voir les faits correspondre si peu à la théorie. On s'attend à trouver la surface terrestre divisée par les *lignes naturelles* comme un parquet de marqueterie, et l'on n'observe qu'irrégularité et confusion. Ici les montagnes sont entassées comme Pélion sur Ossa, et leurs ramifications enchevêtrées offrent l'image du chaos ; plus loin, on cherche vainement la moindre ride, la moindre fissure, le moindre accident stratigraphique apparent à la surface de plaines grandes plusieurs fois comme la France. Si l'on étudie de plus près la direction des chaînes et la disposition de leurs embranchements et de leurs chaînons, rarement observe-t-on quelques indices de régularité, et le plus souvent la ligne courbe remplace la ligne droite ou la ligne brisée. Comment alors déterminer une orientation ?

**Réponse à ces objections.** — Mais, répondent les géologues partisans de la théorie, tous les accidents stratigraphiques ne sont pas également accusés. Fréquemment interrompues, les *lignes naturelles* consistent en tronçons et même en points fort espacés, marqués ici par des reliefs et plus loin par des dépressions ou des fractures qui n'ont de commun que leur alignement suivant un grand cercle. Beaucoup de mailles manquent au réseau, beaucoup sont cachées par les mers ou dissimulées à l'œil le plus clairvoyant par des revêtements sédimentaires ou diluviens. Les directions auxiliaires parallèles, épigéniques et récurrentes viennent encore augmenter la complication.

**Nouvelles objections.** — En admettant le plus largement possible toutes ces circonstances atténuantes, on ne voit pourtant pas que la théorie soit fondée en quoi que ce soit, sauf peut-être le point relatif à la contemporanéité des failles et des rides rapprochées. Encore suis-je obligé de m'exprimer d'une manière dubitative, la doctrine de Werner relative à l'âge des filons et son application aux failles et aux chaînons parallèles d'un même ensemble de montagnes ne concernant nullement la totalité des accidents stratigraphiques répartis sur un grand cercle de la sphère. Pour tout le reste, je ne vois que des coïncidences fortuites ; et plus j'examine de près la théorie, plus la conviction se refuse à pénétrer dans mon esprit.

Je remarque d'abord que les mailles du réseau pentagonal sont tellement serrées, et que les orientations y sont si multipliées (sans

parler des innombrables cercles auxiliaires de second ordre qu'on pourrait légitimement y introduire), qu'il est presque impossible de tracer au hasard, sur le globe, une ligne qui ne tombe dans quelque direction prévue, ou qui s'en écarte plus que certaines chaînes ne s'écartent du cercle de comparaison auquel on les rapporte; car nous verrons bientôt que, malgré sa complication, le réseau est souvent insuffisant. De là ces coïncidences, quelquefois remarquables, mais assurément fortuites, entre l'orientation des failles et des filons et celle des innombrables linéaments du réseau pentagonal, coïncidences qui ne peuvent, à mon avis, être invoquées comme des preuves à l'appui de l'existence dudit réseau. Je suis donc porté à croire que s'il eût été installé de toute autre manière, il aurait également cadré avec un grand nombre d'accidents du sol. N'oublions pas, en effet, que M. Élie de Beaumont fait entrer en ligne de compte les chaînes, les chaînons, les sommets, les volcans, les failles, les filons, les vallées, les croisements et les terminaisons des chaînes, les falaises et les rivages maritimes, les golfes, les îles, les promontoires, les confluent des cours d'eau et même l'emplacement des grandes villes et des châteaux forts. Cela revient à dire que dans une direction quelconque on rencontre à peu près, sur une même longueur, le même nombre d'accidents et de points de repère de la nature de ceux que prend en considération l'auteur des systèmes de montagnes. Pour prouver ce que j'avance, je décrirai d'abord le trajet sur le globe d'un des grands cercles considérés comme privilégiés, et j'indiquerai ensuite celui d'un parallèle géographique quelconque, pris à une distance assez grande de l'équateur terrestre pour qu'on ne puisse songer à le rattacher au réseau pentagonal, en supposant celui-ci mal installé, et en imaginant que l'équateur soit un grand cercle principal ou auxiliaire du vrai réseau.

**Trajet sur le globe du grand cercle dodécaédrique du cap Corrientes et de Singapour.** — Je continue à copier le *Rapport sur les progrès de la stratigraphie*. Il s'agit du grand cercle dodécaédrique régulier du cap Corrientes et de Singapour, dont un des pôles est à Remda, au centre du pentagone européen.

« Ce grand cercle, qui passe au point (principal) H, près de » Tehuantepec, côtoie, dans un intervalle de plus de quinze cents » kilomètres, les côtes sud-ouest du Mexique, en passant très-près du » cap Saint-Lucas, extrémité de la Californie, ainsi que du cap Cor- » rientes et à une faible distance du célèbre port d'Aca, leco. Il » aborde le continent de l'Amérique méridionale par le massif

» avancé de la pointe Galera et du cap San-Francisco, près d'Esme-  
» raldas.

» Dans l'intérieur du continent il coupe la chaîne des Andes en  
» passant à une faible distance au nord du volcan de Pichincha et  
» de la ville de Quito, c'est-à-dire vers l'extrémité septentrionale de  
» la chaîne volcanique de l'équateur ; puis, après avoir traversé un  
» point H, situé à l'est des Andes, il côtoie à une faible distance de  
» longues parties du cours du Guapore et de celui du Teite, et il  
» sort enfin du continent par le fond du golfe situé au sud-ouest de  
» Rio-Janeiro, entre les villes de Saint-Paul et de Santos.

» Traversant ensuite l'océan Atlantique méridional, il rase l'île de  
» Tristan d'Acunha, qu'il laisse au sud, à quelques minutes de dis-  
» tance, passe à l'emplacement actuellement assigné au banc du  
» Télémaque, situé au sud de la colonie du Cap, et aux rochers de  
» l'Union, situés au sud de Madagascar. D'autres roches sont encore  
» signalées sur cette ligne. Plusieurs sont indiquées comme dou-  
» teuses, et leur existence est probablement assez difficile à consta-  
» ter, mais il y a à parier que plusieurs d'entre elles existent réel-  
» lement. Ainsi l'île de Tristan d'Acunha aurait une sorte de très-  
» long cortège placé précisément de manière à marquer, au milieu  
» des mers de l'hémisphère austral, le cours de notre  *dodécadrigue*  
» *régulier*.

» Ce grand cercle traverse ensuite l'océan Indien, dans une partie  
» complètement dépourvue d'îles ; puis il coupe l'île de Sumatra à  
» peu près au milieu de sa longueur, en passant approximativement  
» au mont Ophir ou Bérapi, qui est un volcan considérable, et en-  
» suite la presqu'île de Malaca, près de sa pointe sud-est, à très-peu  
» de distance de Singapour.

» Après avoir traversé la mer de Chine, où il passe à un point H, il  
» aborde l'île de Luçon par sa saillie sud-ouest, la pointe Subec, et  
» la traverse en passant approximativement au mont Arayat ou  
» Aringuay, qui est un volcan actif, et en laissant la ville de Manille  
» à une assez faible distance au sud-est ; puis il va passer à un  
» point H, placé d'une manière remarquable à l'extrémité septen-  
» trionale du petit archipel des îles Bonin-Sima, situé au sud-est  
» du Japon.

» Dans le long intervalle de Singapour aux îles Bonin-Sima, ce  
» grand cercle court parallèlement à la terminaison sud-est des  
» terres asiatiques.

» Plus loin, il traverse l'océan Pacifique dans une vaste étendue

» dépourvue d'îles, et rejoint, sur les côtes américaines, le cap Saint-Lucas. »

**Trajet du 45° parallèle nord.** — Voici maintenant quel est le trajet, en Europe, du 45° parallèle, petit cercle qu'on ne peut, évidemment, soupçonner d'aucune relation avec un réseau pentagonal quelconque.

Il aborde les côtes de France au nord-ouest de Bordeaux, passe entre cette ville et Blaye, en touchant le confluent de la Garonne et de la Dordogne, et en laissant un peu au sud la ville de Libourne. Il court ensuite à une très-petite distance de l'Île, parallèlement à cette rivière et à la Dordogne. Au nord-est d'Aurillac il traverse le Cantal, en touchant presque le puy Gros, qui est le plus méridional du massif, laisse un peu au nord la ville de Saint-Flour et franchit les montagnes de la Margeride à un confluent. Il traverse le bassin du Puy à deux ou trois minutes au sud de cette ville, rencontre sur son trajet plusieurs pitons éruptifs de cette contrée si tourmentée, et passe juste à dix minutes au nord de celui du Mézenc, qui est le plus haut sommet des Cévennes. De là il tombe dans la vallée du Rhône au confluent de l'Isère près de Romans, et rencontre les Alpes un peu au nord de Briançon, entre la chaîne transversale de l'Oisans et le mont Genève, à un point d'entrecroisement fort important, et près des sources de la Durance et de la Doire. Il accompagne cette dernière rivière jusqu'à son confluent avec le Pô. Le 45° parallèle suit alors presque rigoureusement l'axe de la vallée du Pô, coupant plusieurs fois ce fleuve, passant par Turin, Voghera, Plaisance, Castel-Maggiore, Guastalla, Rovigo ou à peu de distance de ces villes, et franchissant le delta du Pô et de l'Adige. De l'autre côté de l'Adriatique il coupe l'Istrie, ainsi que les îles de Cherso et de Veglia, et traverse les Alpes Dinariques au mont Plivieza. Il passe un peu au nord du confluent du Danube et de la Save à Belgrade, touche l'extrémité sud-ouest de la chaîne qui sépare la Transylvanie de la Valachie et arrive à la mer Noire par les bouches du Danube. Il coupe ensuite la Crimée par son milieu, en passant très-près de Simféropol et en traversant un ancien centre éruptif encore marqué par des volcans boueux, franchit le détroit d'Enikale et rejoint le continent à l'embouchure du Kouban, en touchant l'extrémité nord-ouest du Caucase. Les cartes que j'ai à ma disposition laissent trop à désirer pour que je puisse décrire le trajet de ce cercle avec les mêmes détails dans les autres parties du monde ; j'indiquerai cependant les régions volcaniques du centre de l'Asie, de la Chine et

de l'Orégon comme fort rapprochées du parcours du 45<sup>e</sup> parallèle, qui traverse ou avoisine les cratères du nord de l'île Jesso, et de la plus méridionale des Kouriles.

Que le lecteur compare et qu'il se prononce.

**Continuation des objections.** — Voici d'autres points sur lesquels la théorie des systèmes de montagnes me paraît laisser à désirer.

**La contemporanéité des accidents stratigraphiques d'un système de montagnes est plutôt supposée que démontrée.** — Je ne sais s'il entre dans la pensée de son auteur que tous les accidents stratigraphiques disséminés le long de la *ligne naturelle* d'un grand cercle sont rigoureusement contemporains. En tout cas, cette proposition me paraît absolument conforme à l'esprit comme à la lettre de la théorie. Eh bien, je doute très-fort qu'il en soit ainsi dans la réalité; et s'il m'était permis de faire intervenir à mon tour un argument que je qualifierai d'aléatoire, je dirais : il y a à parier que ces accidents appartiennent à des époques très-variées. Pour qu'on fût autorisé à se prononcer à cet égard, il faudrait, en effet, que la surface terrestre eût été explorée avec le plus grand soin sur tout le parcours des principaux cercles de comparaison du réseau pentagonal. Tant qu'on n'aura pas déterminé directement l'âge relatif des divers accidents qui peuvent se trouver échelonnés sur leur trajet, je suis en droit de nier une affirmation qui ne repose pas sur des preuves suffisantes, et ne s'appuie guère, à mon avis, que sur ce qu'il faudrait démontrer, savoir, que les grands cercles du réseau marquent les grandes lignes de fracture et d'accidents orographiques contemporains. Ce que je dis des grands cercles de comparaison s'applique aux cercles auxiliaires et aux directions parallèles à grande distance ; il faudrait prouver, par des exemples infiniment plus nombreux et plus concluants, que les accidents stratigraphiques perpendiculaires ou parallèles à grande distance aux grands cercles de comparaison datent de la même époque que ceux qui se manifestent sur le parcours de ces derniers. En un mot, nous ne devons rien accepter de confiance, et c'est au réseau pentagonal à faire ses preuves s'il réclame le droit de cité.

**Beaucoup d'accidents stratigraphiques s'écartent trop de l'orientation des lignes du réseau pentagonal pour qu'ils en fassent partie.** — Dans son application et son installation, je ne reconnais pas la rigoureuse exactitude qu'on serait en droit d'attendre, après la déclaration de M. Élie de Beaumont, qui affirme que les

*lignes naturelles* d'un grand cercle se réduisent à moins de 8 kilomètres de largeur; que tous les accidents stratigraphiques existant le long de ce cercle se trouvent renfermés dans cette zone de 8 kilomètres; que, pour la France, on ne peut considérer comme absolument négligeables que des différences de moins de 2 kilomètres; enfin que le réseau pentagonal n'est susceptible de s'écarter que de 2 minutes de son installation provisoire actuelle. Il en résulte que, pour peu qu'un système de montagnes, pour peu qu'un accident stratigraphique de quelque importance s'éloigne de la direction assignée par son grand cercle de comparaison, il ne fait plus partie du réseau pentagonal. Si de pareilles exceptions se multiplient, on peut en inférer que beaucoup d'accidents orographiques se trouvent sans aucune relation avec ledit réseau, et l'on arrive à douter fortement de son existence. Eh bien, les exceptions ne sont pas rares.

**Exemples de systèmes en dehors du réseau pentagonal.** —

Pour en citer quelques exemples, je dirai que Durocher admet dans le système du Jemtland des accidents orientés à 5 degrés près. D'autres accidents orographiques observés au sud-ouest des Vosges, près d'Avallon et près d'Autun, et rapportés au système de Thüringerwald, oscillent dans les limites d'ouest 30° à 40° nord. Le système de l'Oural et celui de la côte d'Or ne sont perpendiculaires qu'à 1° 25' près. La tolérance pour l'orientation du système du Ténare, qui est nord 4° à 5° ouest, dépasse 1 et peut-être 2 degrés, puisqu'on lui rapporte le grand cercle Etna à Mouna-Roa, dirigé nord 6° 4' 53" ouest. Les différences entre l'orientation réelle des failles de la Haute-Marne et leurs grands cercles de comparaison se montent quelquefois à 3 et même à 4 degrés. C'est là un écart considérable; et M. Élie de Beaumont fait lui-même observer que pour l'atténuer « disposer des deux minutes dont le réseau pentagonal, dans sa position provisoire actuelle, paraît susceptible de » tourner sur lui-même serait un remède insuffisant ». Il essaye d'expliquer le manque de coïncidence par des hypothèses qui n'ont point porté la conviction dans mon esprit, sa doctrine étant de celles qui ne peuvent tolérer l'exception. Dans tous les cas précédents, et dans beaucoup d'autres dont il sera question ci-après, le réseau pentagonal se trouve évidemment en défaut.

**Beaucoup de systèmes et d'accidents regardés comme contemporains, ne sont ni perpendiculaires ni parallèles entre eux.** — Le peu de fondement des lois relatives au synchronisme

des directions perpendiculaires ou parallèles à de grandes distances semble démontré par ce qui suit. M. Vézian serait porté à considérer comme négligeable la différence de  $1^{\circ} 10' 27''$  qui existe entre l'orientation des systèmes du Hundsruock et de la vallée du Doubs, et à les confondre en un seul, s'ils ne différaient point par l'âge; il pense qu'à la rigueur le second peut-être regardé comme récurrent. Il accepterait donc un synchronisme entre des systèmes se croisant sous l'angle indiqué. Il considère comme contemporains le système de la Corse et celui de la vallée du Rhône, qui s'écartent d'environ 4 degrés. M. Élie de Beaumont avait autrefois, sous toutes réserves, réuni le système du Sancerrois à celui de l'Érimanthe; il aurait donc toléré une divergence de 5 à 6 degrés entre les accidents d'un même système, tous contemporains, d'après la théorie. Une vingtaine de systèmes de montagnes ont été reconnus hors de l'Europe, ce qui porte à 85 le nombre de ceux qu'on a jusqu'à présent enregistrés. Plusieurs paraissent contemporains des anciens systèmes européens, et cependant l'orientation en est absolument différente. Je citerai, entre autres, le système de l'Itacolumi, de M. Pissis, sans doute correspondant au système des Ballons ou à celui du Forez; le système de la Cordillère occidentale du Chili, du même auteur, qui surgit, comme celui du Rhin, immédiatement avant l'époque du trias, si l'on admet toutefois que le grès des Vosges soit distinct du grès bigarré; le système des deux montagnes et de Montmorency, de M. Marcou, formé, comme celui du Jemtland, à la fin de l'époque où se constituait le terrain silurien inférieur; le système des montagnes Vertes, du même géologue, qui s'est produit, avec celui de Hundsruock, immédiatement après le dépôt du terrain silurien supérieur. A mon tour, j'en puis donner que sous toutes réserves ces dernières appréciations, parce que l'âge relatif des systèmes lointains n'est souvent établi, au dire même de leurs auteurs, qu'à la suite d'explorations rapides et parfois insuffisantes, et que nous ne sommes pas certains que les mêmes fossiles aient marqué rigoureusement les mêmes époques dans les deux continents. Il n'en est pas moins vrai que la contemporanéité de montagnes et d'accidents stratigraphiques diversement orientés paraît de plus en plus certaine.

**La théorie est mise complètement en défaut par le système des Pyrénées et par celui du Longmynd.** — Autrefois regardé comme intermédiaire entre l'époque crétacée et l'époque tertiaire, le système des Pyrénées a été quelque peu rajeuni depuis qu'on sait

que le terrain nummulitique méditerranéen, relevé dans ces montagnes, appartient à l'époque tertiaire. Il en résulte que les Pyrénées se trouvent justement de même âge que le système de la Corse, orienté cependant de toute autre façon. D'un autre côté, l'auteur des deux systèmes rapporte aux Pyrénées plusieurs accidents stratigraphiques parallèles au même cercle de comparaison, notamment dans le nord de l'Allemagne et le Harz, les Carpathes, le pays de Bray, etc., accidents qui viennent se placer entre l'époque crétacée et l'époque tertiaire. Ici la théorie se trouve complètement en défaut, puisque des chaînes qui ne sont ni parallèles ni perpendiculaires entre elles ont le même âge, et que les accidents orographiques d'époques différentes affectent néanmoins des directions parallèles au cercle de comparaison du système auquel ils avaient été attribués par erreur.

Même observation en ce qui concerne le système du Longmynd, regardé par M. Élie de Beaumont comme antérieur au terrain silurien, et reconnu plus récent par les géologues anglais.

**A quel point laissent à désirer l'établissement et la détermination de plusieurs systèmes.** — D'après ce qui précède, je me crois autorisé à douter aussi fortement de la loi du synchronisme des directions parallèles à grande distance que de l'existence du réseau pentagonal. J'affirmerais la même chose des directions perpendiculaires, et je citerais des exemples à l'appui de mon dire, si je ne craignais de fatiguer le lecteur. Je dois cependant montrer à quel point laissent à désirer l'établissement et la détermination de plusieurs systèmes.

**Bretagne et Vendée.** — Certains mouvements du sol de la Bretagne sont rapportés aux systèmes de la Vendée, du Finistère, du Morbihan et du Longmynd, uniquement à cause de leur orientation. L'auteur des systèmes de montagnes convient lui-même que ce procédé de constatation, qui suppose démontré ce qui est en question, n'est pas le plus satisfaisant. Mais il n'y a là qu'un fait de simple application : voici qui me paraît plus grave.

**Vallée du Doubs.** — A propos du système de la vallée du Doubs, M. Vézian s'exprime de la manière suivante (*Prodrome de géologie*) : « Ces diverses circonstances nous avaient d'abord engagé à placer » la date de l'apparition du système de la vallée du Doubs entre les » périodes oolitique inférieure et oxfordienne, en rajeunissant le » système de l'Oural, et en plaçant celui-ci entre les périodes ox- » fordienne et corallienne. Cette manière de voir n'ayant pas été

» adoptée par M. Élie de Beaumont, nous l'avons modifiée en don-  
 » nant au système de la vallée du Doubs une date plus ancienne. Le  
 » terrain oolitique inférieur est divisible au moins en deux étages,  
 » et c'est entre ces deux étages que le système de la vallée du Doubs  
 » pourrait trouver sa place. Les observations géologiques que nous  
 » avons faites aux environs de Besançon nous ont conduit à recon-  
 » naître comme étant très-admissible cette manière d'apprécier l'âge  
 » de ce système. »

**Vallée du Rhône.** — Voici de quelle manière le même géologue établit son système de la vallée du Rhône. Il trouve que la direction du système de la Corse, qui ne diffère que de 4 degrés environ de celle du système du nord de l'Angleterre, orienté du nord au sud, s'adapte mal, en France et ailleurs, aux lignes stratigraphiques dirigées dans le sens du méridien. Il ne croit pas qu'on doive y voir le résultat de déviations ou de directions d'emprunt ; il repousse également, jusqu'à preuve du contraire, l'hypothèse de deux systèmes voisins par leur âge, dont l'un aurait l'orientation de celui du nord de l'Angleterre et dont l'autre serait le système de la Corse. « Ne » vaudrait-il pas mieux, » continue M. Vézian (*Prodrome*), « ou mo- » difier l'orientation du système de la Corse et l'amener à coïncider » avec le système du nord de l'Angleterre ; ou, tout en conservant » au système de la Corse la direction qui lui a été donnée par » M. Élie de Beaumont, le rajeunir de manière à le rendre con- » temporain de celui du Tatra?... Ce serait, selon nous, la meilleure » solution que pourrait recevoir ce problème de stratigraphie, mais » il ne nous appartient pas de la rendre définitive.

» Pour éviter toute confusion, j'inscris... le système de la Corse, » en lui conservant l'âge et l'orientation qui lui ont été accordés » par M. Élie de Beaumont. Je place immédiatement après lui un » système que j'appelle système de la vallée du Rhône, et que je consi- » dère comme récurrent du système du nord de l'Angleterre. L'âge » que je donne provisoirement au système de la vallée du Rhône » est le même que celui du système de la Corse. »

**Mont Serrat.** — Semblables perplexités à propos du système du mont Serrat. Il est, en effet, postérieur au terrain pliocène ou subapennin, qu'il a soulevé ; mais le système des Alpes principales a également soulevé le même terrain. Comme ils ont une orientation différente, ils ne sauraient être de même âge ; aussi M. Vézian, considérant que le système des Alpes principales vient immédiatement après le terrain pliocène, se décide-t-il à intercaler son sys-

tème du mont Serrat entre les deux étages dont se compose le terrain pliocène méditerranéen. « Le système du mont Serrat », ajoute cet auteur, « se trouve ainsi rangé entre les systèmes des » Alpes occidentales et des Alpes principales, et il n'est pas indifférent de remarquer qu'il divise en deux parties à peu près égales l'angle obtus formé par ces deux derniers systèmes. M. Élie de Beaumont fait observer que le *système du Nador* signalé par M. Pomel, se rapproche beaucoup par son âge comme par sa direction de celui du mont Serrat. En outre, M. Pomel considère le *système du Nador* comme séparant le terrain subapennin en deux parties. Les observations de ce géologue rapprochées des nôtres donnent une grande probabilité à l'existence d'un système de montagnes antérieur à celui des Alpes principales, postérieur à celui des Alpes occidentales et offrant une direction très-voisine de celle du système du mont Serrat, peut-être même identique avec elle. »

**Axe volcanique méditerranéen.** — Désirant abrégier, je terminerai par une dernière citation. Il s'agit du système de l'axe volcanique méditerranéen, que M. Vézian croit devoir réunir à celui des Alpes principales. « La bande... que M. Élie de Beaumont désigne sous le nom d'*axe volcanique méditerranéen*, serait, d'après lui, distincte du système des Alpes principales. Dans un travail qui date de plusieurs années, j'avais cru devoir adopter cette opinion. Mais, en dernière analyse, il me paraît plus simple et plus conforme aux faits et aux idées théoriques qui ont été exposés dans les chapitres précédents, de considérer l'axe volcanique méditerranéen et le système des Alpes principales comme formant une seule et même chose. D'ailleurs, il est impossible, dans la pratique, de les distinguer entre eux. Ils appartiennent à la même époque. Leurs grands cercles de comparaison sont tous deux perpendiculaires à celui qui représente le système du Ténare... »

S'il est vrai que les théories se jugent à l'usage, que penser d'une doctrine si élastique et en même temps d'une application si difficile ; qui autorise de pareils tâtonnements, qui se contente de tels à peu près, qui choisit presque indifféremment, entre deux solutions contradictoires, la plus conforme à ses convenances ?

**Objections portant sur le fond de la théorie.** — Aux observations qui précèdent, et qui ont principalement trait à l'application, j'ajouterai les considérations suivantes, qui portent sur le fond de la théorie.

Si le globe terrestre était une matière homogène appartenant à

une seule espèce minéralogique, on comprendrait, à la rigueur, qu'en se refroidissant il eût pris la forme d'un cristal dérivé du système cubique, et que les arêtes en eussent été orientées avec une précision mathématique. Encore serait-il presque miraculeux que toutes les faces eussent atteint un égal développement, ou, en d'autres termes, que le cristal fût parfaitement régulier; car on ne rencontre pas plus facilement un cristal irréprochable que deux feuilles du même arbre exactement semblables. Mais la Terre est loin de se trouver dans de pareilles conditions. D'ailleurs ce n'est pas à la cristallisation, c'est à la contraction, au retrait produit par le refroidissement qu'on attribue les fissures et les accidents de son écorce solide. D'après M. Élie de Beaumont, « les effets de la contraction de la masse interne du globe ont une » analogie sensible avec ceux du retrait qui a produit la division » du basalte en prismes à trois, à quatre et plus souvent encore à six » faces. Le basalte se divise en prismes hexagonaux parce que le *tri-* » *gle équilatéral*, le *carré* et l'*hexagone* sont les seuls polygones régu- » liers qui puissent servir à diviser un plan en parties toutes égales » entre elles, comme on le voit dans les appartements carrelés; et » que, parmi ces trois polygones, l'hexagone est celui qui a le plus » grand nombre de côtés et le *périmètre minimum* pour une surface » donnée. Mais, à cause de l'*excès sphérique*, la sphère n'est pas di- » visible en hexagones réguliers ni en quadrilatères à angles droits; » elle ne peut être divisée par des arcs de grands cercles qu'en *tri-* » *gles équilatéraux*, en *quadrilatères à angles de 120 degrés* et en » *pentagones réguliers*. Le pentagone remplace ici l'hexagone; de là » l'introduction du nombre de cinq et les diverses combinaisons qui » en résultent. »

Voilà qui est très-net et très-explicite. Les mailles du réseau pentagonal ont été dessinées, à la surface du globe, par un retrait analogue à celui du basalte. Mais alors ce réseau ne peut avoir aucune régularité, et doit se composer d'un mélange de pentagones, de triangles, de quadrilatères ici plus gros, là plus petits, avec côtés fort irréguliers, avec angles de valeur très-inégaie. La surface terrestre, en un mot, doit entièrement ressembler à celle d'une coulée de basalte, dans laquelle on ne trouve certainement pas deux hexagones ou deux quadrilatères exactement pareils. Mais puisque le réseau pentagonal doit obéir aux lois rigoureuses de la géométrie, sous peine de ne pas être, et que la plus grande irrégularité préside à la disposition des fissures de retrait du globe, en supposant

qu'elles soient déjà formées, ce réseau n'a qu'une existence imaginaire.

J'ai laissé échapper un doute relatif aux fissures de retrait du globe terrestre. Évidemment elles sont en grand nombre ; on doit leur attribuer une partie des accidents stratigraphiques. Mais ces fissures, toutes superficielles, n'affectent que l'écorce solide, c'est-à-dire une pellicule infiniment mince relativement aux dimensions de la planète, et n'ont rien de commun avec celles du réseau pentagonal. Dans une enveloppe si ténue, les fissures géométriques de retrait analogues aux prismes du basalte ne sont point encore dessinées. C'est, en effet, quand une substance en fusion commence à se solidifier, c'est pendant que l'argile ou l'amidon délayé commence à durcir dans toute sa masse, que se produisent les prismes et les fentes. Avant que la planète soit consolidée jusqu'à son centre, ou à peu près, on ne verra donc point apparaître les figures du réseau pentagonal ; et si ce dernier doit jamais se former, il n'existe point encore. C'est aux époques lointaines où la Terre, semblable à la Lune, aura englouti ses mers et son atmosphère, qu'éclateront les grandes crevasses. Hélas ! il n'y aura plus alors de géologues pour en relever les directions ; et sans doute les fissures apparaîtront béantes et largement ouvertes, comme les rainures que nous apercevons à la surface de notre satellite. Hypothèse pour hypothèse, je préfère les rainures terrestres au réseau pentagonal.

Si ce réseau a été dessiné par les grandes crevasses de retrait du globe, pourquoi les failles et les accidents orographiques n'ont-ils pas été formés à peu près en même temps, comme se produisent les fissures de retrait dans une substance quelconque, et pourquoi y a-t-il de si grandes différences d'âge parmi les montagnes ? La gravité de cette objection n'a pas échappé à M. Vézian, qui est porté à attribuer à des causes différentes la formation des montagnes et celle des fissures de l'écorce solide. Mais cette explication, loin de résoudre la difficulté, me paraît de nature à ébranler fortement l'édifice du réseau pentagonal, lequel n'a sa raison d'être qu'à la condition de provenir exclusivement du retrait d'une masse primitivement fluide.

J'ai montré, par de nombreux exemples, que le trajet à la surface du globe des accidents orographiques, pas plus que leur orientation, n'offre cette exactitude rigoureuse sans laquelle on ne peut songer à les rattacher à une figure géométrique régulière. Il est bon d'insister encore à cet égard. Un simple coup d'œil jeté sur une bonne

carte à grande échelle suffit pour faire reconnaître qu'aucun accident du sol, aucune montagne, aucune vallée ne se maintient en ligne droite sur une longueur de plus de quelques dizaines de kilomètres. Le contraire eût semblé merveilleux, puisque tous ces accidents ne proviennent que de ruptures, d'effondrements, de compressions latérales, de soulèvements, en un mot d'actions purement mécaniques, toujours fortuites et successives. Les chaînes les moins infléchies, telles que l'Oural et les Pyrénées, ne sont qu'approximativement rectilignes ; les chaînons orientés dans le même sens, comme ceux des Alpes centrales ou occidentales, ceux des Pyrénées françaises, etc., ne sont qu'approximativement parallèles, pour peu qu'ils atteignent une certaine longueur. Il en est de même des failles et des filons. Les lignes de fracture du globe jalonnées par les volcans qui bordent le Grand Océan sur les côtes de l'Amérique et de l'Asie, et qui le traversent dans les îles de l'Océanie, sont extrêmement contournées et irrégulières. C'est plutôt éluder la difficulté que la résoudre, de ne considérer qu'une portion de leur trajet ou d'en déterminer l'orientation d'après l'alignement de quelques points. Le plus grand nombre des arêtes, des ruptures, des lignes de volcans sont manifestement courbes, sinueuses ou brisées, et formées par des tronçons très-diversement agencés ; et cependant toutes leurs parties ont le même âge. Quelle qu'en soit l'ancienneté relative, toutes les crêtes montagneuses, toutes les ramifications de chaînes dessinent incontestablement les grandes fractures du sol. Il est de la dernière évidence que ces accidents échappent à toute symétrie, et qu'un grand cercle de la sphère n'en rencontre sur son trajet qu'un nombre infiniment petit, et toujours d'une manière fortuite. Pourquoi alors essayer de les rattacher à un réseau géométrique régulier ?

**Ce qu'on doit réellement entendre par système de montagnes.** — Lorsqu'on voit des ensembles orographiques aussi continus et aussi homogènes que les Alpes, les Pyrénées, les monts Scandinaves, le Caucase, l'Oural, la Cordillère des Andes, etc., l'esprit se refuse à les démembrer en autant de systèmes qu'on croit remarquer d'orientations différentes dans leurs chaînons, et à en rattacher les tronçons à des montagnes, des fractures ou des volcans situés quelquefois dans un autre hémisphère. J'aime mieux me placer à un point de vue que je regarde comme plus rationnel, et dire que le *système des Pyrénées* se compose uniquement de la chaîne du même nom, encore qu'elle puisse n'avoir pas été formée

d'un seul jet ; et je laisse au *système* ou *chaîne* du Harz, au système des Carpathes, à la chaîne des Apennins les accidents stratigraphiques de ces montagnes fortuitement parallèles à l'axe des Pyrénées. Ce n'est pas faire rétrograder la science que de la ramener vers son point de départ quand elle s'est fourvoyée. Les recherches relatives à l'âge des montagnes seront toujours au nombre des plus sérieuses de la géologie, et il sera intéressant de savoir s'il existe ou non des rapports entre l'orientation des accidents du sol et leur ancienneté. Mais, à mon avis, le problème doit être repris dès le commencement, et la solution en sera donnée par une analyse minutieuse des faits et non par une synthèse prématurée. Comme je le disais plus haut : ce n'est que lorsqu'on aura déterminé, avec la précision la plus rigoureuse, et par l'observation directe, l'âge relatif de la plupart des montagnes du globe, qu'on pourra reconnaître s'il y a ou non quelque coïncidence entre leur date et leur direction.

**Résumé de la discussion.** — Je crois utile de résumer cette longue discussion en énumérant, mais dans un ordre différent, les arguments de diverse valeur qui ont été invoqués pour démontrer le peu de fondement de la théorie des systèmes de montagnes et du réseau pentagonal.

1° La régularité même du réseau pentagonal prouve qu'il n'existe pas. Des accidents stratigraphiques produits sur une enveloppe sphérique par des déchirements, des refoulements et des actions mécaniques successives, ne peuvent affecter aucune symétrie.

2° De l'aveu même de son auteur, le réseau provient de fissures de retrait analogues à celles du basalte. Pas plus que dans les coulées basaltiques ces fissures ne circonscrivent des prismes pareils et de même espèce. Donc le réseau est fort irrégulier, s'il existe, et les lois relatives aux systèmes de montagnes reposent sur des illusions.

3° Les fissures actuelles de l'écorce solide n'ont rien de commun avec celles qui produisent les prismes de retrait, et qui se formeront vers le moment où la terre sera consolidée jusqu'à son centre, si elles se forment. Donc le réseau pentagonal n'existe point encore.

4° Si le réseau est la conséquence du retrait du globe (et il ne peut avoir une autre origine), toutes les montagnes, tous les accidents stratigraphiques sont contemporains, ou à peu près. Or, l'observation montre qu'il en est autrement.

5° Le réseau pentagonal est une conception théorique qui ne cadre pas avec la réalité. En effet, le trajet des montagnes, les failles, les fissures, les alignements volcaniques, échappent à toute régularité, à toute symétrie, et les directions rectilignes constituent l'exception.

6° On ne peut installer le réseau pentagonal sur le globe qu'en acceptant des écarts angulaires de plusieurs degrés ; ce qui est absolument incompatible avec l'existence d'une figure géométrique régulière.

7° L'application en est illusoire, puisque des tolérances de plusieurs degrés dans l'orientation des grands cercles sont admises suivant les besoins ; que d'ailleurs les directions et les croisements se trouvent si multipliés, qu'une ligne jetée au hasard coïnciderait souvent avec les mailles du réseau ; enfin que la théorie peut appeler à son aide les directions épigéniques et les directions récurrentes, plutôt supposées que démontrées.

8° Le synchronisme des accidents fortuitement échelonnés sur le trajet d'un grand cercle de la sphère ou parallèles à grande distance ou perpendiculaires est de même plutôt supposé que démontré. Dans plusieurs circonstances, ce principe est manifestement faux. Sans lui, cependant, la théorie s'écroule.

9° Les hésitations, les tâtonnements, les à peu près qui ont présidé à l'établissement de beaucoup de systèmes orographiques, ne sont pas de nature à inspirer une confiance bien robuste dans la théorie.

**Age relatif de quelques montagnes de l'Europe.** — Je terminerai ce chapitre en indiquant sommairement l'âge relatif de quelques montagnes de l'Europe, sans vouloir me porter garant des déterminations, dont plusieurs ne peuvent être regardées comme définitives. Il s'agit de l'époque géologique à laquelle ont apparu les derniers reliefs de chaque système.

*Collines de la Bretagne, de la Vendée, du Limousin.* — Dans les anciennes îles du massif Breton et du Plateau central, un grand nombre de collines arrondies, de mamelons et de plis de terrain diversement orientés sont formés par le granite éruptif ou par les schistes cristallins. On peut donc les considérer comme les premières montagnes soulevées. Elles n'ont qu'un faible relief.

*Alpes Scandinaves.* — D'après Durocher, la partie de cette chaîne orientée du nord-nord-est au sud-sud-ouest, comprise entre le 64°

et le 68<sup>e</sup> degré de latitude, et désignée plus particulièrement sous le nom de monts Kieulen, a précédé l'époque silurienne. Ces montagnes sont assez élevées.

*Chaîne du Hunsrück.* — Dirigées à peu près du sud-ouest au nord-est, ces montagnes consistent en mamelons déprimés, d'une faible élévation, qui ont achevé de se constituer vers la fin de l'époque silurienne et avant l'époque devonienne.

*Chaînes des Vosges et de la forêt Noire.* — Ce sont deux chaînes jumelles et parallèles, orientées à peu près du nord au sud, séparées par la vallée du Rhin et situées, l'une en Alsace, l'autre dans le pays de Bade. Elles consistent en ballons et en mamelons plus élevés que ceux du Taunus, et dont les derniers venus datent de la fin de la période paléozoïque.

*Chaîne du Thüringerwald.* — Toujours de médiocre élévation, les montagnes de la Thuringe s'étendent vers le nord-ouest de l'Allemagne, et courent à peu près du nord-ouest au sud-est. Leurs principaux reliefs se sont formés vers la fin du trias.

*Chaîne de l'Oural.* — Déjà plus considérables, ces montagnes, qui séparent la Russie de la Sibérie, se dirigent à peu près du nord au sud, mais avec diverses inflexions, sur une longueur de près de 20 degrés en latitude. Probablement elles ont apparu vers le milieu de l'époque jurassique.

*Chaîne des Pyrénées.* — Elles séparent la France de l'Espagne. Les formes deviennent hardies, la hauteur dépasse 3000 mètres. La chaîne court de l'ouest à l'est, un peu inclinée vers le sud. Son âge la place entre le terrain nummulitique méditerranéen, qu'elle a soulevé, et le terrain miocène (tertiaire moyen) du bassin de la Garonne, qui demeure horizontal à ses pieds. A en juger d'après son versant français, elle date, par conséquent, du premier terme de l'époque tertiaire.

*Montagnes de la Corse et de la Sardaigne.* — Elles s'étendent presque directement du nord au sud, et sont un peu moins élevées que les Pyrénées, dont elles ont exactement l'âge, puisque M. Élie de Baumont admet qu'elles ont apparu immédiatement avant l'époque miocène.

*Chaîne des Alpes.* — Ce sont les montagnes les plus élevées de l'Europe intérieure et celles dont la forme est la plus hardie. Situées entre la France, la Suisse et l'Allemagne, d'une part, et l'Italie, d'autre part, elles décrivent un immense arc de cercle, courant à peu près du sud au nord, puis de l'ouest à l'est. Elles paraissent

n'avoir acquis leur relief définitif que vers le commencement de l'époque quaternaire.

Je suis obligé d'arrêter ici cette énumération, que le manque de renseignements précis rend nécessairement fort incomplète. J'ajouterai cependant que les plus hautes montagnes du globe, par exemple la Cordillère des Andes et l'Himalaya, paraissent de date encore plus récente, et qu'elles ont quelquefois déplacé des alluvions qu'on rapporte à l'époque quaternaire, et même à l'époque actuelle. L'homme a donc assisté à la formation de ces immenses montagnes, ainsi qu'à celle des Alpes, s'il est bien établi qu'il existait à l'époque tertiaire.

---

## CHAPITRE VII

### ÉPOQUES GÉOLOGIQUES

**Époques géologiques.** — Le globe terrestre nous est suffisamment connu. Nous savons quelle en est l'origine probable et quelle place il occupe dans l'univers; l'étude des phénomènes qui se passent sous nos yeux nous a aidés à comprendre ceux dont il fut autrefois le théâtre, et ces derniers ont été exposés avec tous les détails, mais aussi avec toute la réserve que comporte une matière aussi délicate. En un mot, je me trouve arrivé au point où la géologie générale fait place à la géologie descriptive; et je terminerais ici cet ouvrage si je ne tenais à résumer, dans un dernier chapitre, toute l'histoire de notre planète. En pareille occurrence, il semble que l'imagination puisse se donner libre carrière. Je m'efforcerai néanmoins de réprimer les écarts de cette *folle du logis*, et de ne rien avancer que je ne puisse justifier. Je n'ose prétendre que tout se soit passé comme je le dirai, mais j'affirme que tout ce que je dirai a pu se passer. Sauf quelques points encore obscurs, l'histoire du globe nous est au moins aussi bien connue que celle des sociétés humaines. Dans l'une comme dans l'autre, les récits les plus anciens sont les plus incomplets et les plus merveilleux; cependant, par un singulier hasard, quand nous nous rapprochons de l'époque actuelle, la suite des événements géologiques nous échappe en grande partie. Espérons que le moment approche où le voile qui les dérobe encore à notre vue sera complètement soulevé.

Je décrirai les époques géologiques en commençant par les plus anciennes. Le lecteur voudra bien se rappeler qu'elles représentent des divisions un peu artificielles, et jusqu'à un certain point provisoires. Suivant la manière de considérer les choses, on peut, sans grand inconvénient, en augmenter ou en diminuer le nombre. On pourrait de même en déplacer les limites, à condition que l'ordre de succession ne fût point modifié. Je dois encore avertir que la plupart des détails dans lesquels je vais entrer, et notamment tout ce qui a trait à l'ordre d'apparition des familles animales et végétales, ne concerne que l'ancien continent, et en particulier l'Europe occidentale. Les hypothèses relatives à l'origine du globe ayant été suffisamment développées dans la première partie de cet ouvrage, je prendrai l'histoire de la planète non pas tout à fait à son début, mais à partir du moment où, déjà séparée de la nébuleuse solaire, et ayant perdu la matière périphérique qui a donné naissance à la lune, la terre est devenue un astre indépendant, et commence à quitter l'état de *nébuleuse*.

**La terre nébuleuse et étoile nébuleuse.** — C'était alors une sphère immense, entièrement incandescente, et lumineuse par elle-même. Abandonnée à ses propres forces, elle ne dut pas tarder à se condenser. Il se forma ou il s'était déjà formé, vers le centre, un noyau des matières les plus lourdes et les moins volatiles. La terre ressemblait à une *étoile nébuleuse*. La condensation aidant, ce noyau grossit aux dépens de la zone gazeuse extérieure ; et peu à peu la substance de l'astre en voie de constitution se trouva séparée en deux masses de plus en plus distinctes, savoir une *atmosphère* extrêmement étendue et une *pyrosphère* centrale à l'état de fusion ignée. La terre était un *soleil*.

**La terre soleil et planète.** — Nous ne pouvons nous faire une idée de sa température, sans doute excessive, et entretenue, si non augmentée, par une foule d'actions chimiques devenues possibles grâce à la condensation. Aucune matière ne pouvait exister sous la forme solide, et tous les corps volatils que les combinaisons n'avaient pas fixés se trouvaient en vapeur. Infiniment plus étendue et plus épaisse qu'aux époques subséquentes, et chargée d'une énorme quantité d'acide carbonique et d'autres gaz, l'atmosphère renfermait encore toutes les eaux terrestres et une infinité de corps simples. Nul doute que la terre n'eût alors donné un spectre analogue à celui de certaines étoiles. Cependant le refroidissement faisait de rapides progrès, notre globe, devenu compacte, perdant

plus de chaleur qu'il n'en pouvait gagner par les actions chimiques. Il arriva un moment où la température fut assez basse pour que le passage à l'état liquide des substances atmosphériques les moins volatiles pût s'effectuer. Alors se précipitèrent des pluies de métaux fondus et d'autres matières connues seulement de nos jours sous la forme solide. Incessamment vaporisés et repoussés au contact de la sphère incandescente, ces divers corps remontaient en épais nuages dans les régions supérieures de l'atmosphère, où le refroidissement les condensait de nouveau. Insensiblement elle se dépouilla des moins volatils, qui se mêlèrent ou se combinèrent aux éléments de la pyrosphère embrasée, et se disposèrent dans son intérieur suivant l'ordre de leur densité. Peu à peu le globe perdit son éclat lumineux et son excès de chaleur. Une croûte solide et obscure s'était formée à l'extérieur. De soleil la terre était devenue *plannée*.

**Période cosmique.** — Mais la lutte entre les éléments n'avait pas cessé. A son tour l'eau put se condenser à l'état liquide. Sans cesse repoussée au contact de la surface terrestre, encore très-chaude, elle se dissipait dans les airs, pour se refroidir de nouveau et retomber en pluies intenses. Le refroidissement continuant, l'eau finit par l'emporter sur le feu, et les premiers océans furent constitués. L'établissement de cet ordre de choses marque la fin de la *période cosmique* de l'histoire de la terre : une ère nouvelle s'ouvre devant nous, les *temps géologiques* commencent.

**Période géologique.** — Il s'en faut de beaucoup, cependant, que la planète d'alors ait ressemblé à celle d'aujourd'hui. La couche extérieure solidifiée n'avait qu'une faible épaisseur. A chaque instant elle était rompue et morcelée par le retrait, et la matière fluide sous-jacente se répandait à sa surface, contribuant à en consolider les fragments. Les montagnes ne pouvaient exister. Un océan sans limite entourait le globe. L'atmosphère épaisse, nébuleuse, chargée de vapeur d'eau et sans cesse obscurcie par d'épais nuages, d'où s'échappaient des torrents de pluie, laissait à peine arriver à la surface des mers quelque pâle rayon de soleil. La chaleur était extrême, et l'énormité de la pression atmosphérique maintenait l'eau liquide à une température bien supérieure à son degré actuel d'ébullition. La vie organique n'avait point encore apparu.

De ce qui précède, il résulte que la terre était formée de quatre parties concentriques se recouvrant exactement les unes les autres.

C'était, à commencer par la plus extérieure : 1<sup>o</sup> une *atmosphère* épaisse et nébuleuse ; 2<sup>o</sup> une *mer* peu profonde et sans rivages ; 3<sup>o</sup> une *écorce solide* fort mince ; 4<sup>o</sup> un *noyau central* ou *pyrosphère* à l'état de fusion ignée. Telle est encore la constitution de la planète ; seulement l'importance relative et les rapports des quatre parties que je viens d'énumérer ont subi les modifications indiquées dans le cours de cet ouvrage. Désormais cesse la tâche de l'astronome et et du physicien, les époques géologiques commençant à partir du moment où les mers ont pu s'établir d'une manière permanente. Pour l'intelligence de ce qui va suivre, la connaissance des principes élémentaires et des classifications de la zoologie et de la botanique est à peu près indispensable, car je n'entrerai plus que dans des détails paléontologiques. Je dois donc supposer le lecteur muni de notions d'histoire naturelle équivalentes aux notions de chimie qui lui ont été nécessaires pour comprendre la description des minéraux et des roches, et je poursuis.

#### § 1. — *Époque azoïque.*

**Époque azoïque.** — Continuant à gagner en épaisseur par le refroidissement, l'écorce solide offre une résistance de plus en plus grande aux forces qui tendent à la soulever et à la briser. Pendant l'époque azoïque, les mouvements violents et les ruptures se manifestent à de plus longs intervalles, mais augmentent d'importance, l'effort croissant en raison de la résistance. Alors se formèrent des reliefs et des dépressions. Quelques îles surgirent dans l'immensité des eaux et les premières terres fermes apparurent. Mais de longs siècles s'écoulèrent avant que les continents pussent se grouper, et que les vastes bassins, qui en sont la contre-partie, renfermassent des océans distincts. Sans doute la chaleur était encore grande ; sans doute aussi l'atmosphère se trouvait impropre à la vie, car on n'a recueilli aucun fossile appartenant à l'époque azoïque, ainsi nommée à cause de cette particularité. Il est donc peu probable qu'il ait alors existé sur le globe des êtres animés.

**Premiers terrains de sédiment.** — Dès le début de cette période les sédiments se déposèrent au fond des mers, d'autant plus abondants que la température encore fort élevée des eaux et les substances qu'elles tenaient en dissolution, en raison même de cette température, favorisaient l'attaque et la destruction des roches déjà consolidées. Très-vraisemblablement la première sédimentation fut

mécanique. Il est à peu près impossible d'indiquer les assises formées à cette époque, un métamorphisme prolongé en ayant altéré les caractères au point de les rendre méconnaissables. Je renvoie donc le lecteur curieux de renseignements plus détaillés à la discussion relative au sol primordial. Il est de même presque impossible d'indiquer les terres fermes déjà émergées, puisque nous ne savons pas exactement en quoi consistait leur sol, et qu'à peine osons-nous rattacher les gneiss les plus inférieurs à l'époque azoïque, la partie moyenne de ce terrain renfermant peut-être déjà les premiers fossiles. Très-probablement c'est sur les emplacements de la péninsule Scandinave et de la Finlande, de l'Allemagne centrale, de l'Écosse et du pays de Galles, de la Bretagne, de la Vendée, du Plateau central de la France et de divers points de l'Espagne, de la Corse, de la Sardaigne et de la Turquie, que surgirent en Europe les premières terres fermes.

## § 2. — *Époque paléozoïque.*

**Époque paléozoïque ou de transition.** — L'apparition de la vie marque le début de cette nouvelle période, dont le nom signifie époque des animaux anciens, et qu'on désigne quelquefois sous le nom d'*époque de transition*. Encore confuses et obscurément stratifiées dans le principe, les assises qui se formaient au sein des mers ne tardent pas à devenir distinctes, et ne diffèrent bientôt en rien de celles des terrains de sédiment plus récents. Les injections ignées, les ruptures, les plissements en chevron et en zigzag, les contournements de couches abondent; d'énergiques froissements donnent à beaucoup de massifs la structure schisteuse et feuilletée. Les sédiments chimiques viennent s'intercaler fréquemment au milieu de ceux d'origine mécanique, qui prédominent cependant, surtout à la base du système. Les terres fermes gagnent en étendue autour de la plupart des points émergés, et des îles nouvelles apparaissent en assez grand nombre. L'Europe ressemblait alors à un vaste archipel. Encore médiocrement résistante, l'écorce solide livre passage à de nombreuses éruptions de roches ignées ou hydrothermales, parmi lesquelles dominent les granites et les porphyres. Des chaînes de collines et de véritables montagnes commencent à se dessiner. C'est de cette époque que datent un grand nombre d'accidents orographiques dans la péninsule Scandinave, la Finlande, la Pologne, l'Allemagne centrale, l'Écosse, le pays de

Galles, la Bretagne, la Vendée, le Limousin, le centre de l'Espagne, toutes terres généralement isolées et indépendantes les unes des autres; c'est alors qu'apparurent, en tout ou en partie, les Alpes scandinaves, le Hundsruok, le Taunus, l'Herzgebirge, etc. Cette période comprend un certain nombre de terrains qu'il importe d'étudier séparément.

**TERRAIN LAURENTIEN.** — Ainsi appelé parce qu'il occupe de vastes surfaces au Canada, sur les bords du fleuve Saint-Laurent, ce terrain est composé de gneiss, de calcaires et de schistes, et plus ou moins pénétré de roches éruptives et de filons. Il a été retrouvé en Bohême, en Bavière et ailleurs en Europe. Son énorme puissance, qui dépasse 10 000 mètres, peut autoriser à le considérer comme un terrain distinct. Les assises calcaires assez importantes qu'il renferme proviennent indubitablement de sources minérales, les premières sans doute qui aient existé, s'il demeure établi que les gneiss sont des roches métamorphiques hydrothermales provenant d'une sédimentation mécanique.

Si l'*Eozoon canadense*, qui caractérise le terrain laurentien, est bien réellement un fossile de nature animale, les *foraminifères* ou *rhizopodes* sont les premiers êtres dont l'existence soit officiellement constatée, mais non les premiers qui aient apparu. Ils ne pouvaient, en effet, subsister qu'aux dépens de matière organique, ce qui implique l'existence d'animaux, et partant de végétaux plus petits.

**Age relatif des fossiles.** — A ce propos, je dois faire observer que les époques d'apparition des êtres fossiles ne sont jamais données que provisoirement et avec une précision relative. Sans doute quelque partie des renseignements contenus dans ce chapitre ne sera plus tout à fait au courant de la science au moment où ces lignes passeront sous les yeux du premier lecteur. A chaque instant une découverte inattendue recule vers le passé l'origine de telle ou telle famille. Par exemple, l'espèce humaine, qui datait de l'époque actuelle pour Cuvier et son école, es reportée par Boucher de Perthes à l'époque quaternaire; pour M. Desnoyers, elle a commencé à la fin, et pour M. Bourgeois, au milieu de l'époque tertiaire. Le même fait se reproduit souvent : beaucoup de types seront vieilliss dans les deux règnes organiques, mais sans doute d'une quantité proportionnelle, de sorte que les rapports généraux ne se trouveront pas sensiblement modifiés.

Les végétaux, qui se nourrissent directement de la matière inor-

ganique, ont certainement précédé les animaux sur le globe. Nous ne connaissons cependant aucune plante de l'époque laurentienne, et ce n'est que sous toutes réserves qu'on ose rapporter à ces temps reculés l'*Equisetum Sismondæ* trouvé dans un bloc de gneiss de la Valteline. Néanmoins, cette espèce est la plus ancienne plante terrestre connue ; elle appartient à l'une des familles les plus élevées des cryptogamés. Si nous en jugeons d'après ce qui se passe sous nos yeux dans les récifs de formation récente, il est à présumer que des végétaux plus imparfaits, mousses, lichens, champignons, algues d'eau douce et d'eau salée, que la fossilisation n'a pas conservés, peuplaient alors les terres et les mers.

J'ai dit que, dans ces derniers temps, la nature animale de l'*Eozoon* a été contestée. MM. King et Rowney, par exemple, voient dans ce fossile, qu'ils prétendent avoir retrouvé dans une roche liasique de l'île de Skye, le résultat de perforations et de fentes dues à une cause purement mécanique. Si cette assertion est exacte, nous n'avons pas à modifier notre manière de voir en ce qui concerne l'existence même du terrain laurentien, et nous continuons à désigner sous ce nom toutes les couches azoïques (laurentien et huronien d'Amérique) comprises entre les schistes cristallins proprement dits et les assises fossilifères inférieures du terrain silurien, auquel on doit réunir, à mon avis, les rares espèces de la faune cambrienne. Il y a là un ensemble de strates nettement sédimentaires de plus de 12 000 mètres d'épaisseur, et ce massif est assez important pour mériter une place distincte dans la série. En conservant ainsi le terrain laurentien et en le délimitant comme je viens de l'indiquer, on supprime le terrain cambrien et le terrain cumbrien, sources éternelles de confusions et d'équivoques, tant les limites en sont mal établies. La géologie descriptive ne peut donc que gagner à cette combinaison.

**TERRAIN SILURIEN.** — La sédimentation continue avec beaucoup d'activité dans les bassins des mers, où se déposent des conglomérats, des grès et des ardoises entremêlés de puissantes assises calcaires. Elle s'opère d'ailleurs d'une manière fort inégale, le terrain silurien, qui n'a guère que 600 mètres d'épaisseur en Suède, atteignant en Angleterre 8000 mètres, auxquels il faut ajouter une bonne partie des 8000 mètres assignés dans le même pays au *terrain cambrien*. En Angleterre, en Bohême et ailleurs, des roches éruptives sont venues s'intercaler régulièrement entre les couches sédimentaires, dont elles simulent les affûres ; mais dans la pénin-

sule Scandinave, les sédiments se succèdent avec une remarquable uniformité, et sans aucun accident. Les grauwackes, les poudingues et les grès à gros éléments dominant de beaucoup, surtout à la partie inférieure du terrain silurien. On en a conclu, peut-être prématurément, que le climat était alors fort humide, et que des pluies torrentielles charriaient dans les bassins maritimes des sables et des cailloux roulés arrachés aux terres fermes. Mais ces matériaux ne pouvaient-ils pas aussi bien provenir des rivages battus par les vagues ? D'après certains géologues, l'abondance du calcaire à la partie supérieure du système indique, au contraire, un climat relativement sec, les mers n'ayant alors reçu aucun élément de charriage. Cela peut être vrai ; mais ne vaudrait-il pas mieux se borner à affirmer que, vers le milieu de l'époque silurienne, la sédimentation mécanique fut presque partout remplacée par la sédimentation chimique ? Ce que je dis ici s'applique à tous les temps ; et l'on constate à chaque instant des alternances des deux sédimentations, sans que, le plus souvent, on en puisse rien inférer de précis relativement au climat. Que l'atmosphère ait été d'ailleurs fort humide à l'époque silurienne, cela ne peut faire l'objet d'un doute, la chaleur étant toujours fort grande, puisque les animaux et les plantes qui existaient alors ne rencontrent leurs analogues que dans la zone équatoriale. L'absence d'animaux terrestres fait également présumer que son épuration n'avait pas accompli de grands progrès.

Les mers siluriennes occupaient de grandes surfaces dans la Russie et les États-Unis ; au contraire, dans l'Europe centrale et occidentale, elles formaient des bassins médiocrement étendus, et paraissant communiquer difficilement entre eux, à en juger d'après la diversité de leur faune. Ces bassins étaient principalement situés dans la péninsule Scandinave, la Bohême, le pays de Galles, la Bretagne, le centre de l'Espagne, etc., et leur dissémination dénote que les terres fermes avaient gagné en étendue. Le mot silurien est d'ailleurs une dénomination locale, adoptée parce que le terrain qu'elle désigne se trouve particulièrement développé en Angleterre dans l'ancien pays des Silures.

A partir du niveau caractérisé par l'*Eozoon canadense*, les couches sédimentaires se succèdent, sur une épaisseur de plusieurs milliers de mètres, sans qu'on y ait encore trouvé des fossiles. Cette pénurie dénote la rareté et nullement l'absence des animaux marins. Il ne faut pas oublier que le métamorphisme, les froissements et les refoulements du sol, la nature du milieu minéral et beau-

coup d'autres causes font disparaître ou rendent méconnaissables les fossiles, qui ont d'autant moins de chances de conservation qu'ils remontent à une époque plus ancienne. Il faut remarquer également qu'une foule d'animaux marins ne possèdent aucune partie solide et ne laissent pas de trace. Rien ne nous assure d'ailleurs que les couches réputées stériles le soient réellement, puisque l'expérience de chaque jour donne la preuve du contraire.

**Premiers êtres vivants.** — Enfin paraissent les premiers vestiges d'animaux marins. Ce sont des cavités cylindriques analogues à celles des annélides arénicoles, et de vagues empreintes qui semblent appartenir à des polypiers, à des annélides et à un trilobite. On a cru distinguer aussi les traces de plantes marines. Bientôt les marques deviennent plus nettes, et l'on ne tarde pas à trouver des fossiles complets. Les plus anciens sont des foraminifères, des polypiers, des échinides, des mollusques bryozoaires, brachiopodes et ptéropodes. Presque en même temps se montrent les trilobites, qui ont pullulé dans le terrain silurien, où ils atteignent leur plus grand développement numérique. Cependant les mers se peuplent rapidement. Les polypiers zoanthaires tabulés et rugueux, presque inconnus aux époques subséquentes; de nombreux crinoïdes, tout à fait caractéristiques; quelques avant-coureurs de l'importante classe des échinides; les graptolithes; d'innombrables mollusques brachiopodes appartenant à des genres dont quelques-uns subsistent encore; des mollusques acéphales et gastéropodes moins abondants; des céphalopodes fort nombreux, tous de la catégorie des tentaculifères à cloisons lisses, dont les genres sont quelquefois représentés par des centaines d'espèces; des trilobites extrêmement variés et quelques crustacés inférieurs; des serpules et d'autres annélides; enfin des poissons ganoïdes: tel est le bilan de la faune silurienne, qui compte plus de 10 000 espèces. C'est dans les couches supérieures que les animaux vertébrés font leur apparition; et c'est en Angleterre, en Bohême et surtout en Russie, qu'on a trouvé les premiers vestiges des poissons, qui rappellent ceux du terrain devonien, et dont les ossements et les débris épars forment, dans certaines localités anglaises, une couche d'une grande étendue superficielle.

**Caractéristiques de la faune silurienne.** — En résumé, l'époque silurienne est le règne des polypiers zoanthaires rugueux et tabulés, des crinoïdes cystidés, des graptolithes, des mollusques

brachiopodes, des céphalopodes nautilides et des trilobites. Les brachiopodes forment à peu près les  $\frac{3}{10}$  des mollusques paléozoïques et seulement le  $\frac{1}{200}$  des mollusques actuels : en 1850, Bronn en enregistrait déjà 589 appartenant en propre à l'époque silurienne ; aujourd'hui on en connaît plus de 1500. Les mollusques céphalopodes ont fourni à M. Barande 1622 espèces, dont 373 Cyrthocères et 851 Orthocères. Les trilobites sont au nombre de plus de 1700 espèces. Une famille remarquable de polypiers, celle des graptolithes, prend naissance et s'éteint dans les mers siluriennes.

**Flore silurienne.** — Difficile à conserver par la fossilisation, les algues marines ne sont connues que par des empreintes assez frustes. Jusqu'à présent les plantes terrestres n'ont été signalées d'une manière certaine que dans les couches supérieures : ce sont des types voisins des lycopodiacées. Sans doute elles existaient précédemment. Sans parler en effet, de l'*Equisetum Sismondæ*, dont le vrai gisement est encore inconnu, il est permis d'attribuer à des végétaux terrestres les veines charbonneuses et les amas d'antrace qu'on commence à trouver dans le terrain silurien, ainsi que le graphite du terrain laurentien du Canada.

**Faune silurienne.** — Décrivons rapidement les principaux types de la faune silurienne.

**Amorphozoaires.** — Nous n'avons pas à nous arrêter à l'embranchement des *amorphozoaires*, qui n'est guère représenté que par quelques éponges, et dont les principaux groupes ont été indiqués dans la troisième partie de cet ouvrage.

**Rayonnés.** — Les *rayonnés* siluriens appartiennent à la classe des *polypiers* et à celle des *échinodermes*.

**Polypiers.** — Les *polypiers* sont tantôt isolés, tantôt agrégés en colonies. Fixé au sol par sa base, un polypier, considéré isolément, se compose d'un *corps* ayant l'apparence d'un cylindre ou d'un cône renversé, et portant à sa partie supérieure une bouche entourée de tentacules. La cavité digestive en occupe le centre ; elle forme une sorte de tube tapissé intérieurement par une membrane plissée de manière à constituer un cercle plus ou moins régulier de lames verticales. Quelquefois les polypiers restent mous ; plus habituellement ils durcissent en s'incrustant d'une matière appelée sclérenchyme. Ces derniers seuls forment des récifs et sont bien conservés par la fossilisation. Les parties pierreuses du polypier consistent principalement dans la *muraille* qui l'enveloppe à l'ex-

térieur et lui donne sa forme propre, et dans les lames ou *cloisons* verticales qui rayonnent dans la cavité interne, normalement à la muraille. On appelle *côtes* les saillies extérieures de ces cloisons, quand elles se prolongent au dehors de la muraille. Peu nombreuses chez les jeunes polypiers, les cloisons ne tardent pas à se multiplier en formant des cycles réguliers, qui augmentent en nombre suivant des lois connues. Tantôt elles laissent une cavité libre au centre du polypier, tantôt elles s'y rejoignent de manière à former une *columelle*, sur laquelle prennent quelquefois naissance des lames rayonnant du centre à la circonférence. Enfin les *chambres* ou cavités circonscrites par les lames verticales se trouvent souvent partagées en étages par des lames horizontales formant des *planchers* ou de simples *traverses*.

Les polypiers siluriens font presque exclusivement partie des familles des *zoanthaires tabulés*, des *zoanthaires rugueux* et des *graptolithes*.

**Zoanthaires.** — Les *zoanthaires*, en général, se distinguent par leurs tentacules simples ou ramifiés, jamais bipennés; ils n'ont qu'un assez petit nombre de cloisons. Celles-ci font défaut ou n'existent qu'à l'état rudimentaire dans le groupe des *tabulés*, dont les chambres verticales sont divisées en étages par de nombreux planchers interceptant chacun la chambre entière (fig. 123, 124, 125).

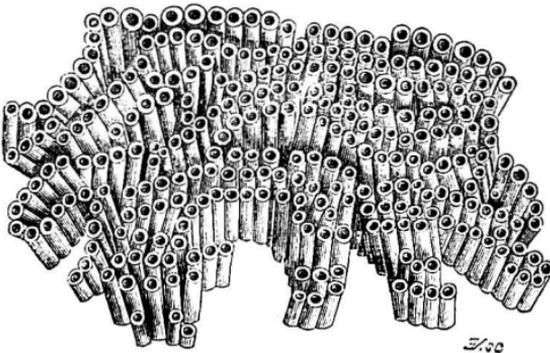


Fig. 123. — *Halysites agglomerata*.

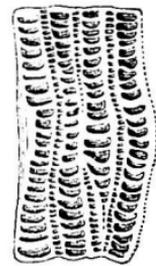


Fig. 124. — Le même en section transversale grossie.

Les *zoanthaires rugueux* manquent également de cloisons ou n'en ont qu'un petit nombre. Souvent incomplètes, ces cloisons ne sont jamais percées. La chambre viscérale est fréquemment partagée en étages par des planchers (fig. 126, 127).

**Graptolithes.** — Les *graptolithes*, dont les affinités zoologiques

sont encore mal établies, consistaient en cellules toutes semblables entre elles, disposées sur une ou deux lignes le long d'une tige

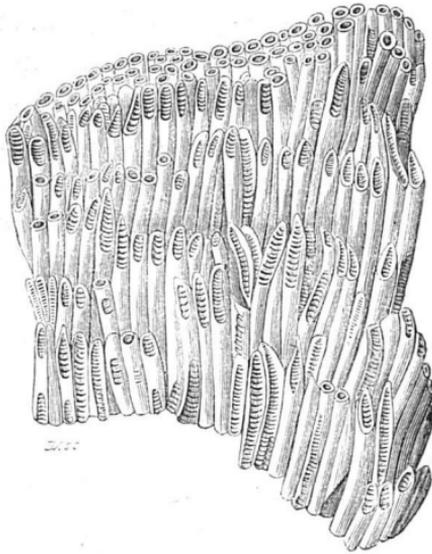


Fig. 125. — *Halysites agglomerata*.

droite ou recourbée en spirale ; le tout ressemblant à un ressort de montre denté en scie. Chaque cellule renfermait probablement un

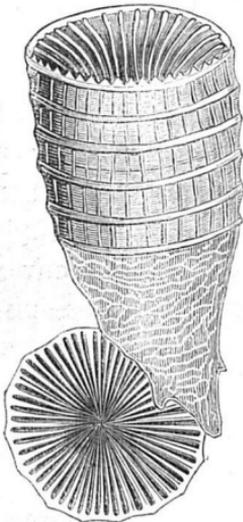


Fig. 126. — *Omphyma turbinata*.

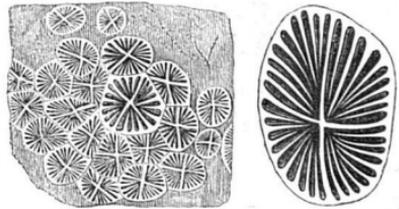


Fig. 127. — *Stauria astreiformis*.

animal distinct, soudé à ses voisins de façon à former une colonie à la manière des polypiers agrégés. Les figures ci-dessous

représentent les principaux types de cette singulière famille, absolument propre à l'époque silurienne (fig. 128, 129, 130).

**Echinodermes.** — La classe des *échinodermes* est représentée par les ordres des *crinoïdes*, des *stellérides* et peut-être des *échinides*. Cette classe est la plus élevée de l'embranchement, les animaux qui en font partie ayant un système nerveux distinct, un appareil digestif assez compliqué, des mandibules, des branchies respiratoires, des ovaires, quelquefois des yeux.

**Crinoïdes.** — Les *crinoïdes* ont été souvent comparés aux étoiles de mer renversées. Ils consistent, en effet, en un corps évasé en



Fig. 128.  
Graptolithus turriculatus.

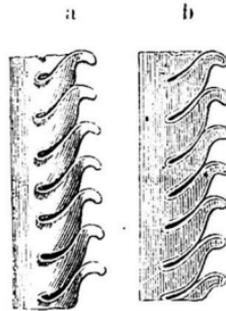


Fig. 129.  
Graptolithus priodon.  
a, fragment grossi vu de côté ; b, section longitudinale du même.

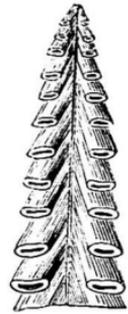


Fig. 130.  
Diprion pristis :  
fragment grossi.

cupule, renfermant les principaux organes et représentant la région centrale des astéries. Ce corps ou *calice*, formé à l'extérieur par un très-grand nombre de pièces articulées entre elles, est entouré de *bras* également articulés, et quelquefois ramifiés à l'infini. Le calice est clos en dedans et en dessus par une *voûte* recouvrant les viscères, et formée de pièces qui aboutissent au-dessus du niveau de l'insertion des bras. La bouche s'ouvre à la partie supérieure et au centre de la voûte, et l'anus, qui s'en distingue toujours, se trouve rejeté de côté. Il y a des crinoïdes libres ; mais la plupart sont fixés au sol par une *tige* flexible, rectiligne, composée d'un grand nombre de disques empilés les uns sur les autres. Considérés isolément, ces disques ont reçu le nom d'*entroques*. Leur forme, qui est presque toujours circulaire ou pentagonale, et les stries de leurs faces en contact fournissent de bons caractères pour la distinction des genres et des espèces. Ordinairement la tige s'élargit à sa

base, et se fixe au sol au moyen d'un épatement simulant une racine et qui en a pris le nom. La figure ci-contre représente un crinoïde jurassique avec toutes ses parties (fig. 131).

Les crinoïdes siluriens appartiennent principalement à la famille des *cystidés*, qui se reconnaissent à leur calice ovoïde privé de tige ou porté sur une tige fort courte. Les bras sont rudimentaires (fig. 132); ils manquent dans plusieurs genres. Caractérisés par le développement normal de leurs bras et de leur tige, les vrais crinoïdes sont également représentés dans le terrain silurien par des formes globuleuses et ramassées, appartenant à la famille des *cyathocrinides* (fig. 133).

**Stellérides.** — Les *stellérides* débutent dans les couches supérieures de la formation; ils appartiennent à la famille des *astérides*, qui est la plus élevée. Couvert en dessus de plaques dures fréquemment épineuses, leur corps a le plus souvent la forme d'une étoile à cinq rayons. Les principaux viscères se trouvent au centre; les rayons ou bras sont larges, aplatis, creusés en dessous d'une gouttière qui loge des prolongements de l'appareil digestif. La station des stellérides est inverse de celle des crinoïdes, tous les organes étant en dessous. Les astérides siluriens forment plusieurs genres, dont quelques-uns ont encore des représentants dans les mers actuelles (fig. 134).

**Échinides.** — Les *échinides*, encore appelés *oursins*, sont les plus élevés des zoophytes. De forme sphérique ou globuleuse, leur corps est enveloppé d'un test solide formé de plaques engrenées, à la surface desquelles des *tubercules* plus ou moins saillants supportent des

*piquants* ou *baguettes* mobiles. Dépouillé de ses piquants, le test d'un oursin se montre divisé en dix fuseaux par des lignes qui se croisent en deux pôles opposés, comme les méridiens tracés sur une sphère. Un de ces points, situé en dessous, marque l'emplacement



Fig. 131. — *Apiocrinus*  
Royssianus.

de la bouche, qui est souvent garnie de puissantes mâchoires ; le point opposé marque celui de l'anus. Dans les oursins irréguliers, la bouche peut se trouver rejetée sur le bord inférieur du test, et

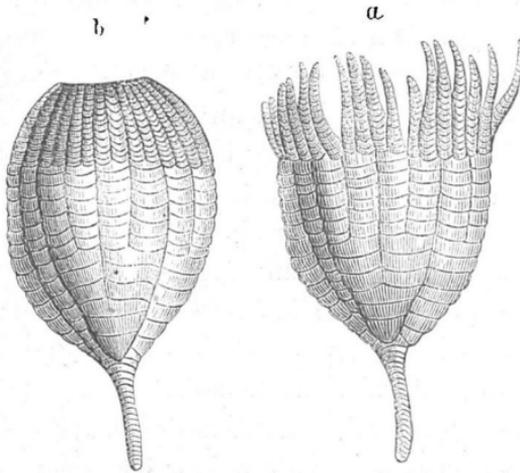


Fig. 132. — *Ichthyocrinus levis*. — *a*, les bras ouverts ; *b*, les bras fermés.

l'anus peut occuper toutes les positions entre la bouche et le sommet de la coquille. Chacun des dix fuseaux est ordinairement formé de deux rangées de plaques semblables entre elles dans le même

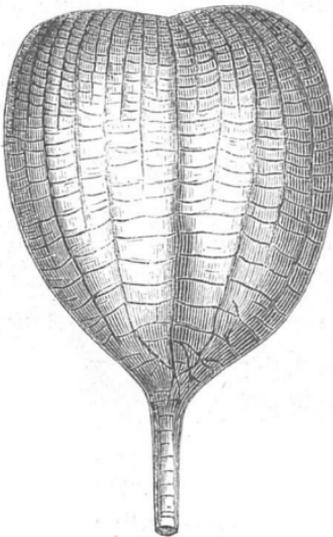


Fig. 133. — *Cyathocrinus pyriformis*.



Fig. 134. — *Palaeaster niagarensis*.

fuseau, mais dissemblables si on les considère dans deux fuseaux contigus. Les unes, en effet, sont percées de trous, qui servent à la respiration et à la locomotion ; les autres sont parfaitement entières.

On appelle *aires ambulacraires* les fuseaux constitués par les plaques perforées, *aires interambulacraires* les fuseaux formés de plaques entières. Il y en a donc cinq de chaque espèce; elles alternent entre elles. La partie antérieure de Poursin est occupée par une aire ambulacraire, et la partie postérieure par une aire interambulacraire. La forme et la grandeur relative des aires, la situation de la bouche et de Panus, la forme et les dimensions des baguettes et des tubercules qui les supportent, etc., fournissent les caractères de classification les plus importants.

Les échinides, qui débutent peut-être dans les assises tout à fait inférieures appartenant à l'ancien terrain cambrien, n'ont laissé, dans le terrain silurien proprement dit, que des formes douteuses ou peu authentiques. Pour les figures, je suis donc obligé de renvoyer aux terrains subséquents.

**Mollusques.** — L'embranchement des *mollusques* est représenté à l'époque silurienne par les deux sous-embranchements des *bryozoaires* et des *mollusques* proprement dits.

**Bryozoaires.** — Les *bryozoaires* sont de petits êtres, quelquefois microscopiques, renfermés dans des cellules pierreuses agrégées en colonies analogues à celles des polypiers. Mais là s'arrête la ressemblance, les bryozoaires offrant les principaux caractères de l'embranchement auquel ils appartiennent, et ne subsistant jamais d'une vie commune. La forme des cellules et des colonies sert à distinguer les espèces fossiles. Les cellules appartiennent à deux types principaux : ou bien elles naissent à côté les unes des autres, et ne se terminent jamais en tubes : alors leurs colonies ressemblent à des lames simplement perforées ; ou bien elles s'attachent obliquement et se collent entre elles par leur base ou par leur centre, et se prolongent en tubes faisant saillie : alors les colonies ressemblent souvent aux polypiers branchus. Les bryozoaires siluriens appartiennent, pour la plupart, à ce dernier type (fig. 435, 436).

**Mollusques ordinaires.** — Les *mollusques ordinaires* sont représentés par toutes leurs classes.

**Brachiopodes.** — Celle des *brachiopodes* est particulièrement nombreuse pendant la durée de la période paléozoïque, où elle offre une extrême diversité de types. Je n'ai pas à empiéter sur le domaine de la zoologie et à décrire l'animal vivant, mais je dois indiquer les parties conservées par la fossilisation ; et, pour ne pas revenir plusieurs fois sur le même sujet, je donnerai ici les caractères des principales familles paléozoïques.

La coquille des brachiopodes est bivalve et équilatérale, c'est-à-dire qu'un plan vertical la partage en deux moitiés symétriques. Presque toujours il y a une grande valve plus ou moins bombée et une petite valve plus ou moins operculiforme. L'animal repose sur sa petite valve, qui prend ainsi le nom d'*inférieure*; souvent il est fixé au sol par un faisceau musculaire qui sort par un trou de la grande valve. Ordinairement terminée à son sommet par un crochet

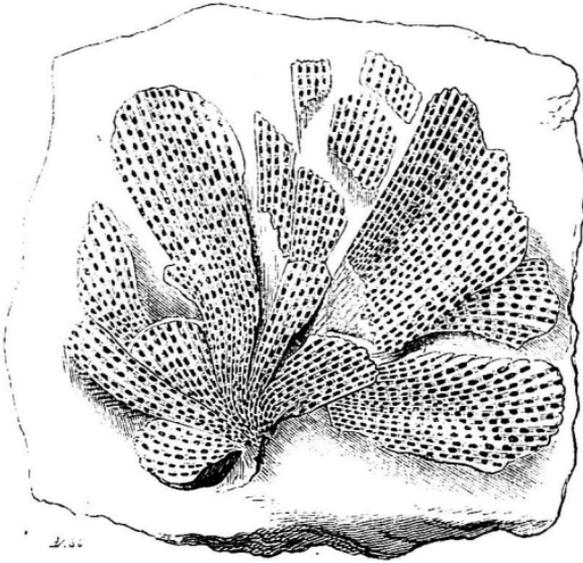


Fig. 135. — *Fenestella tenuiceps*, grandeur naturelle.

recourbé, cette grande valve montre habituellement entre ce crochet et la charnière une surface plane appelée *area*. Celle-ci est parfois munie à son milieu de deux petites pièces triangulaires qui



Fig. 136. — *Fenestella tenuiceps*, fragment grossi.

forment le *deltidium*. Enfin, les saillies du test qui supportent les bras dans l'intérieur des valves ont reçu le nom d'*apophyses*. La coquille est tantôt cornée, tantôt fibreuse ou testacée. Dans certains cas, elle est criblée de perforations, ici microscopiques, là très-grandes et prolongées en tubes à l'extérieur. Quand ils existent, les ornements sont des côtes ou des stries rayonnantes.

Nous caractériserons de la manière suivante les familles paléozoïques, en prenant Pictet pour guide.

*Lingulides.* — Point d'apophyses brachiales ni de charnière; valves presque semblables, creusées à leur sommet pour le passage du pédoncule qui fixe l'animal. Test corné. — Genres *Lingula*, *Obolus*.

*Orbiculides.* — Point d'apophyses brachiales ni de charnière; grande valve imperforée, petite valve percée d'un trou circulaire pour le passage du pédoncule. Test corné ou subtestacé. — Genres *Orbiculoidea*, *Trematis*, *Siphonotreta*, *Acrotreta*.

*Cranides.* — Point d'apophyses brachiales ni de charnière; coquille testacée, perforée, fixée au sol par sa propre substance. — Genre *Crania*.

*Calcéolides.* — Point d'apophyses brachiales; charnière rectiligne, finement dentée; grande valve conique, très-épaisse, avec grande area; petite valve plate, operculiforme. Test fibreux. — Genre *Calceola*.

*Productides.* — Point d'apophyses brachiales; point de pédoncule qui fixe l'animal; coquille perforée de larges ouvertures prolongées en tubes. — Genres *Productus*, *Chonetes*.

*Orthisides.* — Point d'apophyses brachiales; point d'ouvertures tubulées; grande valve perforée pour le passage du pédoncule musculaire. — Genres *Orthis*, *Orthisina*, *Strophomena*, *Leptæna*.

*Rhynchonellides.* — Apophyses brachiales peu développées et consistant en deux lames assez courtes qui supportent des bras enroulés en spirale; animal fixé par un pédoncule qui passe par un trou de la grande valve. Coquille fibreuse, jamais perforée. — Genres *Rhynchonella*, *Atrypa*, *Camarophoria*, *Pentamerus*, *Parambonites*.

*Spiriférides.* — Apophyses brachiales très-développées, enroulées en spirale conique; animal rarement fixé par un pédoncule. Test fibreux, quelquefois perforé. — Genres *Spirifer*, *Cyrtia*, *Spirigera*, *Spirigerina*, *Retzia*, *Uncites*.

*Térébratulides.* — Apophyses brachiales très-développées et plus ou moins compliquées, jamais spirales; animal fixé par un pédoncule sortant d'un trou de la grande valve; un deltidium formé de deux pièces. Test finement perforé. — Genres *Terebratula*, *Strigocephalus*.

Tous les genres indiqués ci-dessus, sauf les *Calceola*, *Productus*, *Camarophoria*, *Uncites*, *Strigocephalus* et peut-être les *Terebratula* figuraient à l'époque silurienne, à laquelle semblent appartenir

exclusivement les *Obolus*, *Acrotreta*, *Siphonotreta*, *Parambonites* (fig. 137, 138, 139, 140, 141, 142).

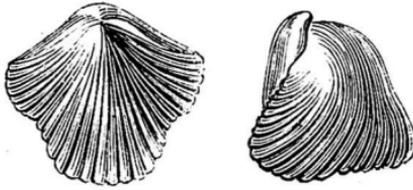


Fig. 137. — *Atrypa velox*.

**Acéphales ou lamelibranches.** — Les mollusques appartenant à la classe des *acéphales* sont privés de tête, comme les brachio-

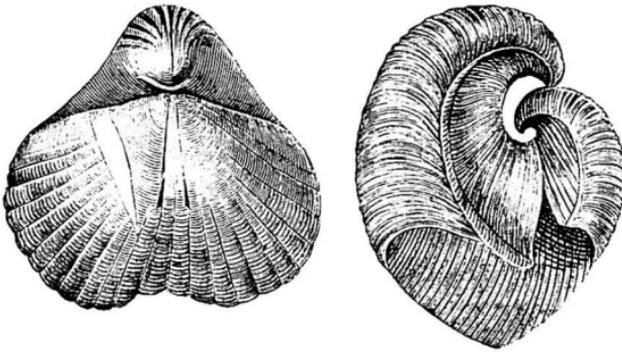


Fig. 138. — *Pentamerus galeatus*.

podes; mais ils s'en distinguent par l'absence de bras, desquels tient lieu presque toujours un pied charnu, en forme de langue; par



Fig. 139. — *Orthis rustica*.

l'existence de branchies lamelleuses, d'où le nom de *lamelibranches* qu'on leur donne souvent; enfin, par le défaut de symétrie de l'animal, dont la coquille est inéquilatérale. Cette coquille a deux valves, qui sont maintenues ouvertes par un ligament situé en dedans ou en dehors de la charnière. L'animal peut la fermer à vo-

lonté au moyen d'un, de deux ou de plusieurs muscles, dont l'action est ainsi contraire à celle du ligament.

**Pleuroconques.** — Au point de vue de la paléontologie, les acéphales se divisent en *pleuroconques* et en *orthoconques*. Les premiers, dont l'huître commune représente le type, ont les deux valves inégales. Quelquefois fixée au sol par sa propre substance, la valve inférieure est presque toujours la plus grande et la plus

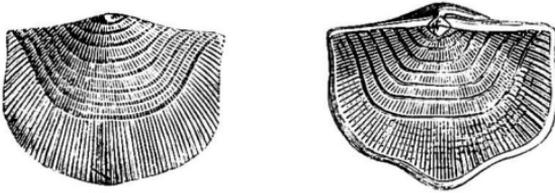


Fig. 140. — *Strophomena rhomboidalis*.

épaisse. La coquille est donc couchée sur l'un des côtés, d'où le nom de pleuroconque. Les familles et les genres des mollusques acéphales sont trop nombreux pour que nous puissions en donner les caractères, dans le cours de cet ouvrage, sans sortir des limites qui nous sont imposées : nous nous contenterons de signaler les plus importants lorsqu'il sera nécessaire. Les pleuroconques siluriens appartiennent pour la plupart aux genres *Avicula*, *Ambonychia*,



Fig. 141. — *Crania divaricata*.

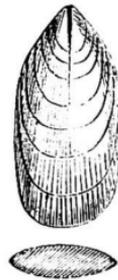


Fig. 142. — *Lingula ovata*.

*Posidonomya*, *Pterinea*, et à quelques autres un peu douteux, et qu'il est, par conséquent, inutile de mentionner ici (fig. 143, 144, 145).

**Orthoconques.** — Les acéphales *orthoconques* sont ainsi nommés parce qu'ils ont une station verticale, ou à peu près. Ils se tiennent la bouche en bas. Leur coquille est équivalve, et presque toujours à deux muscles. Au point de vue de la paléontologie, on les divise en *intégropalléales* et en *sinupalléales*.

**Intégropalléales et sinupalléales.** — Les orthoconques *inté-*

*gropalléales* manquent de siphons ou n'en possèdent que de rudimentaires; d'où il résulte que l'impression du manteau dans l'intérieur des valves reste parallèle au bord de la coquille et n'est échancrée par aucun sinus. Elle aboutit en haut et en bas aux deux impressions musculaires. Les *sinupalléales* ont, au contraire, les

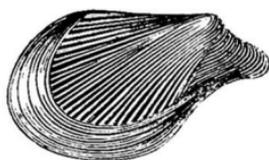


Fig. 143.

. Ambonychia bellistriata.



Fig. 144.

Avicula demissa.



Fig. 145.

Avicula emacerata.

siphons très-développés, de sorte que l'impression palléale se trouve échancrée, dans la partie supérieure de la coquille, par un sinus plus ou moins profond. (fig. 146, 147).

Les orthoconques siluriens appartiennent à la catégorie des intégropalléales; la plupart se rapportent aux genres *Grammysia*, *Cardiola*, *Orthonota*, *Modiolopsis*, *Paltearca*, voisin des arches, *Cteno-*

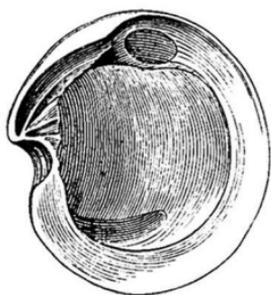


Fig. 146.

Orthoconque intégropalléale (Lucina).

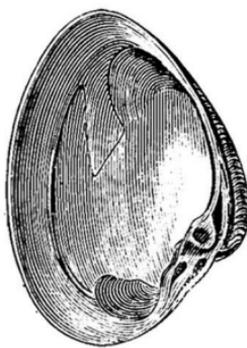


Fig. 147.

Orthoconque sinupalléale (Cythera).

*donta*, très-voisin des nucules, *Megalodus*, *Isocardia*, *Cypricardia*, dont quelques-uns douteux (fig. 148, 149, 150).

**Gastéropodes, hétéropodes et ptéropodes.** — La classe des mollusques *gastéropodes* compte de nombreux représentants à l'époque silurienne. Il en est de même, relativement parlant, de la classe des *hétéropodes* et de celle des *ptéropodes*, que la paléontologie peut, sans inconvénient, réunir à la première. Elles se distinguent surtout

parce que le pied, qui est charnu et sert à ramper chez les gastéropodes, prend, chez les hétéropodes, la forme d'une lame comprimée servant à nager, et se trouve remplacé, chez les ptéropodes, par des nageoires situées de chaque côté du cou.

Les gastéropodes ont presque toujours une coquille, seule partie de l'animal conservée par la fossilisation. Habituellement externe, cette coquille a le plus souvent la forme d'un cône enroulé en spirale autour d'un axe qui en occupe le centre. Cet axe est tantôt idéal,

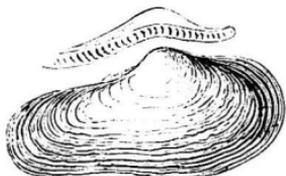


Fig. 148. — *Ctenodonta nasuta*.

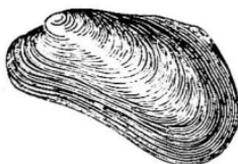


Fig. 149. — *Modiolopsis modiolaris*.

tantôt réel ; dans ce cas il constitue une *columelle*, formée par la portion intérieure des tours en contact. L'axe est imaginaire quand les tours ne se rencontrent pas au centre de la coquille, où existe alors une cavité conique de largeur et de profondeur variables nommée *ombilic*. L'ouverture de la coquille à l'extérieur s'appelle la *bouche* ; souvent elle est close par un *opercule* fixé au pied de l'animal. Quelquefois bordée de prolongements et de digitations, cette bouche est entière ou diversement échancrée ; elle fournit de bons

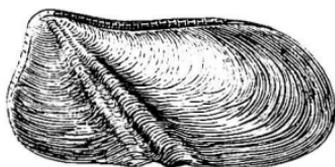


Fig. 150. — *Grammysia cingulata*.

caractères de classification. Le mode d'enroulement du cône générateur varie au point de donner à la coquille des gastéropodes les apparences les plus diverses. Tantôt elle ressemble à une simple corne légèrement arquée ; tantôt l'enroulement a lieu dans un même plan, de façon que l'*angle spiral* est nul ; d'autres fois, au contraire, cet angle devient tellement aigu, que la coquille ressemble à une sorte de vis fort allongée. L'angle spiral se mesure d'ailleurs au moyen de deux lignes appliquées de part et d'autre à l'extérieur

de la coquille, et tangentes à tous les tours, si la forme du test ne s'y oppose. Elles se rencontrent à la pointe du cône originel, où se trouve ainsi le sommet de l'angle.

Le nombre des familles et des genres des mollusques gastéropodes est si grand, que je ne puis songer à en caractériser les principaux groupes, ainsi que je l'ai fait pour les brachiopodes ; je décrirai seulement les plus importants lorsqu'il sera nécessaire. Les genres siluriens appartiennent, en général, aux types à large ombilic et à

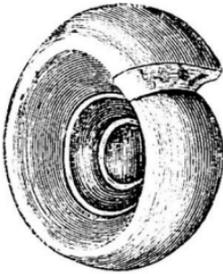


Fig. 151. — *Euomphalus profundus*.

Fig. 152. — *Scalites angulatus*.

bouche échancrée d'un sinus médian ; ce sont surtout : *Loxonema*, *Turbo*, *Cirrus*, *Platiostoma*, *Straparolus*, *Euomphalus*, *Scalites*, *Pleurotomaria*, *Murchisonia*, *Bellerophon*, *Helicostoma*, *Cyrtolites*, *Helcion*, *Capulus*, et, parmi les ptéropodes, les genres *Vaginella*, *Conularia* (fig. 151, 152, 153, 154).

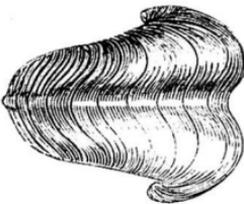


Fig. 153. — *Bellerophon bilobatus*.

Fig. 154. — *Platyceras angulatum*.

**Céphalopodes.** — La classe des *céphalopodes*, la plus élevée de l'embranchement, est richement représentée à l'époque silurienne. Un de ses ordres, celui des *tentaculifères*, y atteint, presque à son début, son maximum de développement numérique ; en cela, comparable à la classe des brachiopodes, aux destinées de laquelle on le dirait associé pendant la durée des temps géologiques.

Représentés à toutes les époques anciennes par des types fort nombreux et fort caractéristiques, les céphalopodes tentaculifères sont, en quelque sorte, les fossiles de prédilection des géologues. Il importe donc de les faire connaître avec quelque détail. Pour éviter des répétitions inutiles, je donnerai ici les caractères des principaux genres paléozoïques et ceux de toutes les familles.

**Tentaculifères.** — Comme celle des gastéropodes, la coquille des céphalopodes tentaculifères consiste dans un cône enroulé de diverses manières. Elle est divisée en un grand nombre de *loges* par des *cloisons* que traverse un long tube un peu conique, appelé

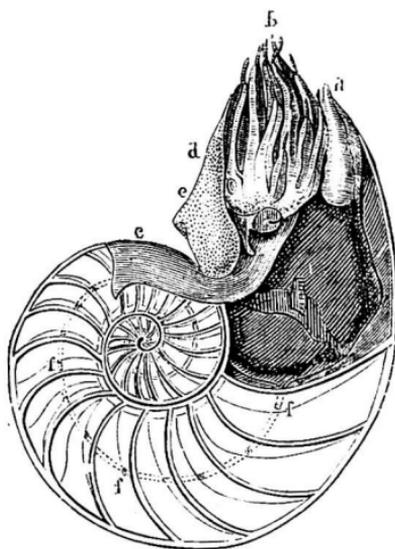


Fig. 155. — Anatomie du Nautile, d'après Pictet.

*a*, entonnoir; *b*, tentacules; *c*, repli du manteau; *d*, pied; *e*, œil; *f*, siphon.

*siphon*. Ce dernier aboutit à la loge formée la première, ou, en d'autres termes, à celle qui se trouve au sommet du cône générateur, tandis que les autres loges ne communiquent pas entre elles ni avec le dehors. Le siphon est occupé par un ligament tendineux servant à fixer l'animal, lequel n'occupe jamais que la dernière loge, celle qui s'ouvre au dehors par une *bouche*, dont les contours sont plus ou moins échancrés, plus ou moins prolongés en lanières. Telle est, en peu de mots, la structure de la coquille des céphalopodes tentaculifères (fig. 155). Les familles et les genres sont principalement caractérisés par l'emplacement du siphon, qui peut perforer les cloisons à leur centre, à leur bord interne ou externe

ou près de leur bord ; par la forme de la bouche ; enfin par l'apparence extérieure des cloisons qui séparent les loges. Simplement arquées à leur milieu, ces cloisons se plissent quelquefois sur leurs bords d'une manière tellement compliquée, que la trace laissée par



Fig. 156.

Tronçon d'Ammonite montrant les lobes et les selles, vu du côté du dos.

elles à la surface du moule intérieur ressemble souvent à un feuillage découpé et festonné à l'infini. On dit alors que les cloisons sont *persiliées* ; et l'on distingue les *lobes*, ou saillies de la cloison du côté de la pointe du cône générateur, et les *selles* ou saillies de la cloison

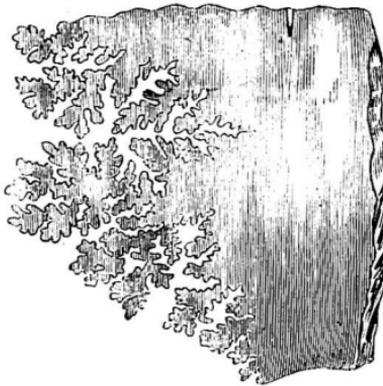


Fig. 157.

Tronçon d'Ammonite montrant les lobes et les selles, vu de profil.

du côté de la bouche. Les premiers sont toujours anguleux, et les secondes, toujours arrondies (fig. 156, 157).

Le tableau suivant résume les caractères des familles et des principaux genres paléozoïques, dont la classification est d'ailleurs artificielle plutôt que naturelle.

Céphalopodes tentaculifères.		Bouche rétrécie :		Siphon central : <i>Gomphoceratites</i> .
		Bouche non rétrécie		Siphon marginal { interne : <i>Campatites</i> , externe : <i>Oucoceras</i> .
Cloisons simples : NAUTILIDES.	Siphon plus ou moins central.	Coquille droite	{ siphon simple : <i>Orthoceras</i> , siphon en chapelet : <i>Actinoceras</i> .	
		Coquille arquée : <i>Aploceras</i> .		
Cloisons anguleuses à lobes simples	Siphon marginal.	Coquille enroulée dans un plan	{ tours disjoints { le dernier projeté en crosse : <i>Hortolus</i> , le dernier non projeté en crosse : <i>Nautiloceras</i> . tours contigus { le dernier projeté en crosse : <i>Lituites</i> , le dernier non projeté en crosse : <i>Nautilus</i> .	
		Coquille enroulée en spire turbinée : <i>Trochoceras</i> .		
Cloisons à lobes denticulés ou persillés : AMMONIDES.	Siphon marginal.	Coquille droite	{ siphon large { à parois simples : <i>Cameroceras</i> , formé de cônes emboîtés : <i>Eudoceras</i> . siphon étroit : <i>Melita</i> .	
		Coquille arquée : <i>Cyrtoceras</i> .		
Cloisons anguleuses à lobes simples	Siphon marginal.	Coquille enroulée dans un plan	{ tours disjoints : <i>Cyroceras</i> , siphon interne : <i>Trochotites</i> . tours contigus { siphon interne : <i>Trochotites</i> , siphon externe : <i>Cryptoceras</i> .	
		Coquille interne : <i>Clymenia</i> , siphon externe : <i>Goniatites</i> : <i>Goniatites</i> .		
Cloisons à lobes denticulés ou persillés : AMMONIDES.	Siphon marginal.	Coquille interne : <i>Clymenia</i> , siphon externe : <i>Goniatites</i> : <i>Goniatites</i> .		
		Coquille interne : <i>Clymenia</i> , siphon externe : <i>Goniatites</i> : <i>Goniatites</i> .		

Sauf les *Nautiloceras*, *Aploceras*, *Cryptoceras*, *Clymenia*, tous les genres du tableau sont représentés à l'époque silurienne ; de tous les genres siluriens, les *Trochoceras*, *Cyrtoceras*, *Orthoceras*, *Nautilus*,

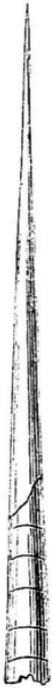


Fig. 158.  
*Orthoceras regulare.*

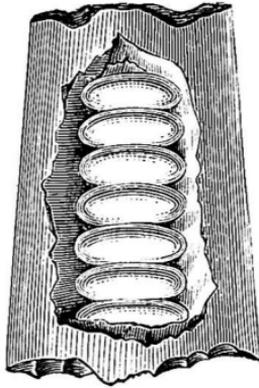


Fig. 159.  
*Actinoceras cochleatum.*

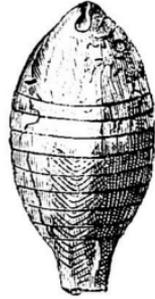


Fig. 160.  
*Gomphoceras ellipticum.*

*Gyroceras*, *Goniatites* sont les seuls qui se propagent dans le terrain devonien, d'après M. Bar-  
rande (fig. 158, 159, 160, 161, 162).



Fig. 161.  
*Hortolus perfectus.*

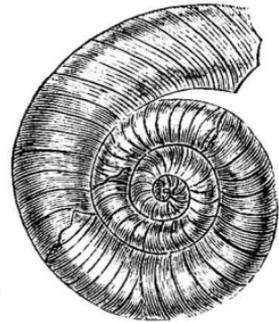


Fig. 162.  
*Lituites Odini.*

**Articulés.** — C'est peut-être l'embranchement des *articulés* qui a fourni au terrain silurien ses fossiles les plus remarquables et les plus caractéristiques. Je ne veux point mentionner ici la classe des *annélides*, déjà représentée dans les assises cambriennes, ni même divers *crustacés* appartenant généralement aux types inférieurs,

mais je dois quelques détails sur la curieuse et importante famille des *trilobites*.

**Trilobites.** — Ce sont des crustacés voisins des branchiopodes, et qui nous sont connus jusque dans leur état embryonnaire, grâce aux recherches persévérantes de M. Barrande.

Leur corps se compose de trois segments : une *tête*, un *thorax*, un *abdomen* ou *pygidium*. Chacune de ces parties est à son tour divisée en trois *lobes*, un médian et deux latéraux, par deux sillons parallèles qui parcourent toute la longueur de l'animal ; d'où le nom de trilobite. La tête est ordinairement le plus développé des trois segments ; en tous cas elle est le plus large, car elle se trouve bordée latéralement par deux *joues*, dont les pointes acquièrent un grand développement dans certains genres. Elle est formée de pièces réunies par des sutures qui ont reçu des noms particuliers. La pièce du milieu, ou *glabelle*, comprise entre les deux sillons longitudinaux, est opposée à la bouche, qui se trouvait ainsi placée au-dessous de la tête. Presque tous les trilobites avaient des yeux ; quelques-uns cependant les perdaient à l'âge adulte. Ces yeux, au nombre de deux, étaient le plus souvent à facettes ; quelquefois des yeux simples isolés ou des stemmates, en petit nombre, les remplaçaient. Le thorax et le pygidium se composent d'articles divisés chacun en trois lobes par les deux sillons longitudinaux dont il a été parlé. Les articles des lobes latéraux ont reçu le nom de *plèvres* ; ils sont à *sillon* ou à *bourrelet*. Dans le premier cas, la surface extérieure est creusée d'une gouttière ; dans le second, la gouttière est remplacée par un bourrelet saillant. Les pattes servaient probablement à la respiration ; elles avaient peu de consistance, puisqu'on ne les a jamais trouvées à l'état fossile. Les trilobites subissaient des métamorphoses ; la plupart pouvaient s'enrouler en boule (fig. 163, 164, 165, 166).

**Vertébrés.** — L'embranchement des *vertébrés* n'est représenté que par la classe des *poissons*, qui apparaît dans les assises supérieures. Comme ces poissons appartiennent aux mêmes types que ceux du terrain devonien, où ils se multiplient beaucoup, nous en ajournons la description.

**Flore silurienne** — Il est bon d'ajourner de même l'étude des végétaux paléozoïques, la flore silurienne étant encore très-mal et très-imparfaitement connue. On sait seulement que les plantes terrestres appartenaient au groupe des acotylédones acrogènes, qui

a laissé de si nombreux représentants dans le terrain houiller. Les algues marines sont mieux connues.

**Répartition des fossiles siluriens dans le terrain.** — Il est fort intéressant d'étudier la répartition dans l'étage des fossiles siluriens, suivant le sens vertical et suivant le sens horizontal, les résultats offrant quelquefois plus de netteté que dans les autres terrains, et, par conséquent, nous renseignant avec une certaine précision sur la

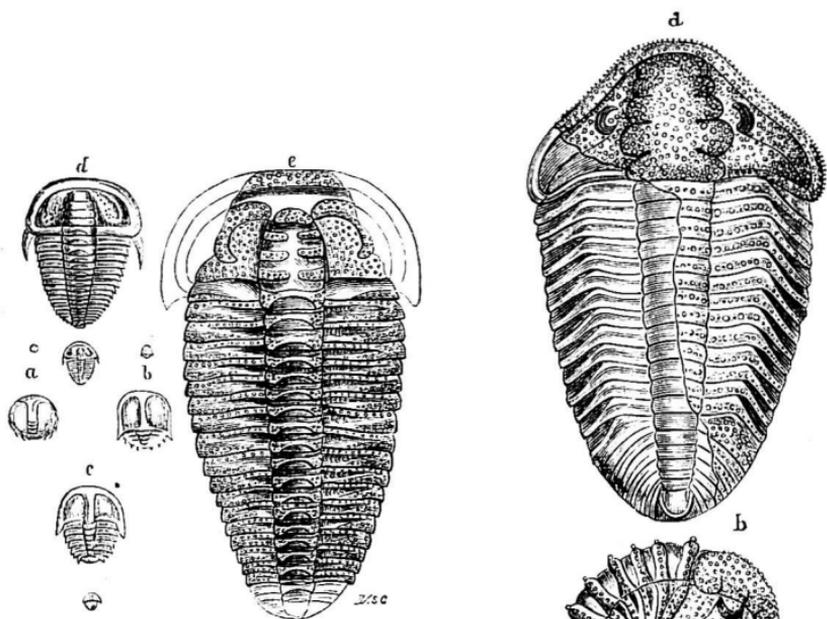


Fig. 163.

*Sao hirsuta* à différents états de développement. — *a*, *b*, *c*, *d*, formes successives à divers états de la croissance; *e*, animal adulte.

Fig. 164.

*Calymene Blumenbachii*. — *a*, l'animal étendu; *b*, l'animal enroulé.

durée, le groupement et la distribution géographique des animaux marins aux temps jadis. A cet égard, voici ce que j'ai trouvé de plus certain.

**Faunes particulières.** — Dans toutes les contrées siluriennes, les fossiles constituent des associations distinctes ou *faunes particulières*, qui se succèdent en nombre variable, suivant les lieux, pendant la durée de l'époque. Il y en a six en Bohême, sept en Suède, quatorze aux États-Unis, où le terrain est plus développé que sur

l'ancien continent. Dans ces trois régions, ainsi qu'en Angleterre, l'ordre de remplacement des faunes, et même des espèces dont elles se composent, est généralement pareil ; et toutes peuvent se renfermer dans trois groupés plus étendus, désignés par M. Barrande sous les noms de *faune première*, *faune seconde* et *faune troisième*, d'après leur ancienneté. En Suède, M. Angelin n'admet pas qu'il y ait d'espèces communes entre les sept faunes consécutives ; en Bohême, les passages de fossiles d'une faune à l'autre sont rares et exceptionnels ; ils constituent, au contraire, la règle en Angleterre et aux États-Unis, avec cette différence, que dans cette dernière contrée, on trouve rarement des espèces communes à plus de deux ou trois des quatorze étages de M. J. Hall, tandis qu'en Angleterre

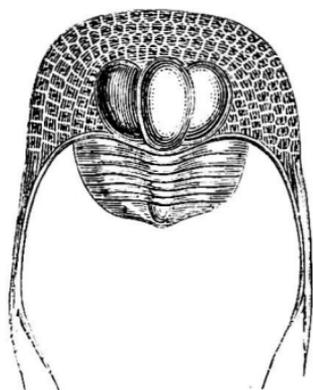


Fig. 165. — *Trinucleus Pongerardi*.

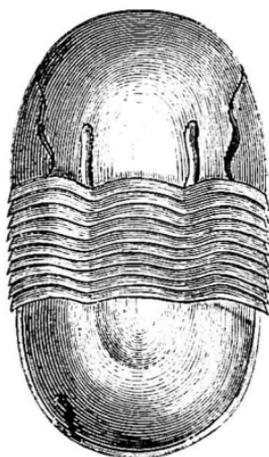


Fig. 166. — *Illænus Davisii*.

il y a des fossiles qui se propagent dans presque toute l'épaisseur du terrain silurien.

Les intercalations de roches éruptives entre les assises sédimentaires marquent souvent la séparation des faunes en Bohême et en Angleterre ; ces intercalations n'existent pas en Suède, où les assises présentent une remarquable uniformité de composition minéralogique, et cependant les faunes y sont plus distinctes que partout ailleurs. C'est un exemple de plus, montrant que les espèces se succèdent en vertu de lois organiques inconnues, et que la nature du milieu, ainsi que les bouleversements que pouvaient produire les phénomènes éruptifs, n'exerce souvent aucune influence sur leurs extinctions et leurs remplacements.

**Colonies.** — J'ai dit que les mêmes fossiles ont apparu simultanément dans toutes les régions siluriennes, de façon que l'ordre

zoologique est le même en Suède, où le terrain a 600 mètres d'épaisseur, et en Angleterre, où il en a plus de 8000. La Bohême, cependant, paraît offrir une exception. Sur un assez grand nombre de points, M. Barrande a constaté la venue prématurée, dans la faune seconde, de colonies de fossiles appartenant à la faune troisième dans tout le reste du bassin. Comme 32 des 57 espèces communes à l'Angleterre et à la Bohême ne se montrent, dans cette dernière contrée, qu'à un niveau supérieur à celui qu'elles occupent en Angleterre et ailleurs, ce géologue pense que les colonies proviennent de régions étrangères, d'où elles se sont peu à peu propagées jusqu'en Bohême. On a, depuis, largement usé, et même quelque peu abusé de cette doctrine des colonies, pour expliquer beaucoup de faits anomaux ou mal connus.

**Distribution géographique des fossiles siluriens.** — En ce qui concerne la distribution géographique des animaux siluriens, on remarque une diversité et quelquefois une bizarrerie au moins aussi grande que de nos jours. Comme la température était à peu près uniforme sur le globe, on peut en conclure, ainsi que je l'ai déjà fait observer, que les bassins des mers communiquaient difficilement entre eux. Il y a quelques années, sur plusieurs milliers de fossiles, on connaissait seulement 57 espèces communes à la Bohême et à l'Angleterre ; sur 625 trilobites, la Suède et la Bohême n'en possèdent que 6 de même espèce, c'est-à-dire le centième ; au contraire, elles ont en commun le vingtième des brachiopodes recensés dans les deux pays. La faune silurienne d'Amérique ressemble plus à celle de la Bohême que celle-ci à la faune de la Suède, et les trilobites se trouvaient beaucoup plus étroitement cantonnés que les crustacés de notre époque. Cependant les familles, les genres et même les espèces étaient, en général, plus largement répandus sur le globe, ce qui s'explique par l'égalité de la température. Les mêmes genres se rencontrent en Europe, aux États-Unis, au cap de Bonne-Espérance et jusqu'au détroit de Barrow et à l'île Melville, sous le 76<sup>e</sup> degré de latitude nord ; et plusieurs espèces, telles que *Graptolites Murchisonii*, *Calymene macrophthalma*, *C. Tristani*, *C. Blumenbachii*, sont communes à des localités séparées par tout le diamètre terrestre. Il y avait cependant, à partir de l'époque silurienne, des centres de dispersion aussi distincts et aussi nombreux que de nos jours. J'insiste sur cette vérité, trop souvent méconnue.

**Résultats généraux.** — L'étude de la distribution des fossiles

siluriens conduit encore à d'autres résultats utiles, que l'examen des terrains plus récents n'a fait que confirmer.

On remarque d'abord la grande richesse zoologique des mers, presque à partir de l'instant de la première manifestation de la vie sur le globe. Si tous les fossiles siluriens étaient connus, et si des classes entières n'avaient pas disparu sans laisser le moindre vestige, la faune des mollusques, des crustacés et peut-être des annélides ne le céderait à celle d'aucune époque. M. Barrande a montré qu'à certains égards elle est plus riche que la faune tertiaire.

On constate ensuite la grande variété des genres de certaines familles (brachiopodes, trilobites) et la prodigieuse abondance des espèces de certains genres (orthocère, cyrtocère), qui n'a peut-être jamais été dépassée.

On voit également que la durée des types génériques peut varier dans les plus larges limites : tandis que les lingules, les cranies, les nautilus, se sont propagés sans aucune interruption jusqu'à nos jours, les graptolites n'ont eu qu'une existence éphémère.

On voit aussi, contrairement à une opinion encore accréditée, que si les deux règnes ont, en général, commencé par les modèles les plus imparfaits, et que si l'organisme a constamment suivi une marche ascendante, ce n'est pas toujours par leurs représentants les plus dégradés que débudent les classes et les familles. Les crinoïdes occupent, en effet, un rang élevé dans l'embranchement des radiés, et cette famille commence par ses types les plus perfectionnés ; les céphalopodes sont les plus parfaits des mollusques, et les premiers poissons, tous hétérocercques, et dont plusieurs, à l'époque suivante, rappellent les reptiles par certains caractères, l'emportent, à presque tous égards, sur ceux qui peuplent nos mers. Ces faits, désormais incontestables, s'accordent mal avec la doctrine de la transformation des espèces et de leur perfectionnement continu.

On a constaté que beaucoup de familles bien caractérisées, notamment les céphalopodes et les trilobites, apparaissent brusquement, sans être annoncées par des types précurseurs ; nouveau fait qui cadre mal avec la théorie de la transformation des espèces.

On a enfin reconnu qu'à ces époques reculées, les types génériques et spécifiques sont aussi caractérisés et aussi distincts que ceux de nos jours, et qu'il existait également des races et des variétés, comparables à celles que nous observons autour de nous.

**TERRAIN DEVONIEN.** — Ainsi nommé par ce qu'il a d'abord été étudié dans le Devonshire, où il offre un remarquable développement,

ce terrain se superpose immédiatement au précédent, dont il n'est ordinairement séparé par aucune discordance de stratification. Le travail sédimentaire a donc continué dans les mers sans la moindre interruption ; et l'on peut dire la même chose du développement de la vie et de la succession des espèces, puisque les géologues américains signalent au moins 12 fossiles qui passent du terrain silurien dans le terrain devonien. Les roches consistent en grès, en

calcaires et en schistes, qui alternent de diverse manière suivant les contrées, les grès dominant ici, et plus loin le calcaire ; néanmoins, dans une partie de l'Europe, le terrain devonien débute par un puissant massif arénacé, connu en Angleterre sous le nom de *vieux grès rouge*. Presque partout la stratification est assez nette, et les accidents divers, tels que ruptures, froissements, contournements, schistosité, s'observent moins habituellement que dans les formations antérieures. Les injections de roches éruptives sont également plus rares : il semble que l'écorce terrestre augmente de solidité. La puissance du terrain devonien dépasse quelquefois 3000 mètres en Europe ; elle atteint 4500 mètres dans les Apalaches. Quoique les mouvements séculaires aient continué à déplacer lentement les mers,

la configuration des terres fermes, qui paraissent avoir gagné en étendue, était à peu près la même qu'à l'époque précédente.

**Faune devonienne. — Polypiers.** — Moins nombreux qu'à l'époque silurienne, les *polypiers* sont représentés par les mêmes familles, c'est-à-dire qu'ils font presque tous partie des zoanthaires tabulés et des zoanthaires rugueux. On voit cependant apparaître d'autres types, qui seront décrits plus tard (fig. 167, 168, 169, 170, 171).

**Crinoïdes, stellérides, échinides.** — Les *crinoïdes* déclinent à peine, quoique le groupe important des cystidés ne dépasse guère les limites du terrain précédent. En compensation, les cyathocri-

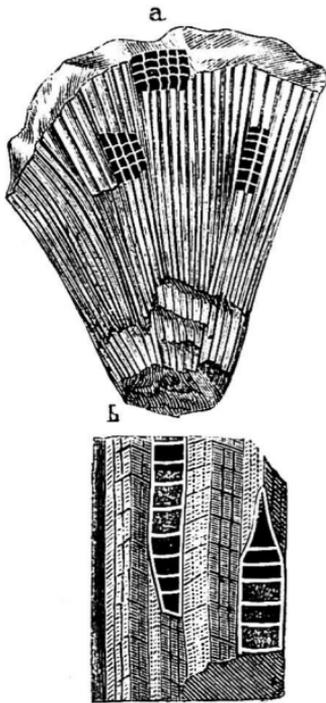


Fig. 167 et 168.

Chæteles Trigeri. — *a*, grandeur naturelle ; *b*, fragment grossi.

nides se maintiennent nombreux, et de nouvelles familles apparaissent, notamment celles des *haplocrinides*, qui se compose d'espèces pédicellées, dont le calice, surmonté de bras fort courts ou rudimentaires, ne consiste qu'en un petit nombre de pièces, et dont

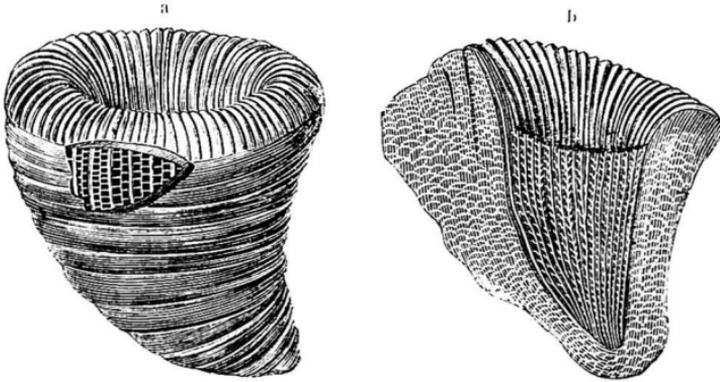
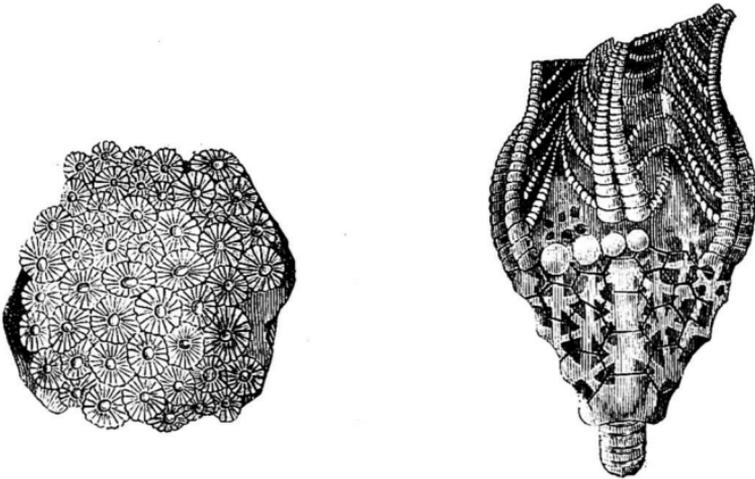


Fig. 169 et 170.

*Cyathophyllum heterophyllum*. — *a*, vu de profil ; *b*, coupe verticale.

la voûte se trouve réduite à cinq plaques triangulaires formant pyramide (fig. 172, 173). Les *stellérides* et les *échinides* sont à peine représentés.

Fig. 171. — *Acervularia pentagona*.Fig. 172. — *Ctenocrinus stellaris*.

**Bryozoaires.** — Les mollusques *bryozoaires* traversent une véritable période de décadence : presque tous leurs genres siluriens s'éteignent, et ils n'en gagnent que très-peu de nouveaux. De 480, le nombre de leurs espèces tombe à 86.

**Brachiopodes.** — Toujours extrêmement multipliés, les *brachio-*

*podés* commencent pourtant à décliner. Il est vrai que s'ils perdent plusieurs genres, ils s'augmentent des vraies *Térébratules*, des *Productus*, des *Uncites*, des *Strigocephalus* et des *Calceola*, ces trois der-

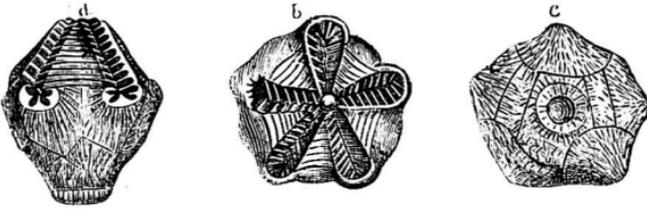


Fig. 173.

*Haplocrinus mespiliformis*. — *a*, vu de profil ; *b*, en dessus ; *c*, en dessous.

niers genres absolument spéciaux. Les *Spirifer* sont surtout représentés par des formes à grandes ailes, tout à fait caractéristiques de l'époque (fig. 174, 175, 176, 177, 178, 179).

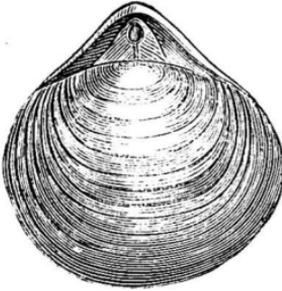


Fig. 174.

*Strigocephalus Burtini*.

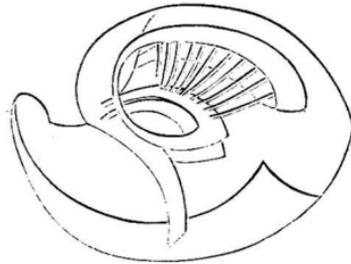
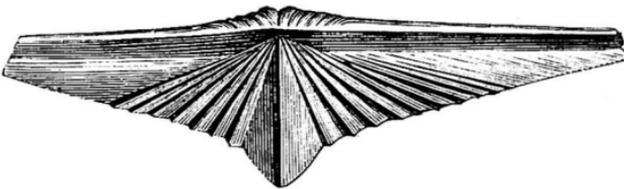


Fig. 175.

Coupe longitudinale du même.

**Acéphales.** — Les *acéphales* se maintiennent presque au même niveau. Si le nombre de leurs espèces a quelque peu diminué, en revanche la classe s'enrichit de genres nouveaux, tels que

Fig. 176. — *Spirifer macropterus*.

*Lucina*, *Microdon*, *Conocardium*, *Cardium*, *Cardinia*, *Nucula*, *Arca*, *Mytilus*, *Pecten*, dont quelques-uns encore un peu douteux. C'est dans le terrain devonien qu'apparaissent les premiers acéphales d'eau douce ; ils sont tellement voisins de nos *anodontes*, que plusieurs géologues ne les en séparent point.

**Gastéropodes et ptéropodes.** — Plus marqué chez les *gastéropodes*, le recul n'est que momentané, ces animaux se multiplient extraordinairement à l'époque secondaire, et encore plus à l'époque tertiaire et à l'époque actuelle. S'ils perdent la moitié de leurs

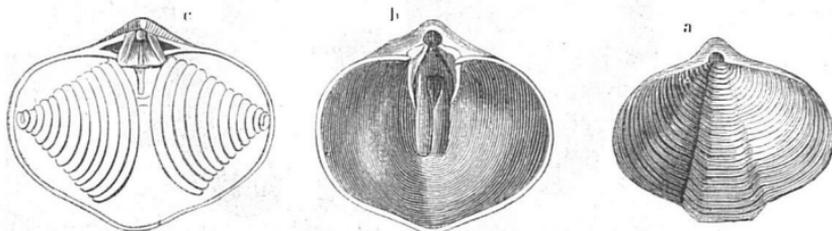


Fig. 177. — *Spirigera concentrica*.

*a*, vu en dehors ; *b*, intérieur de la grande valve ; *c*, intérieur de la petite valve

espèces dans le terrain devonien, en revanche ils s'enrichissent de plusieurs genres tels que *Platyceras*, *Porcellia*, *Chiton*, *Denta-*

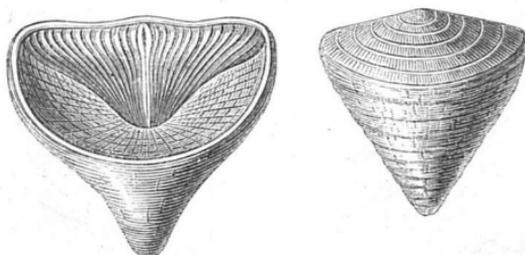


Fig. 178. — *Calceola sandalina*.

*lium*, etc. Les *ptéropodes* sont surtout représentés par le genre *Conularia* (fig. 180, 181, 182, 183, 184, 185).

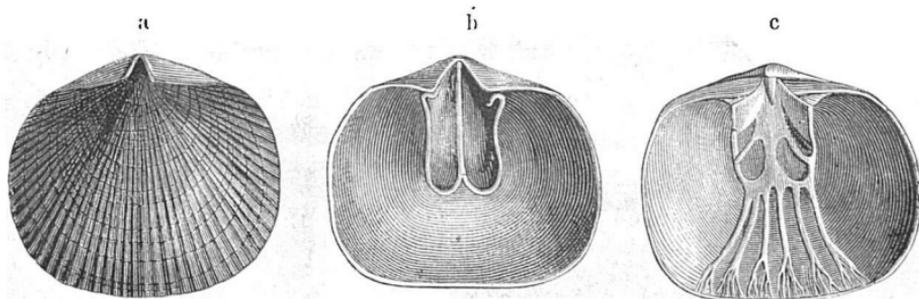


Fig. 179. — *Orthhis striatula*.

*a*, vue en dehors ; *b*, intérieur de la grande valve ; *c*, intérieur de la petite valve.

**Nautilides.** — Également réduits de moitié sous le rapport du nombre des espèces, les céphalopodes *nautilides* entrent dans la voie d'une décadence dont ils ne se relèveront plus. Sept genres siluriens seulement persistent dans le terrain devonien, où apparaissent

les *Cryptoceras* et les *Clymenia*. Mais il est bon de dire que si l'agonie des nautilides a commencé, nous assistons en même temps aux dé-

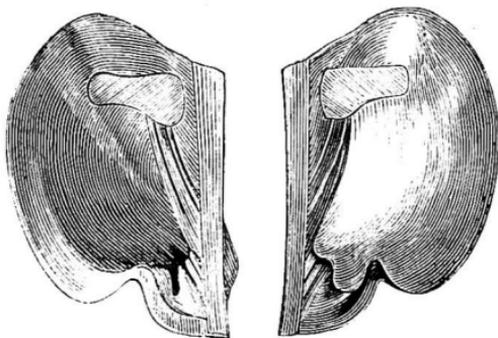


Fig. 180. — *Pterinea laevis*.

buts d'un autre groupe qui ne fera que prospérer dans l'avenir : je

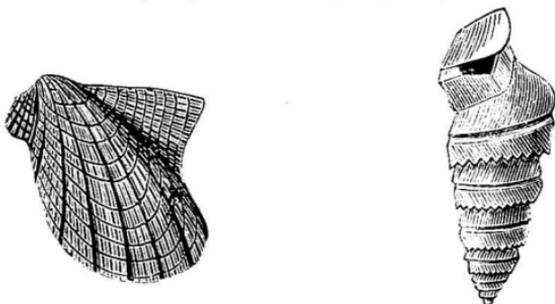


Fig. 181. — *Avicula flabella*. Fig. 182. — *Murch'sonia intermedia*.

veux parler des tentaculifères à cloisons lobées et anguleuses, déjà

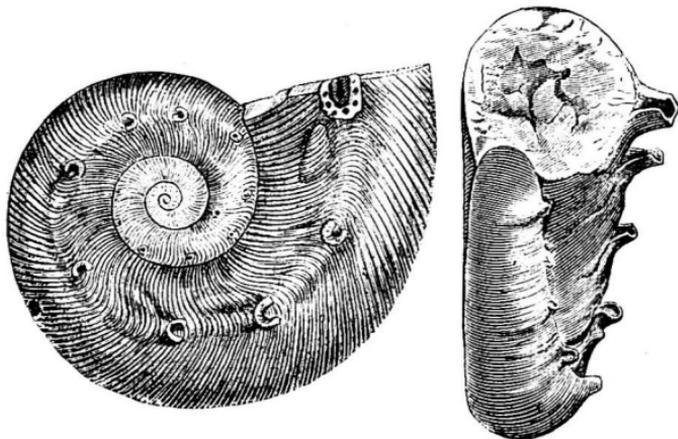
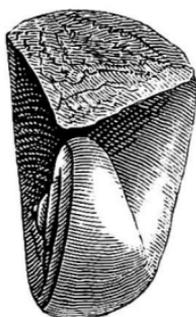


Fig. 183. — *Cirrus spinosus*.

représentés dans le terrain devonien par de nombreuses espèces de *Goniatites* et de *Clyménies* (fig. 186, 187, 188, 189).

**Articulés.** — Dans l'embranchement des *articulés*, mentionnons,

seulement pour mémoire, de rares *annelides tubicoles*. Associés aux destinées des brachiopodes et des nautilides, les *trilobites* déclinent plus rapidement encore : on n'en signale plus que quinze genres, dont un seul spécial, et cent cinq espèces environ. Les *crustacés ordinaires* sont représentés par des *cypridines*, des *cythérées* et par le

Fig. 184. — *Solarium trigonale*.Fig. 185. — *Conularia ornata*.

gigantesque *Pterygotus anglicus*, qui ne mesurait pas moins de cinq à six pieds anglais de longueur. Au contraire, les *cypridines* et les *Cythérées* sont des êtres presque microscopiques. Leur corps se

Fig. 186.  
*Orthoceras subannularis*.Fig. 187.  
*Glymenia Sedgwickii*.

trouve renfermé dans une carapace bivalve, formée de deux pièces semblables réunies par une charnière dorsale. On n'a pas encore signalé, d'une manière authentique, les arachnides et les insectes dans le terrain devonien (fig. 190, 191, 192, 193).

**Poissons.** — Les vertébrés gagnent rapidement en importance.

Presque à leur apparition, les *poissons* constituent déjà une faune très-remarquable. Au point de vue de la paléontologie, on peut, sans inconvénient, à l'exemple de M. Agassiz, diviser la classe des poissons en trois groupes, caractérisés surtout par les parties conservées à l'état fossile, et en particulier par les téguments. En apparence fort peu importants, ces caractères correspondent à des différences profondes dans l'organisme. Les trois sous-classes ad-

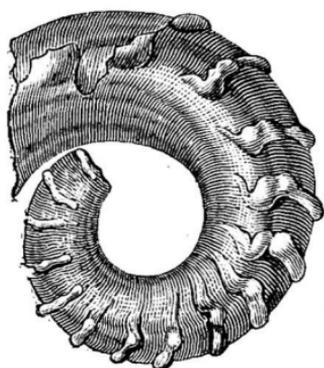


Fig. 188. — *Gyroceras ornatum*.



Fig. 189. — *Goniatites lamellosus*.



Fig. 190. — *Phacops latifrons*.  
a, l'animal étendu ; b, enroulé.

mises par M. Agassiz sont celles des *placoïdes*, des *ganoïdes* et des *téléostéens*.

**Placoïdes.** — Les poissons *placoïdes*, dont les squales et les raies offrent des types vivants, ont une peau tantôt nue, tantôt couverte de petites épines serrées, ou, en d'autres termes, chagrinée ; tantôt munie de plaques osseuses irrégulièrement disséminées, et portant en dessus des pointes ou des crochets. Leur squelette est cartilagi-

neux, et leur queue, ordinairement *hétérocerque*; ce qui veut dire que la nageoire caudale, au lieu de terminer la colonne vertébrale, se trouve rejetée en dessous. Les parties conservées par la fossilisation sont principalement les dents, les plaques osseuses et les rayons durcis des nageoires ou *ichthyodorulites* (fig. 194).

**Ganoïdes.** — Encore représentés dans la nature vivante par le

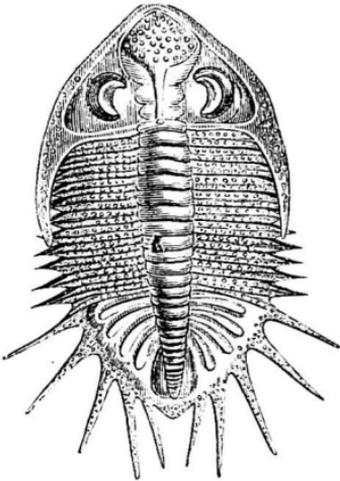


Fig. 191. — *Dalmania punctata*.

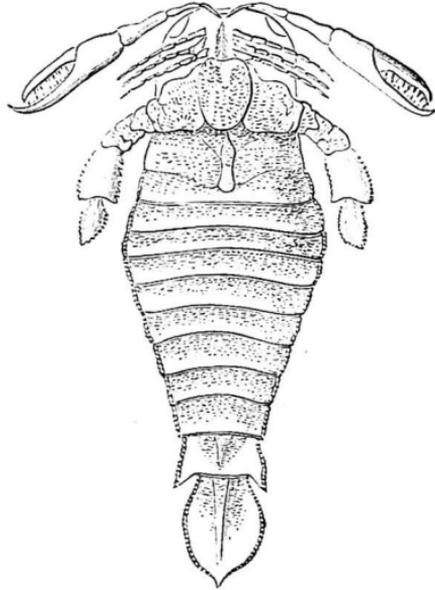


Fig. 192. — *Pterygotus anglicus*.

bichir du Nil et par un très-petit nombre d'autres espèces, les poissons *ganoïdes* se distinguent à leurs écailles osseuses revêtues d'une couche d'émail à l'extérieur. Ces écailles sont disposées en séries régulières, et s'engrènent entre elles par leurs bords.

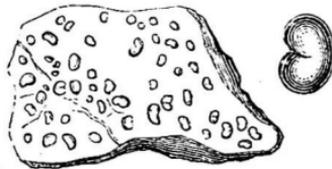


Fig. 193. — *Cypridina striato-serrata*, avec individu grossi.

Quelquefois une partie du corps est recouverte de plaques simplement osseuses, s'appuyant les unes sur les autres, et formant une véritable cuirasse. Le squelette est osseux ou cartilagineux; dans la plupart des genres paléozoïques, une simple corde dorsale remplace la colonne vertébrale, et la queue est hétérocerque. Les ga-

noïdes fossiles se divisent en trois ordres principaux : 1° les *cuirassés*, dont le corps est en partie revêtu d'une carapace de plaques osseuses ; 2° les *rhombifères*, dont les écailles, étroitement unies entre elles par leurs bords, ont la forme d'un rectangle ou d'un parallélogramme (fig. 195, 196) ; 3° les *cyclifères*, dont les écailles sont libres et arrondies à leur bord postérieur (fig. 197).

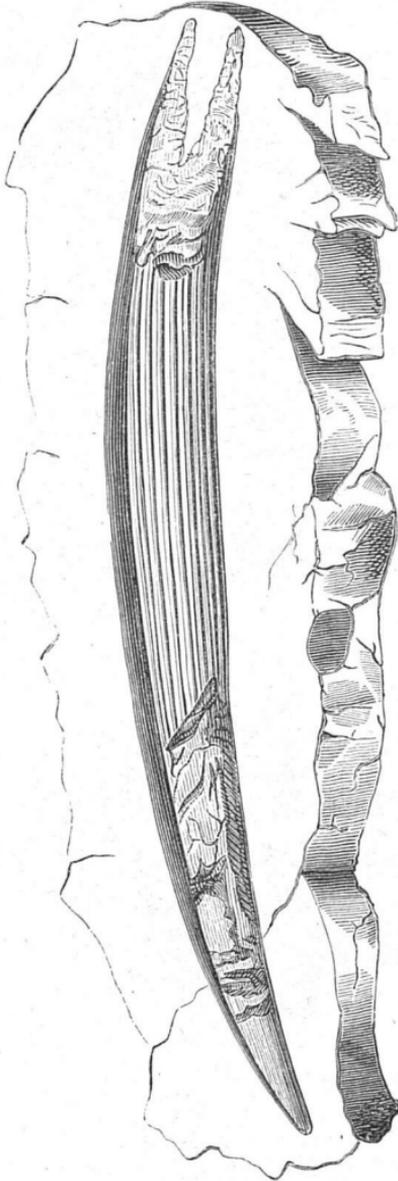


Fig. 194. — Ichthyodorulite.

**Téléostéens.** — Les poissons *téléostéens* sont les plus communs de nos jours. Ils se distinguent à leurs écailles cornées, sans émail, régulièrement imbriquées, arrondies à leur bord postérieur. Ils sont osseux et *homocercques*, c'est-à-dire que la nageoire caudale termine carrément le corps, à l'extrémité de la colonne vertébrale. Selon que le bord postérieur de l'écaille se trouve entier ou dentelé, on a divisé les poissons téléostéens en deux ordres, d'ailleurs fort artificiels : les *cycloïdes* et les *cténoïdes*.

Les poissons devoniens étaient tous placéïdes ou ganoïdes. Les premiers nous sont surtout connus par les innombrables ichthyodorulites qu'ils ont laissées à une foule de niveaux. Les ganoïdes appartiennent aux trois ordres. C'est principalement celui des cuirassés qui a fourni les types les plus remarquables. Les *Pterichthys*, dont la queue seule était écaï-

leuse, avaient les membres pectoraux fort développés, et plus semblables à des pattes qu'à des nageoires. Plus extraordinaires encore, les *Cephalaspis* avaient une tête arrondie en avant, d'une largeur énorme, et prolongée latéralement en deux pointes rappelant celles

des joues de certains trilobites (fig. 498, 499). Les rhombifères et les cyclifères se rapprochaient davantage de la forme ordinaire des pois-

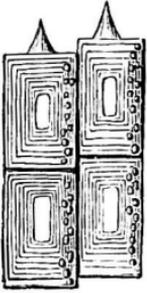


Fig. 195.  
Écailles de ganoïdes  
rhombifères.



Fig. 196.  
Écailles de ganoïdes  
rhombifères.

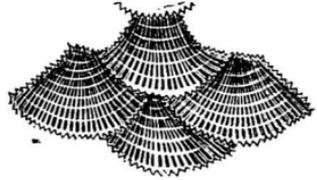


Fig. 197.  
Écailles de ganoïdes  
cyclifères.

sons. Ces deux ordres sont représentés, à l'époque devonienne, par des genres nombreux, très-riches en espèces (fig. 200, 201).

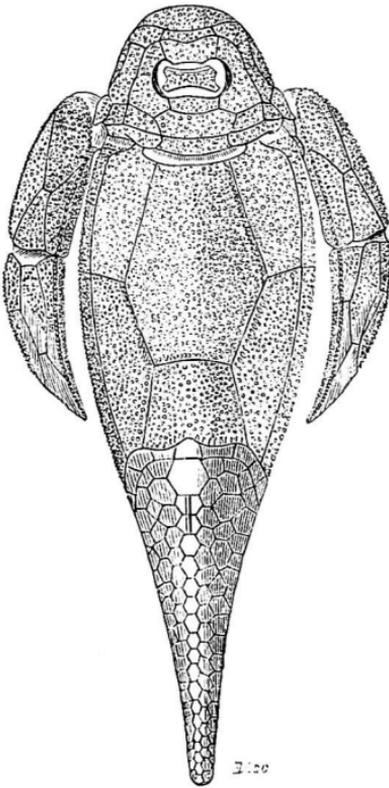


Fig. 198. — *Pterichthys Milleri*.

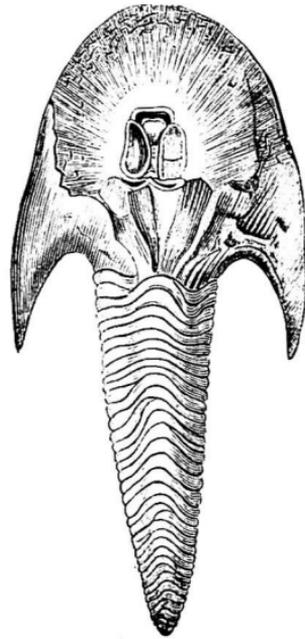


Fig. 199. — *Cephalaspis Lyellii*.

Les vertébrés à respiration aérienne n'ont point encore été signalés d'une manière authentique dans le terrain devonien ; depuis

que M. Huxley a prouvé que le grès rouge de la célèbre localité d'Elgin, en Angleterre, appartient au terrain du trias, les plus anciens reptiles connus sont ceux du terrain carbonifère. A plus forte raison les assises devoniennes ne renferment-elles aucune trace des vertébrés à sang chaud.

**Caractéristiques de la faune devonienne.** — On peut dire, en

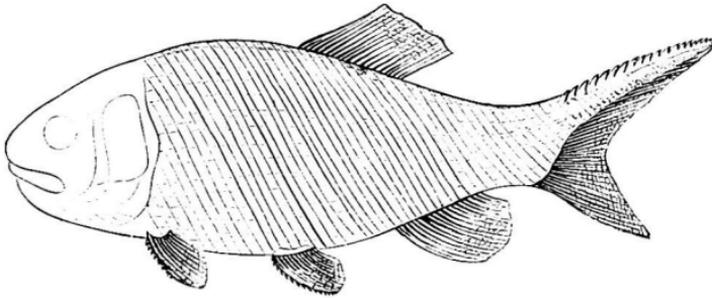


Fig. 200. — Restauration d'un poisson ganoïde rhombifère.

résumé, que l'époque devonienne est le règne des clyménées et des goniatites, et qu'elle est principalement caractérisée par les calcéoles, les strigocéphales, les *Spirifer* à larges ailes, les clyménées, les goniatites et les poissons ganoïdes cuirassés.

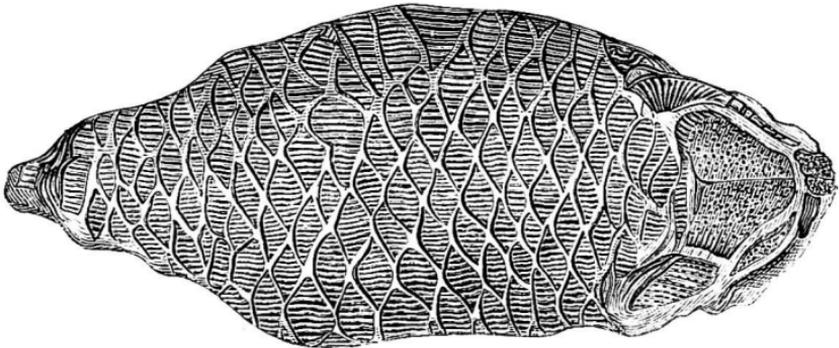


Fig. 201. — *Holoptychus Andersonii*.

**Flore devonienne.** — La flore devonienne offre déjà de l'intérêt. Abstraction faite des algues marines et des cryptogames inférieures, qui n'ont laissé que de vagues empreintes, on connaissait, en 1850, une soixantaine de plantes terrestres, appartenant principalement aux familles des équisétacées, des fougères, des lycopodiées et à la grande division des gymnospermes. Aujourd'hui, ce nombre a été porté à cent quatre-vingts. Les *Calamites*, les *Stigmaria*, les *Sigillaria*, les *Psilophyton*, les *Lepidodendron*, les *Næggerathia*, les

*Prototaxites* et d'autres genres précurseurs de la belle flore houillère sont représentés, dans le terrain devonien, par des espèces particulières. Pour la description des familles, je dois renvoyer le lecteur au terrain houiller.

Tous de grande taille et souvent de dimensions colossales, ces végétaux recouvraient sans doute une partie des terres fermes, et pullulaient dans les marais et les tourbières de l'époque, où vivait déjà une coquille d'eau douce. Extrêmement remarquable par le nombre et la vigueur des individus, cette flore était d'ailleurs fort monotone, et ne consistait, dans chaque localité, qu'en huit ou dix espèces privées de fleurs et se répétant indéfiniment. Les dépôts d'anthracite, qui prennent de l'importance, dénotent la richesse de la végétation, et laissent soupçonner l'existence de lacs ou de marais fort étendus.

**Faune devonienne en général.** — La faune devonienne n'est que la continuation de la faune silurienne, mais avec une tendance marquée au perfectionnement. Quelques espèces passent de l'un à l'autre terrain ; un très-grand nombre de genres siluriens sont représentés, à l'époque devonienne, par des formes nouvelles ; plusieurs s'éteignent, et ceux qui apparaissent montrent souvent une plus grande complication de structure. Cette faune, qui compte déjà 5160 espèces, constitue un ensemble indivisible, comparable à l'une des trois grandes faunes siluriennes, et cependant plus riche peut-être qu'aucune de ces dernières : de sorte qu'au point de vue paléontologique le terrain devonien n'équivaut guère qu'au tiers du terrain silurien. Aussi les subdivisions en sont-elles moins générales, moins naturelles, et varient-elles davantage en nombre et en importance suivant les localités, car elles reposent plutôt sur la pétrographie que sur la paléontologie. Par ce premier exemple, on voit à quel point est artificielle la division de la durée géologique en époques distinctes, et combien on peut faire varier l'étendue de ces époques. Rien ne s'opposerait, en effet, à ce que le terrain devonien fût réuni au silurien, dont il formerait la faune quatrième. C'est plutôt par des motifs de convenance, et parce qu'il est peu commode de laisser en un seul tenant un ensemble trop grand d'assises, que par des considérations tirées de la nature des choses, qu'on a été conduit à séparer les strates devoniennes en un terrain particulier. Rien n'empêcherait non plus que le système silurien fût divisé en trois terrains, dont chacun aurait à peu près l'importance paléontologique du devonien. Quand on connaîtra mieux les couches

fossilifères les plus anciennes, il y aura probablement des modifications importantes à introduire dans les subdivisions de la période paléozoïque.

**Distribution géographique des fossiles devoniens.** — Peut-être, à l'époque devonienne, distingue-t-on moins facilement les centres de dispersion qu'à l'époque silurienne. L'aire occupée sur le globe par la plupart des espèces était toujours fort étendue. De Verneuil indique 40 espèces communes à l'Europe et aux États-Unis ; presque tous les fossiles devoniens de l'Espagne et du Caucase se retrouvent dans le reste de l'Europe ; sur 8 espèces de la Chine, il y en a 7 d'euro péennes. Les fossiles devoniens recueillis dans l'hémisphère austral, en Bolivie, dans les îles Falkland et au cap de Bonne-Espérance, diffèrent spécifiquement de ceux de l'hémisphère boréal, mais appartiennent tous à des genres de l'Europe ; 5 espèces sont communes au Cap et aux îles Falkland. Ces faits dénotent la continuation d'une température élevée et uniforme dans les mers du globe.

**TERRAIN CARBONIFÈRE.** — Ce terrain a pris son nom du charbon fossile, houille et anthracite, dont il est le principal gisement. Les grès, les poudingues, les argiles et les calcaires alternent dans toute son épaisseur, les grès dominant, mais les schistes ardoisiers ne se montrent plus que par exception. Des couches de houille, régulièrement intercalées ou formant des amas lenticulaires, se rencontrent à divers niveaux, quelquefois accompagnées de rognons de carbonate de fer, dont l'industrie tire un grand profit. Assez nettement stratifiées, les assises ont subi çà et là des dislocations considérables, et montrent alors un commencement de métamorphisme ; mais dans les contrées où elles sont restées horizontales, en Russie par exemple, elles conservent leurs caractères sans altération, et semblent appartenir, au premier abord, à des terrains beaucoup plus récents, créacés ou tertiaires, tant elles en ont l'apparence et le peu de solidité. Les injections de roches éruptives n'ont guère été signalées que dans certaines contrées de l'Angleterre. Ordinairement concordant avec le terrain devonien, le terrain carbonifère ne s'en distingue que par la faune, qui forme un ensemble indivisible, de l'importance de la faune devonienne. Elle équivaut, par conséquent, à l'une des trois faunes siluriennes. Aussi les subdivisions de l'étage varient-elles selon les localités, et dépendent-elles beaucoup de la nature minéralogique des assises.

**Oscillations du sol.** — Les intercalations fréquentes de couches

charbonneuses indiquent des oscillations du sol, toutes les fois qu'il est bien établi que les amas de combustible ne proviennent pas de charriage. Aux États-Unis et ailleurs, c'est souvent au milieu de sédiments marins que se trouvent les houilles et les anthracites, formées cependant par des végétaux terrestres. Le sol a donc été mis à sec pendant toute la durée de chacune des tourbières où s'accumulaient les combustibles ; il était replongé sous les eaux marines pendant que se déposaient les assises minérales.

La puissance totale de la formation est très-variable. En Angleterre, elle oscille entre 1200 et 3600 mètres ; dans les Asturies elle paraît dépasser 5000 mètres, et dans les monts Apalaches, elle atteint 5600 mètres.

**Terrain houiller de l'Europe occidentale.** — Dans presque toute l'Europe, les couches de houille n'existent qu'au-dessus du terrain carbonifère marin, qui est ordinairement de nature calcaire. Elles en sont quelquefois séparées par les puissantes assises du grès meulier (*milstone-grit*) de l'Angleterre, souvent discordant lui-même avec le terrain carbonifère proprement dit. On voit que des mouvements fort étendus de l'écorce solide ont eu lieu à cette époque. La houille elle-même se trouve intercalée au milieu de couches d'eau douce, qui forment des bassins circonscrits, entièrement indépendants, tantôt recouverts plus tard par des sédiments marins, tantôt laissés définitivement à sec. Les dépôts houillers du Plateau central de la France sont dans ce cas, et affleurent à la surface du sol. La plus grande partie de l'Europe occidentale était donc émergée, à la suite d'un mouvement ascensionnel qui avait refoulé les mers de l'époque carbonifère vers des parages encore mal connus, puisqu'on ne sait pas exactement quels terrains marins correspondent aux dépôts des bassins houillers. Toutes ces circonstances ont fait considérer le *terrain houiller* proprement dit de l'Europe occidentale comme une formation distincte du terrain carbonifère, avec lequel il n'a de commun que les gisements de combustibles. Encore, ces derniers n'existent-ils guère qu'aux États-Unis dans le terrain carbonifère marin. En tout état de choses, les bassins houillers offrent le premier exemple d'un terrain d'eau douce important intercalé au milieu de la série des assises sédimentaires, presque toutes d'origine marine jusqu'alors. Plus tard nous aurons à signaler de pareilles intrusions ; mais ce n'est qu'à une époque fort rapprochée de nous que les terrains lacustres égalent en étendue les bassins houillers.

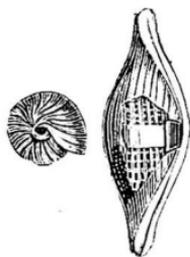
La question de savoir si le terrain houiller proprement dit constitue une formation indépendante, ou s'il doit être rattaché au terrain carbonifère, qui le précède, ou bien au terrain permien, qui vient après lui, ne semble pas encore résolue d'une manière satisfaisante. Il convient cependant, en principe, d'attribuer les assises d'eau douce aux formations marines contemporaines ; mais l'embarras est grand, dans le cas particulier, puisqu'on ne sait pas au juste quels sont les terrains marins de l'époque houillère. A défaut de mieux, on est obligé de rattacher les dépôts houillers à l'un des terrains marins entre lesquels ils se trouvent intercalés, et c'est au terrain carbonifère qu'on accorde la préférence. Les motifs qui militent en faveur de cette réunion sont : la concordance de stratification, à peu près constante, entre le calcaire carbonifère et le terrain houiller, quand le grès meulier ne les sépare point ; l'intercalation, dans l'un comme dans l'autre, de couches de combustibles, qui n'existent plus dans le terrain permien ; l'absence de sigillaires dans la flore permienne ; enfin l'analogie entre les poissons carbonifères et les poissons houillers (*Palæoniscus*), qui n'ont pas les écailles ponctuées ou striées comme ceux du terrain permien. Il ne faut pas se dissimuler, cependant, que la solution n'est sans doute point définitive, et que la manière de voir actuelle peut être modifiée par quelque découverte imprévue. Si, en effet, on compte sept plantes communes au calcaire carbonifère et au terrain houiller, on en connaît au moins six existant à la fois dans le terrain permien et dans les schistes bitumineux de Muse, près d'Autun, qui constituent la partie supérieure du terrain houiller. En Saxe et en Russie, la flore houillère et la flore permienne renferment huit pour cent d'espèces communes ; et dans la Bohême, on signale un remarquable mélange des faunes dans les couches houillères et les couches permienues en contact.

**Faune carbonifère. — Foraminifères.** — Dans le terrain carbonifère marin, les *foraminifères* gagnent en importance. Ils sont surtout représentés par les *fusulines*, qui remplissent certaines assises de la Russie, au point qu'on les a comparées au calcaire à miliolites des environs de Paris (fig. 202).

**Polypiers.** — Dans l'embranchement des zoophytes, les *polypiers* déclinent encore quelque peu. Les *zoanthaires rugueux* forment, pour la dernière fois, une faune nombreuse ; les *zoanthaires tabulés* s'ararissent ; au contraire, les *zoanthaires tubuleux* commencent à se multiplier. Cette dernière famille est caractérisée par l'absence

de cloisons verticales, remplacées par de simples stries; la columelle fait également défaut; la muraille est entière (fig. 203, 204, 205, 206).

**Crinoïdes.** — Les *crinoïdes* atteignent leur premier maximum,



• Fig. 202.  
Fusulina cylindrica.



Fig. 203.  
Chladoconus crassus.

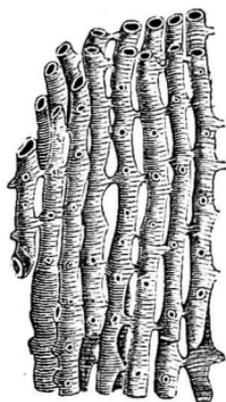


Fig. 204.  
Syringopora geniculata.

car ils en ont un autre dans le terrain jurassique. Cependant les cystidés ont disparu sans retour; mais ils sont remplacés par les *blastoïdes* et surtout par les *cyathocrinides*. Encore désignés sous le

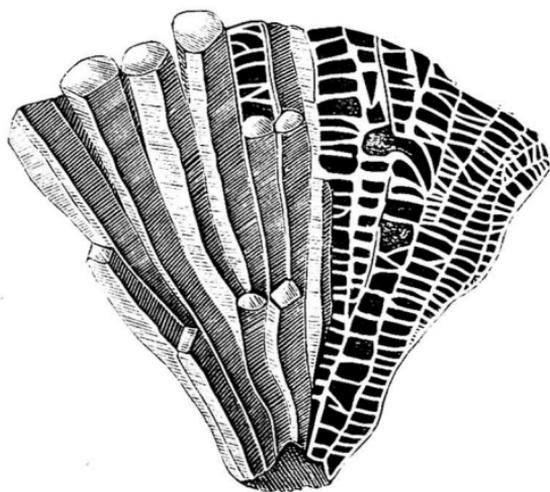


Fig. 205. — Beaumontia Egertoni.

nom de *penétrémities*, les premiers se reconnaissent à leur calice globuleux, porté sur une tige grêle, et muni en dessus de cinq aires, appelées pseudo-ambulacraires, à cause de leur ressemblance avec les ambulacres des oursins. Chacune de ces aires est sillonnée en

long, striée en travers et perforée à son sommet. Les bras n'existent point. Cette famille, qui se rapproche des échinodermes supérieurs, s'éteint dans le terrain carbonifère, où elle arrive à son apogée. Les *cyathocrinides* appartiennent surtout à la famille des

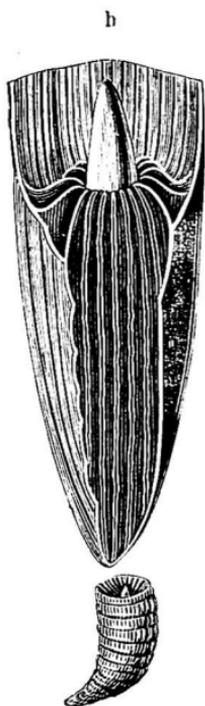


Fig. 206.

*Cyathaxonia cornu*;  
b, individu grossi.

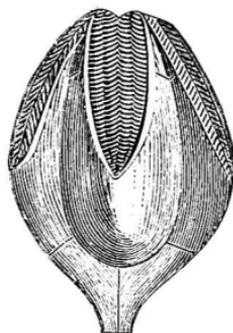


Fig. 207.

*Pentremites pyriformis*.



Fig. 208.

*Atocrinus Milleri*.

*actinocrinides* à longs bras ; un très-grand nombre de genres sont particuliers à l'époque (fig. 207, 208).

**Stellérides, échinides.** — Les *stellérides* ne peuvent être cités

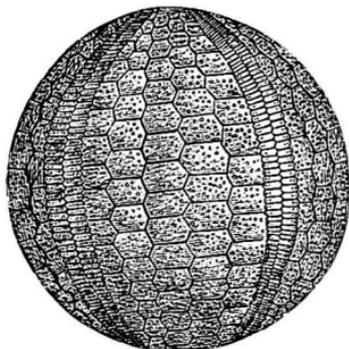


Fig. 209.

*Palechinus elegans*.

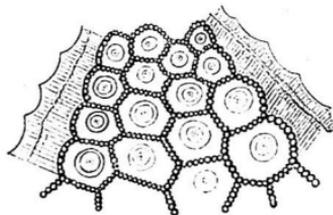


Fig. 210.

*Archæocidaris Wortheni*.

que pour mémoire. Les *échinides* sont représentés par la famille des *Archæocidaris*, qui paraît remonter au terrain silurien supérieur,

qui atteint son maximum à l'époque carbonifère et qui ne dépasse point la limite des temps paléozoïques. Ces oursins se distinguent de tous ceux des périodes subséquentes, en ce que leurs aires interambulacraires se composent de trois rangées au moins de plaques, toutes hexagonales (fig. 209, 210).

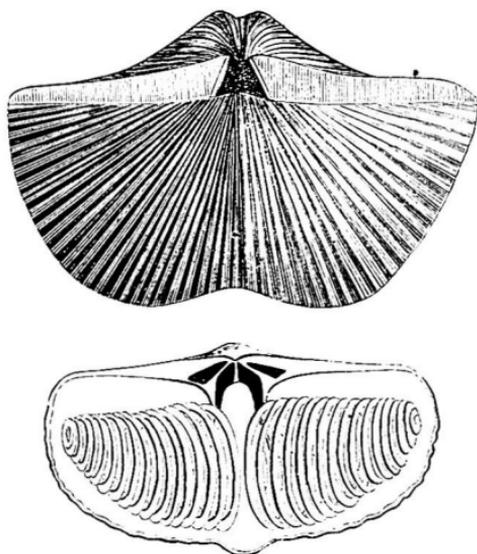


Fig. 211. — *Spirifer striatus*.

**Bryozoaires.** — Les mollusques *bryozoaires* se trouvent en progrès ; ils se rapportent généralement aux types des époques antérieures.



Fig. 212.

*Chonetes sarcinulata*.



Fig. 213.

*Productus longispinus*.

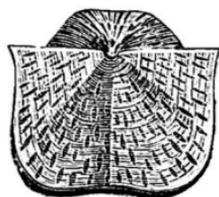
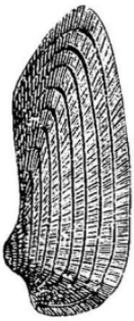
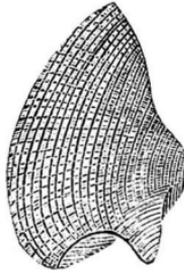
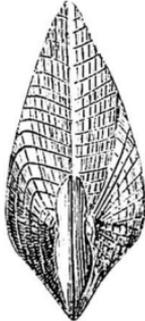
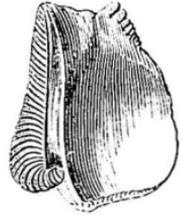


Fig. 214.

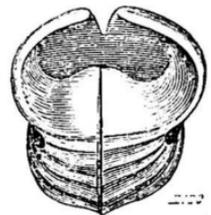
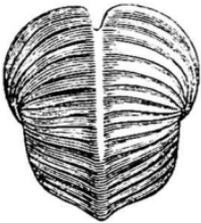
*Productus scabriculus*.

**Brachiopodes.** — Les *brachiopodes*, dont la décadence continue rapidement, forment pour la dernière fois un ensemble encore important. Ils ne gagnent que le genre *Camarophoria*, et perdent les *Orthis*, les *Strophomena* et les *Pentamerus*. Les *Spirifer*, les *Chonetes*, les *Productus* atteignent leur maximum, ces derniers, généralement représentés par des espèces bombées, de très-grande taille (fig. 211, 212, 213, 214).

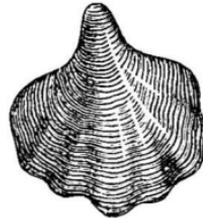
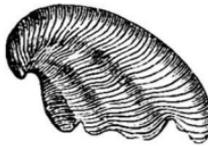
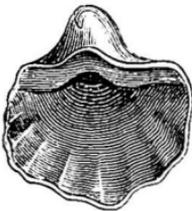
**Acéphales et gastéropodes.** — Les *acéphales* déclinent encore, mais les *gastéropodes* se relèvent quelque peu. Si l'existence des pleuroconques *sinupalléales* est encore douteuse aux époques anté-

Fig. 215. — *Arca Lacordaireana*.Fig. 216. — *Conocardium aliforme*.

rieures, elle ne peut plus être contestée dans le terrain carbonifère, où cette famille se trouve représentée par le genre *Allorisma*, voisin des pholadomyes. Parmi les gastéropodes, les genres *Bellerophon*,

Fig. 217. — *Bellerophon cornu-arietis*.

*phon*, *Murchisonia*, *Straparolus*, *Pleurotomaria*, *Euomphalus*, *Polytremaria* sont extrêmement riches en espèces, et la plupart arrivent à leur maximum (fig. 215, 216, 217, 218, 219).

Fig. 218. — *Capulus vetustus*.

**Nautilides.** — La décadence des céphalopodes *nautilides* continue, cette famille, si nombreuse dans les temps siluriens, ne figurant plus que pour 271 espèces dans la faune carbonifère. Presque tout ce qui restait des genres paléozoïques disparaît à jamais, les ortho-

ères, les cyrtocères et les nautilus parvenant seuls jusqu'au terrain permien. Les *nautilus* atteignent ici leur maximum, ainsi que les *goniatites* (fig. 220, 221, 222).

**Articulés.** — Dans l'embranchement des articulés, les *amélides*

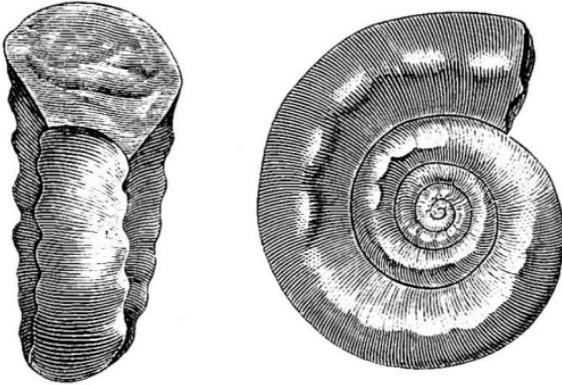


Fig. 219. — *Euomphalus pugilus*.

font toujours assez mince figure. Réduits à deux ou trois genres, les *trilobites* ne sont plus représentés que par 15 espèces. Au contraire, les *crustacés* proprement dits augmentent en nombre, et

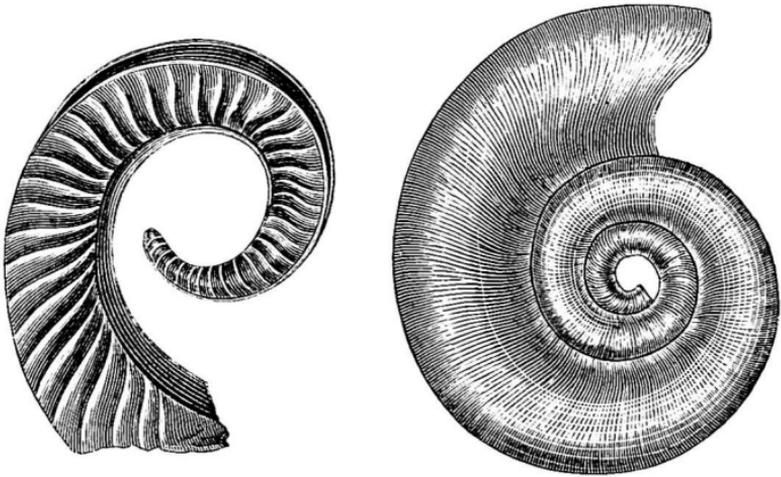


Fig. 220. — *Nautiloceras aigoceras*.

Fig. 221. — *Nautilus Levellianus*.

plusieurs familles nouvelles, notamment celle des *xiphosures*, font leur apparition. Je n'inscris qu'avec hésitation les classes des *arachnides*, des *myriapodes* et des *insectes* dans la faune carbonifère, de peur d'y introduire des types houillers, les deux faunes n'ayant pas toujours été suffisamment distinguées.

**Poissons.** — Fort nombreux et fort caractéristiques, les *poissons*

rappellent ceux des époques précédentes. Les *placoïdes* atteignent ici leur maximum pour les temps paléozoïques; ils sont représentés par la famille des *plagiostomes*, qui se distinguent par leur mâchoire supérieure mobile et suspendue. Les *ganoïdes* se maintiennent à peu près au même niveau; seulement les types cuirassés bizarres de l'époque précédente disparaissent presque absolument. Les *cyclifères* sont fort nombreux, mais les *rhombifères* dominent dans la faune, et lui donnent son caractère particulier. Ils se rapprochent déjà de la forme des poissons actuels. Une foule de genres, tels que *Amblypterus*, *Eurynotus*, *Acrolepis*, *Palaeniscus*, sont très-caractéristiques, et fournissent d'innombrables espèces. Il est à noter que les *Palaeniscus* carbonifères ont en général les écailles

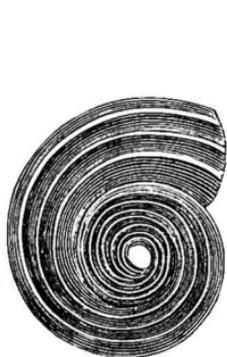


Fig. 222.  
*Nautilus Konninckii*.



Fig. 223.  
Écailles  
de *Palaeniscus*  
carbonifère.

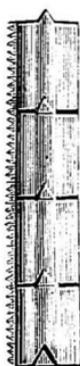


Fig. 224.  
Écailles  
de *Palaeniscus*  
permien.



Fig. 225.  
Vertèbre  
de l'*Eosaurus*  
acadianus.

lisses, et se distinguent ainsi de leurs congénères permien, dont les écailles sont rugueuses ou striées (fig. 223, 224).

**Reptiles.** — Les *reptiles* font ici leur apparition. Quoique les auteurs n'aient pas toujours suffisamment distingué ceux qui reviennent en propre au terrain carbonifère marin et ceux qui appartiennent aux assises houillères d'eau douce, on peut néanmoins revendiquer, pour la faune carbonifère le *Sauropus primævus* des États-Unis et l'*Eosaurus acadianus* de la nouvelle Écosse. Ce dernier, connu seulement par ses vertèbres, appartient à l'ordre des *énaliosauriens*, reptiles marins qui ont joué un rôle important à l'époque mésozoïque, et dont nous ajournons la description (fig. 225).

**Caractéristiques de la faune carbonifère.** — On peut résumer l'époque carbonifère, en disant qu'elle voit le règne des crinoïdes

fixes, des poissons placoïdes, et qu'elle est particulièrement caractérisée par les fusulines, les pentrémitides ; par l'abondance des *Chonetes* et des gros *Productus* ; par les *Bellephoron*, les *Straparolus*, les *Cirrus*, les *Euomphalus* et autres gastéropodes à spire aplatie et à large ombilic ; par les innombrables poissons du genre *Palaoniscus*. En 1872, cette faune comptait 4901 espèces, d'après M. Barrande.

**Flore carbonifère.** — Un peu plus riche que la flore devonienne, la flore terrestre carbonifère se compose seulement d'équisétacées, de fougères, de lycopodiacées et de gymnospermes ; elle n'a que sept espèces communes avec la flore houillère.

**Distribution géographique des fossiles carbonifères.** — La flore et la faune carbonifères indiquent une grande uniformité de climat et une température tropicale, aussi bien dans le voisinage des pôles qu'à l'équateur, où la chaleur n'était point excessive. On rencontre, en effet, les mêmes genres, et quelquefois les mêmes espèces au Spitzberg et au Caboul. Les *Chonetes variolatus*, *Productus striatus*, *P. Cora*, *P. semireticulatus*, *Spirifer striatus*, *S. Roysii*, etc., ont été signalés sous toutes les latitudes. Sur 22 espèces carbonifères prises dans un tableau dressé par Bronn en 1856, 15 sont communes aux États-Unis et à l'Europe, qui possède également 8 espèces du Texas, 8 de Bolivie, 7 de Van-Diemen, 5 du Caboul, 11 du nord de l'Oural, 3 de l'île aux Ours et du Spitzberg. D'après M. Austen, on retrouve en Angleterre la moitié des 46 espèces carbonifères découvertes par lui au Cachemire ; d'après M. Davidson, sur 26 brachiopodes du Pendjab, 13 existent en Europe, 2 dans l'Amérique du Nord, 3 dans l'Amérique du Sud, et 8 seulement sont particuliers à l'Inde. La moitié des 18 espèces de Timor étudiées par M. Beyrich appartiennent aussi à l'Europe. Néanmoins les faunes étaient cantonnées comme à l'époque précédente, sinon autant qu'à l'époque silurienne, et l'on soupçonne çà et là des anomalies. M. de Koninck a reconnu, en effet, dans les fossiles carbonifères du Pendjab, quelques formes annonçant des époques plus récentes ; et l'on signale, en Australie, un véritable mélange de fossiles carbonifères et de fossiles jurassiques.

**Faune houillère.** — Dans le terrain houiller proprement dit, on n'a guère trouvé que des animaux et des plantes terrestres, ainsi qu'il était naturel. Les mollusques y figurent par quelques acéphales d'eau douce voisins des *Unio* et des *Cyclus*, et par quelques gastéropodes des genres *Pupa*, *Spirorbis*, *Zonites*, ce dernier bien voisin des *Helix*.

Des limules, des euryptères et des crustacés amphipodes remplacent les trilobites des époques précédentes. Les articulés à respiration aérienne font leur première apparition bien constatée : ce sont des

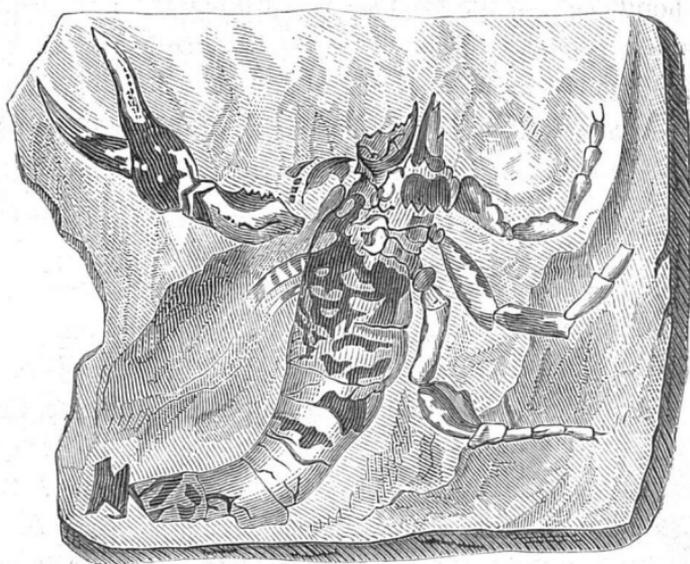


Fig. 226. — Cyclophthalmus de Bohême.

*orthoptères* voisins des blattes et des sauterelles ; des *névroptères*, des *coléoptères*, des *myriapodes* et des *arachnides* semblables aux scorpions (fig. 224, 225). Les *poissons* appartiennent à l'ordre des ganoïdes rhombifères, et sont presque exclusivement représentés par les *Amblypterus* et les *Palaeoniscus* à écailles lisses, qui paraissent également s'accommoder des eaux douces et des eaux marines. La faune des *reptiles* devient importante. On signale, dans les houillères, des *batraciens* ressemblant à des salamandres et à des grenouilles (*Raniceps*, *Parabatrachus*, etc.), dont quelques-uns avaient plus de 2 mètres de longueur (fig. 228). Les *labyrinthodontes*, qui établissent le passage entre les batraciens et les reptiles, fournissent des types



Fig. 227.  
Aile de Blattina.

dont la forme extérieure rappelle les salamandres ou les serpents (*Ophioderpeton*). D'autres genres, dont on a fait le groupe des *ganocéphales*, possèdent certains caractères qu'on ne rencontre que

dans les poissons ganoïdes. Tels sont les *Actinodon* et les *Archegosaurus*, qui rattachent aussi les batraciens aux lézards (fig. 229). Enfin, les *Dendroperon*, *Hylonomus*, *Hylorpeton*, etc., offrent les premiers types terrestres de la famille des *lacertiens*. On voit que les reptiles houillers sont en progrès sous le rapport de la perfection organique; cependant, si les batraciens ont débuté avant les reptiles proprement dits, ils commencent par les labyrinthodontes, qui sont de beaucoup supérieurs aux batraciens ordinaires. Ici

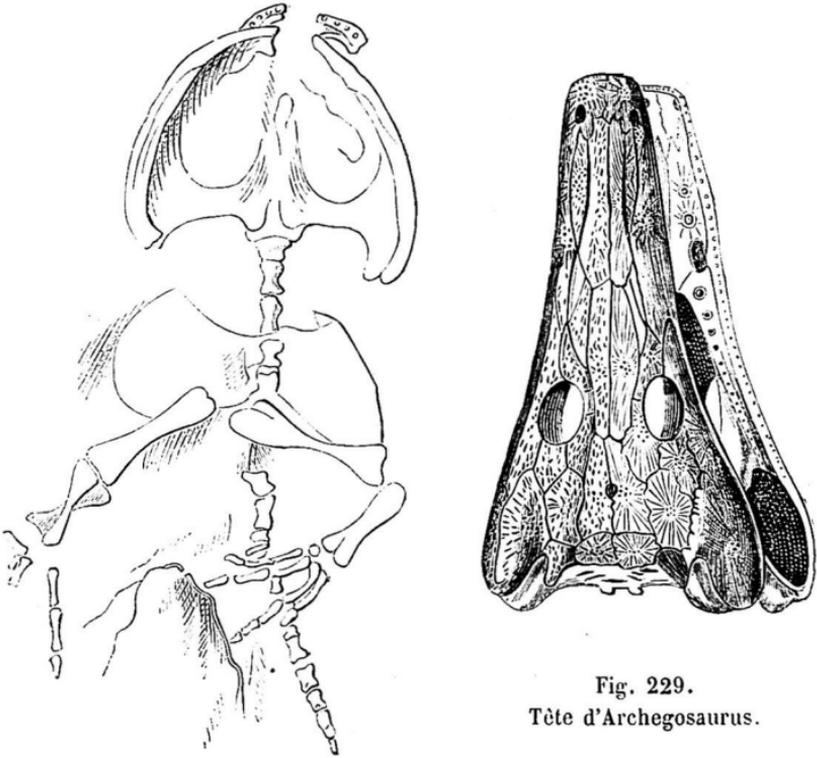


Fig. 228. — *Raniceps Lyellii*.

Fig. 229.  
Tête d'*Archegosaurus*.

encore la prétendue loi du perfectionnement continu se trouve en défaut.

**Flore houillère.** — La flore houillère est la plus riche de toutes celles qui ont précédé la flore tertiaire; mais cela tient peut-être à ce qu'on l'a beaucoup plus étudiée, et à ce que les terrains d'eau douce occupaient alors une étendue infiniment plus grande qu'à aucune autre époque. Comme les flores antérieures, elle ne paraît renfermer que des acotylédones acrogènes et des gymnospermes. Il importe de la décrire avec quelque détail. Je dois rappeler que c'est surtout grâce aux savantes recherches de MM. Ad. Brongniart,

Goeppert, Schimper, Corda, et, en dernier lieu, de M. Grand Eury, que nous connaissons assez complètement cette flore intéressante, dont les principales familles étaient celles des *équisétacées*, des *fougères*, des *lycopodiacées*, des *calamodendrées*, des *sigillariées*, des *cycadées*, des *cordaïtes*, des *conifères* et des *annulariées*. Les trois premières, et sans doute la dernière, appartiennent à l'embranchement des acotylédones acrogènes ; les autres sont des dicotylédones gymnospermes.

**Équisétacées.** — Les *équisétacées* se distinguent aisément à leur tige droite et roide, creusée à son milieu d'une vaste lacune, et, par conséquent, largement fistuleuse, striée en long, et divisée en un certain nombre d'entre-nœuds, à la base desquels on remarque une gaine dentelée de consistance foliacée. Les rameaux, quand ils existent, naissent par verticilles, au niveau des nœuds, mais en dehors de la gaine foliacée, qui devient ainsi axillaire par rapport au rameau, et ne saurait être assimilée à un verticille de feuilles soudées. Les cannelures qui sillonnent extérieurement la tige alternent d'un entre-nœud à l'autre. La tige elle-même peut être regardée comme formée de deux cylindres creux intimement juxtaposés : l'un extérieur ou cortical, l'autre intérieur ou ligneux. Analogue à l'écorce, le premier consiste en plusieurs couches de tissu cellulaire renfermant des faisceaux fibreux à des places déterminées ; son épiderme est incrusté de silice amorphe. Le second, qui représente le corps ligneux sans en avoir la consistance, renferme des faisceaux fibro-vasculaires. L'un et l'autre sont perforés de lacunes simulant de longs tubes verticaux, et disposées en cercles réguliers. Celles du cylindre cortical répondent aux sillons qui séparent les côtes saillantes à l'extérieur ; ordinairement plus petites, celles du cylindre ligneux se trouvent placées dans l'intervalle des premières, et, par conséquent, vis-à-vis des côtes. La plupart de ces détails de structure ont pu être distingués chez les *équisétacées* fossiles, qui étaient enracinées de la même manière que les vivantes ; c'est-à-dire que d'une souche rampante, articulée, qui s'enfonçait obliquement dans la terre et donnait naissance à de nombreuses racines, partaient des tiges aériennes isolées ou fasciculées, simples ou rameuses, suivant les espèces, et quelquefois terminées en pointe à leur base, où les entre-nœuds étaient beaucoup plus courts. On sait que la fructification des *équisétacées* consiste en un cône terminal, formé de verticilles d'écailles ressemblant à des clous à large tête, et portant les sporanges (fig. 230, 231, 232).

On a trouvé, dans les houillères de l'Angleterre et de la Silésie, un véritable *Equisetum* de petite taille; néanmoins la famille était surtout représentée par le genre *Calamites*, à l'époque paléozoïque. Les *Calamites*, dont les espèces, ordinairement de grande dimen-

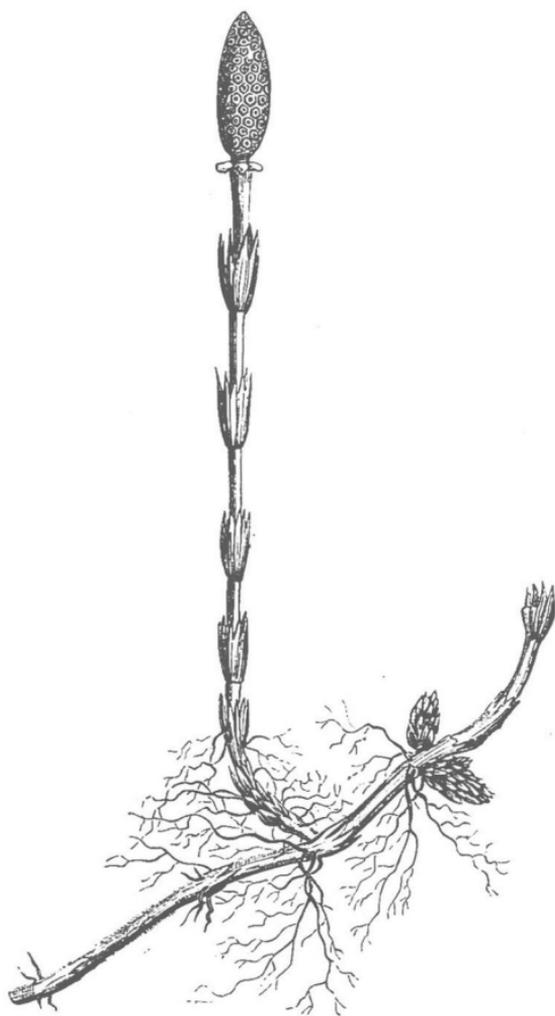


Fig. 230.

*Equisetum arvense* muni de son rhizome et de sa fructification.

sion, mesuraient souvent un décimètre de diamètre et davantage, ont beaucoup de rapport avec les *Equisetum* vivants. Ils en diffèrent cependant par l'absence complète de gaine foliacée et d'appendices extérieurs, ces derniers se trouvant remplacés par des verticilles de petits tubercules, qu'on a pris, avec raison, pour des rameaux avortés. A la hauteur des articulations, M. Grand Eury a reconnu la

trace de diaphragmes, qui divisaient en chambres superposées la grande lacune centrale; il a en outre constaté l'existence d'un épiderme intérieur lisse, au pourtour de cette lacune. Les tiges, simples ou rameuses suivant les espèces, naissaient de rhizomes articulés; elles étaient terminées en pointe à leur base. La fructification des Calamites est mal connue (fig. 233, 234, 235).



Fig. 231.  
Equisetum palustre.

**Fougères.** — La famille des fougères se trouvait richement représentée dans le terrain houiller, et, en général, pendant toute la période paléozoïque. Ses types les plus nombreux et les plus intéressants appartiennent au groupe des fougères arborescentes. La plupart des espèces fossiles nous sont connues par leurs feuilles et par leurs tiges; seulement, comme on ne trouve que par exception les unes adhérentes aux autres, il y a eu, dans l'application des noms génériques, des doubles emplois dont le nombre diminue de jour en jour, mais qui ne pouvaient être évités dans le principe, beaucoup de genres ayant été établis uniquement d'après la tige, beaucoup d'autres, d'après les feuilles. De ces

dernières je n'ai rien à dire, leur structure étant identique avec

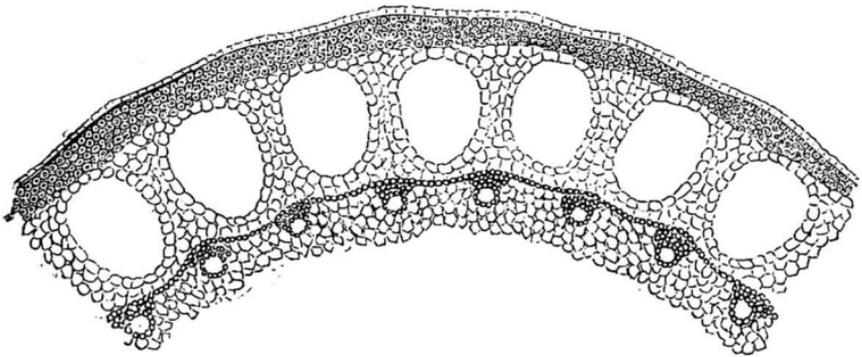


Fig. 232.

Coupe transversale grossie d'une portion d'*Equisetum eburneum*, montrant la grande lacune centrale, les deux cylindres de la tige et leurs lacunes particulières.

celle des feuilles des fougères vivantes. C'est surtout d'après la disposition de leurs nervures qu'on a établi les distinctions génériques (fig. 236, 237, 238). Rarement les sores ont été trouvés dans un état satisfaisant. Comme celles des fougères vivantes, la plupart des tiges des fougères fossiles portent à l'extérieur des cicatrices qui marquent les lieux d'insertion des feuilles. Ces cicatrices sont ovales, ou rétrécies en angle vers le haut, ou encore



Fig. 233.  
Calamites Suckowi.

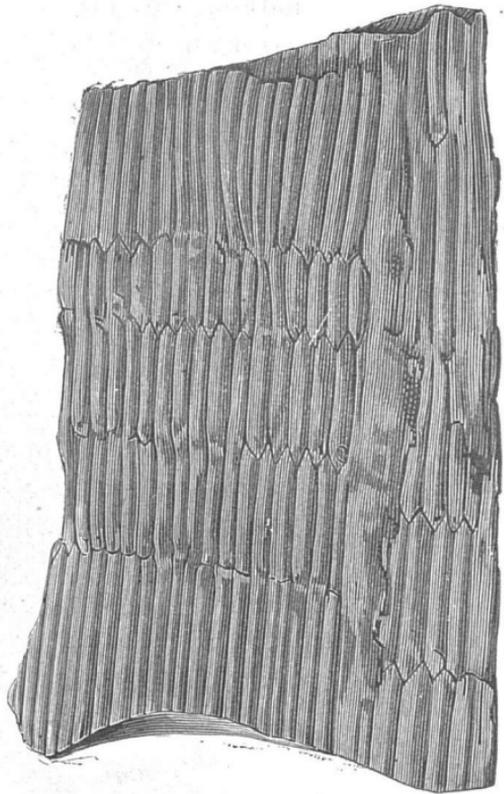


Fig. 234.  
Calamites cannæformis.

en losange. Leur grand axe est ordinairement vertical ; elles sont disposées en spirales régulières ; à leur centre on distingue les saillies des faisceaux fibro-vasculaires, qui, de la tige, passaient dans la feuille (fig. 239, 240).

Les fougères du terrain houiller se rapportent à deux types principaux, représentant deux tribus, auxquelles les genres *Odontopteris*, d'une part, *Caulopteris* et *Psaronius*, d'autre part, peuvent servir de caractéristiques.

Analogues aux *Angiopteris*, et, en général, aux fougères vivantes

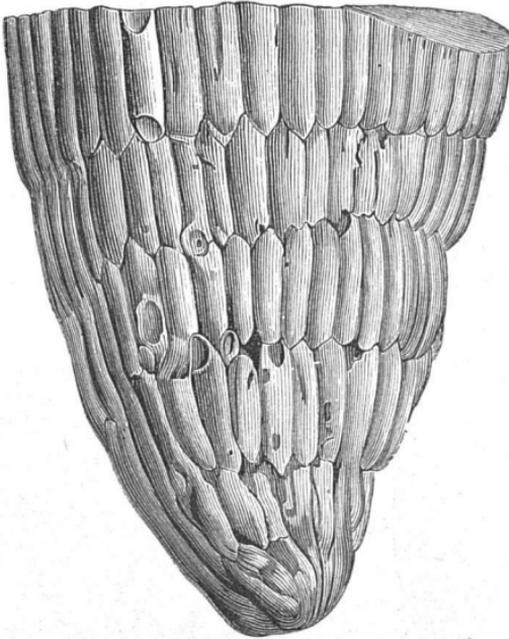


Fig. 235. — Base d'une tige de *Calamites cannæformis*.

de la tribu des Marattiées, les *Odontopteris* ne sont connues que par

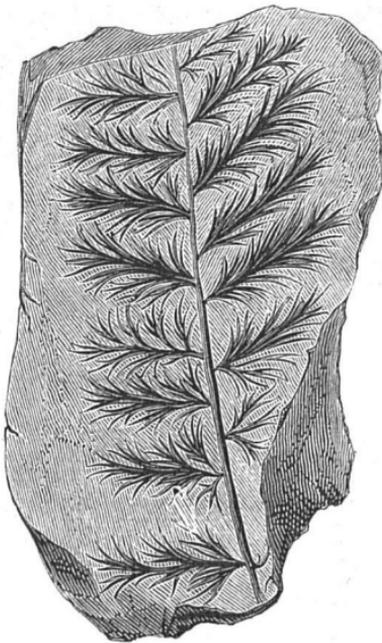


Fig. 236. — *Sphenopteris acutiloba*.

leurs feuilles gigantesques, de 5 à 6 mètres de longueur, qui nais-

saient probablement de souches volumineuses et charnues. Les pétioles étaient énormes ; aplatis par la pression des couches minérales, ils ont l'apparence de lames minces, striées, larges de 30 et même de 40 centimètres. Ils ont été pris quelquefois pour des feuilles de *Næggerathia*.

Les *Caulopteris* et les autres genres de la même tribu rappellent absolument les fougères arborescentes actuelles par leur port et par l'aspect de la tige, marquée à l'extérieur des cicatrices qui viennent d'être décrites. Cette tige avait une structure assez semblable à celle des fougères actuelles. Il est bon de rappeler sommairement cette

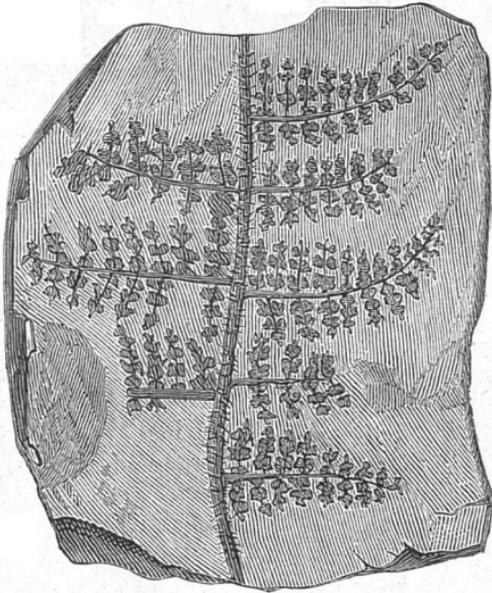


Fig. 237. — *Sphenopteris Hœninghausii*.

dernière. Au centre existe une moelle volumineuse, entourée d'un cercle de faisceaux vasculaires disposés en croissants dont la concavité regarde le dehors. Ces croissants sont revêtus d'une couche fibreuse noire, très-dure, qui leur forme une espèce d'étui. La zone des croissants constitue, autour de la moelle centrale, un cylindre rempli de déchirures et d'interstices, les faisceaux vasculaires ayant un trajet sinueux, et n'étant pas accolés les uns aux autres sur toute leur longueur. Tout à fait à l'extérieur, et s'appuyant presque sur les cornes des croissants, une couche fibreuse très-dure, noire, continue, enveloppe la tige comme une écorce, à la surface de laquelle les pétioles des feuilles ont laissé leurs empreintes. C'est par l'absence de l'étui noir fibreux des bandes vasculaires, que les *Caulo-*

*pteris* se distinguent surtout des fougères vivantes. Leur tige était d'ailleurs épaissie à son pied par une multitude de racines adventives enchevêtrées les unes dans les autres, et formant un inextricable lacis, de sorte qu'elle ressemble plutôt à un cône qu'à un cylindre.

Les *Psaronius* manquaient également de l'étui ligneux des bandes vasculaires. La structure de leur tige les rapproche d'ailleurs un peu des *Lycopodiacées*, auxquelles on les avait d'abord réunis. Au centre, on remarque une zone vasculaire assez petite entourée



Fig. 238. — *Callipteris conferta*.

d'une gaine fibreuse, et, plus extérieurement, d'une écorce cellulaire fort épaisse, dans laquelle descendent des racines adventives parallèles, serrées, très-grêles, très-nombreuses. Le tout était circonscrit par une zone extérieure, toujours convertie en charbon ; elle devait correspondre à la surface de la tige, mais on n'y a pas observé de cicatrices pétiolaires. Quelquefois les racines perçaient l'écorce et rampaient à sa surface ; elles étaient plus grosses que les racines renfermées dans l'intérieur. M. Grand Eury a reconnu qu'elles s'étaient horizontalement, de manière à former un cercle de plusieurs mètres de rayon autour du pied de la tige. Il a rencontré des spécimens qui portaient plusieurs de ces cercles séparés par des couches minérales, ce qui prouve que la

base des tiges a été, à diverses reprises, enfouie sous des ensablements. Je dois appeler l'attention du lecteur sur ces faits intéressants, car on y trouve la preuve de la rapidité avec laquelle s'accroissaient les sédiments houillers, qui gagnaient plusieurs

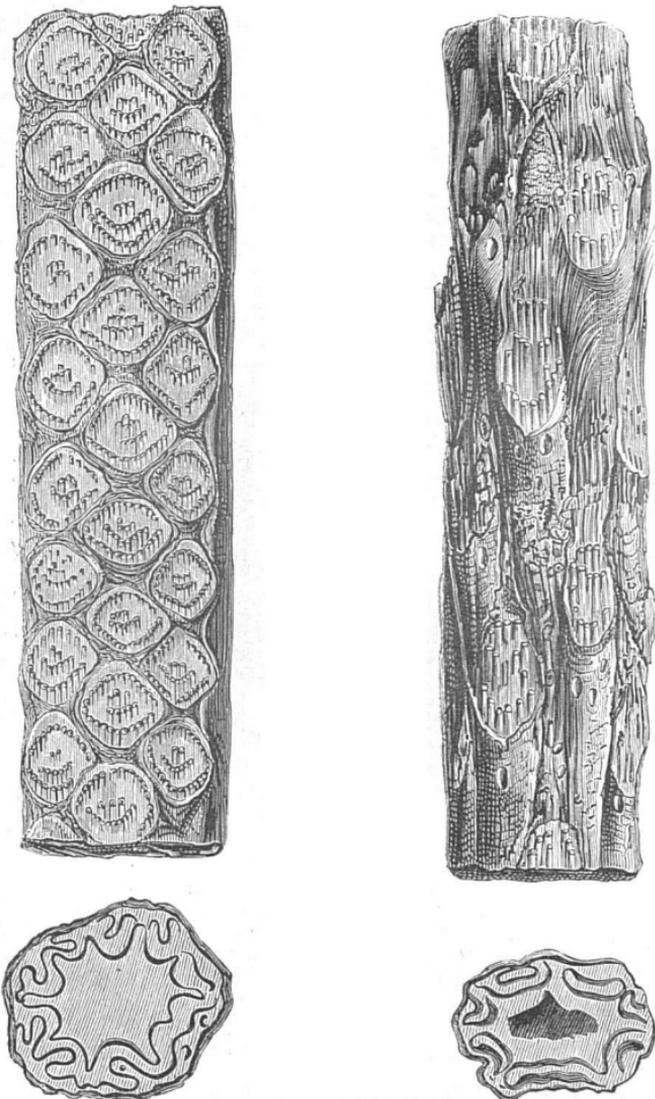


Fig. 239 et 240.

Tiges de fougères arborescentes du Brésil, et section transversale de ces tiges.

décimètres en épaisseur à la suite d'un seul débordement des eaux, et, pour ainsi dire, instantanément. M. Grand Eury pense que les *Caulopteris* sont les tiges, et les *Psaronius*, les bases d'une même fougère (fig. 241).

**Lycopodiacées.** — La famille des *lycopodiacées* était surtout représentée, à l'époque houillère, par de gigantesques *Lepidodendron*. Ces arbres, dont la tige s'élevait à 20 et 30 mètres, et mesurait souvent un mètre et demi de largeur, contrastent vivement avec les lycopodiacées actuelles, qui ressemblent à de grandes mousses rampantes. Fréquemment bifurquée par simple partition, la tige porte, à l'extérieur, des cicatrices pétiolaires munies de deux angles saillants latéraux, marquées d'un point à leur centre et régulièrement disposées en quinconce. Assez semblable sous le rapport de la structure à celle des *Psilotum* de la flore actuelle, la tige des *Lepidodendron* avait à son centre une espèce de moelle, autour de laquelle des faisceaux ligneux formaient un cercle continu. De

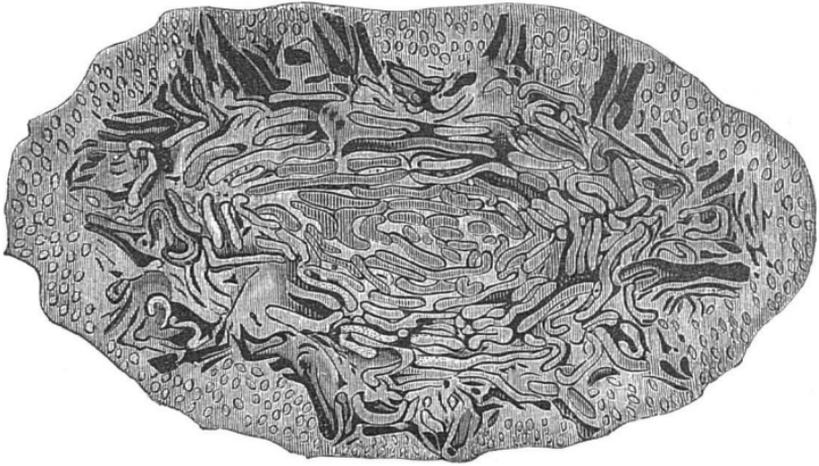


Fig. 241. — Section transversal d'un *Psaronius* du grès rouge.

nombreuses racines adventives rampaient dans la profondeur de la zone corticale. Les feuilles ressemblaient un peu à celles des conifères; les organes de la fructification étaient ramassés en épis coniques, désignés sous le nom de *Lepidostrobus* (fig. 242, 243, 244).

**Calamodendrées.** — La famille des *calamodendrées* n'a pas son analogue dans la nature vivante. La tige était droite, élevée, lisse à l'extérieur, mais quelquefois striée de cannelures émoussées, quand l'écorce faisait défaut. Ces stries proviennent de la saillie de lames ligneuses verticales, rayonnant du centre à la périphérie. Les mêmes lames faisaient également saillie à l'intérieur, du côté de la moelle, qui se trouvait de même striée en long sur son pourtour (fig. 245). Très-volumineuse et sans doute peu consistante; cette moelle était

romptement remplacée par de la matière minérale, qui formait un

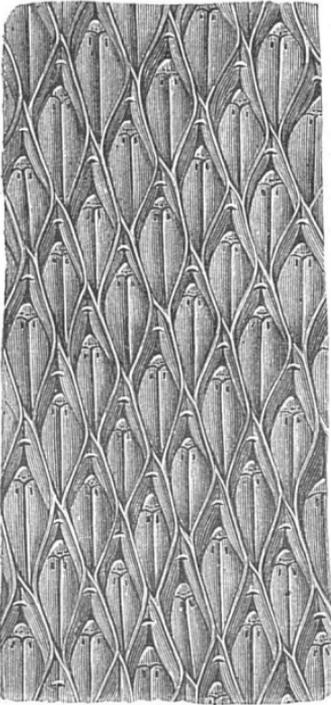


Fig. 242.  
Lepidodendron aculeatum.

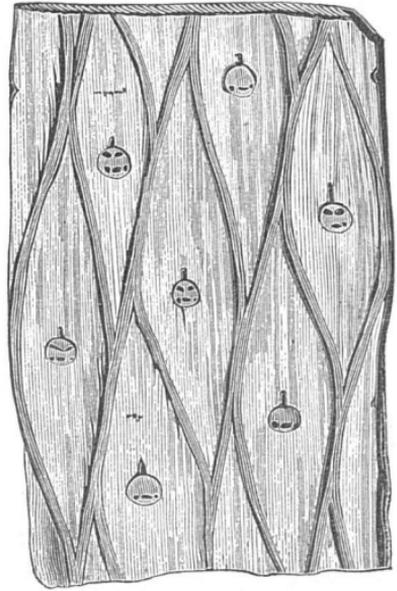


Fig. 243.  
Le même, après la chute des cousinets  
foliaires.

cylindre strié ressemblant tellement aux *Calamites*, que plusieurs

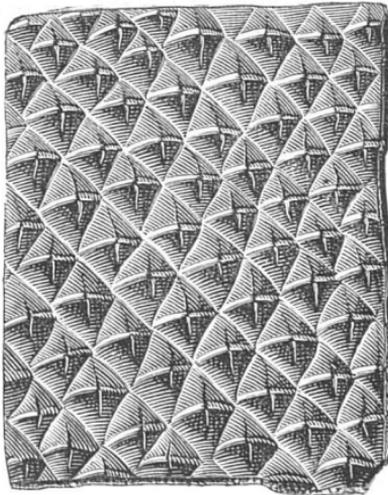


Fig. 244. — Lepidodendron quadratum.

espèces de ce dernier genre n'ont été établies qu'à la suite d'une

méprise (fig. 246). Les tiges, dont on avait fait le genre *Calamophyllites*, portent des verticilles espacés de feuilles longues et étroites, dressées, souvent appliquées contre l'axe. Après leur chute, ces feuilles laissent des cicatrices elliptiques, allongées transversalement et munies d'un point à leur centre. Les rameaux, dont on ne connaissait pas, jusqu'à ces derniers temps, les relations avec la tige, avaient été placés dans la famille des *astérophyllites* (fig. 247), qui comprenait encore les genres *Sphenophyllum* et *Annularia*, dont



Fig. 245.

Fragment de tige de Calamodendrée.

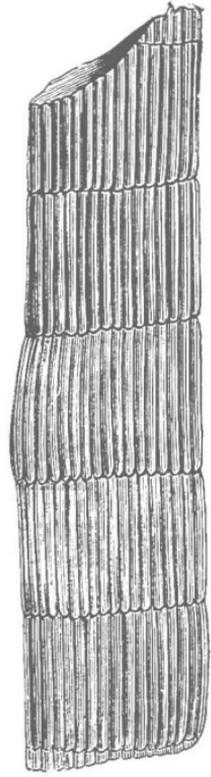


Fig. 246.

Moelle minéralisée d'une Calamodendrée.

il sera bientôt question. Ils étaient verticillés sur la tige, à l'aisselle des feuilles, et portaient eux-mêmes d'autres feuilles beaucoup plus petites, également disposées en verticilles. De fortes racines adventives descendaient en grand nombre de la base de la tige, qui se terminait par une grosse racine pivotante ramifiée. Encore mal connus, les organes de la reproduction paraissent consister en épis ou en chatons analogues à ceux des *Taxus* et des *Araucaria*. On soupçonne que les fruits fossiles nommés *Simariopsis* proviennent de calamodendrées. Si les affinités de ces végétaux sont encore dif-

faciles à établir, la structure de la racine et même de la tige dénote qu'ils se rattachent aux dicotylédones gymnospermes, et qu'ils sont voisins des cycadées.

**Sigillariées.** — Les *Sigillaires*, type d'une famille particulière, ont des tiges simples, droites, cylindriques, ordinairement cannelées en long. Elles portent des cicatrices pétiolaires ovales, plus longues que larges, marquées à leur milieu d'un point embrassé par deux croissants (fig. 248, 249). Les feuilles étaient étroites et linéaires, comme celles des conifères, mais souvent assez longues. L'anatomie des tiges rappelle celle des cycadées. Les sigillaires

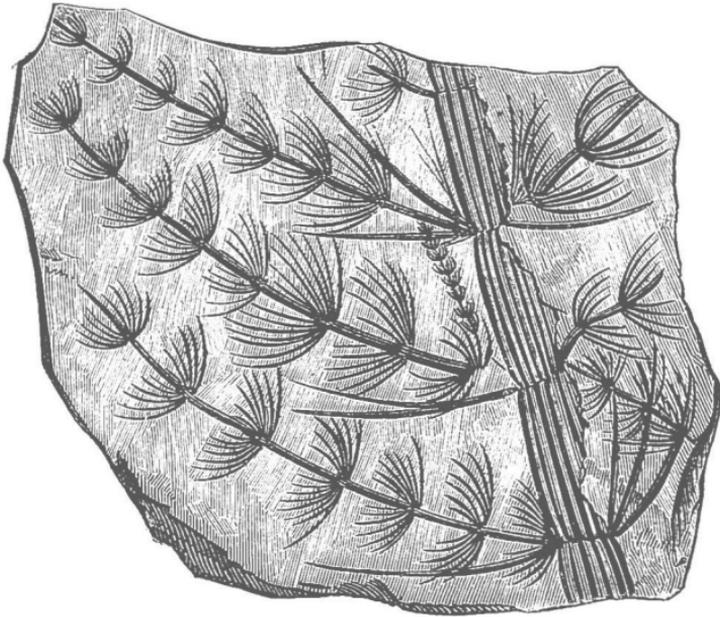


Fig. 247. — *Asterophyllites equisetiformis*.

avaient d'énormes racines branchues, s'étendant assez loin dans le sens horizontal, et marquées de cicatrices disséminées sans aucun ordre; celles-ci correspondent aux lieux d'insertion d'autant de radicelles simples ou bifurquées (fig. 250, 251). Ces racines sont depuis longtemps connues sous le nom de *Stigmaria*. Je dois rappeler que Bronn leur attribue un rôle très-important dans la formation de la houille. Plusieurs auteurs pensent que les fruits fossiles appelés *Trigonocarpus* appartiennent à la famille des sigillariées, qui a de grandes affinités avec celle de cycadées, et faisait probablement partie, comme cette dernière, de l'embranchement des dicotylédones gymnospermes.

**Cycadées.** — Les vraies *cycadées* existaient à l'époque houillère. On sait que ces végétaux, dont le port rappelle les palmiers et les fougères arborescentes, ont une tige droite, cylindrique, couronnée par une touffe de grandes feuilles pennées. Dans cette tige, des couches ligneuses, peu consistantes, mais fort épaisses, séparées par des zones cellulaires, entourent une moelle assez volumineuse. Les racines sont ramifiées comme celles des autres gymnospermes. Les espèces fossiles paléozoïques appartiennent surtout au genre *Næggerathia*, qui tenait le milieu entre les *Cycas* et les *Zamia* de notre époque. Les *Næggerathia* portaient, comme les premiers, des fruits

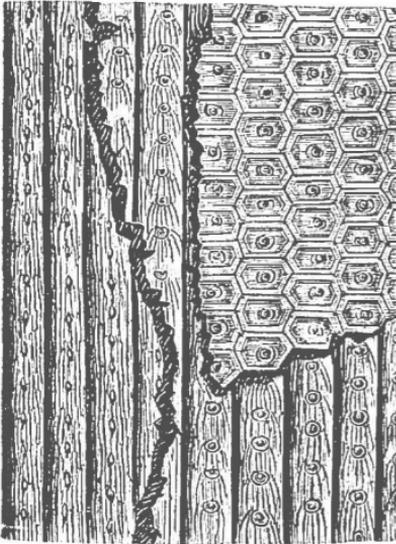


Fig. 248. — *Sigillaria tessellata*.

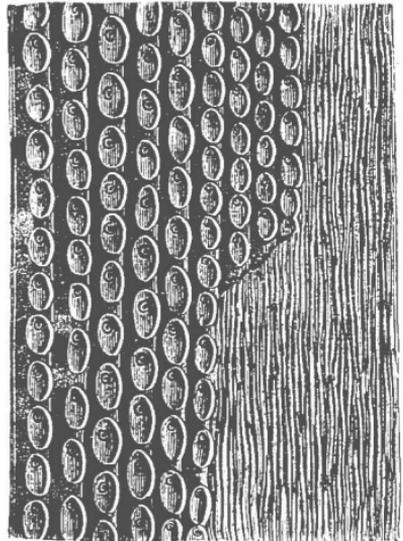


Fig. 249. — *Sigillaria Davreuxii*.

isolés sur un pédoncule étalé, et avaient, comme les seconds, des feuilles dépourvues de nervure médiane saillante. Les fruits fossiles nommés *Rhabdocarpus* doivent probablement leur être attribués (fig. 252).

**Cordaïtes.** — De toutes les familles anciennes laborieusement reconstituées par la paléontologie, celle des *cordaïtes* est peut-être la plus intéressante; à coup sûr, c'est elle qui a fait éprouver aux botanistes les plus nombreux mécomptes et les plus grandes surprises. Tantôt longues de plus d'un mètre, étroites, ensiformes et rappelant celles des dragonniers, tantôt courtes et ovoïdes comme celles de certaines conifères des Terres australes, les feuilles, munies de nervures fines et parallèles, étaient disposées en bouquets à l'extrémité des rameaux. Lorsque ces derniers venaient à se trouver

comprimés sous les sédiments, elles s'étaient de manière à simuler la feuille en éventail de certains palmiers. Telle est l'origine de l'ancien genre *Flabellaria*, qu'on rapportait à la famille des palmiers. Ces feuilles étaient sessiles, caduques, et laissaient sur les tiges des cicatrices oblongues-linéaires, allongées transversalement, marquées d'une série de ponctuations vasculaires. Les rameaux étaient fort nombreux et très-divisés. Les tiges avaient une large moelle cen-

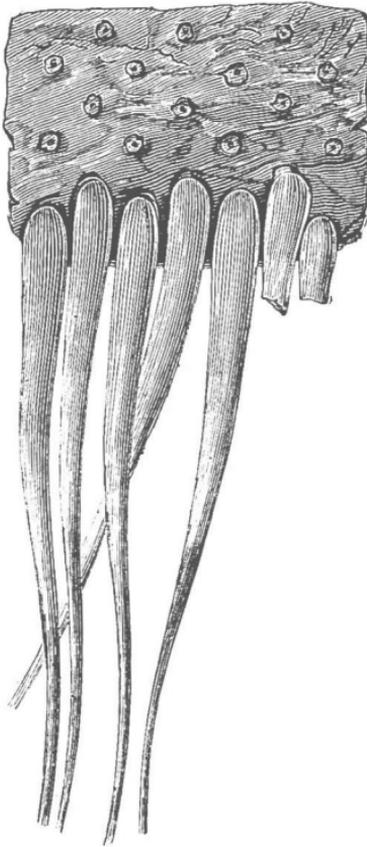


Fig. 250. — *Stigmaria* muni de ses radicelles.

trale, cannelée en long à son pourtour par la saillie des faisceaux du bois, qui ressemblait d'ailleurs à celui des conifères, et qui entourait la moelle d'un cercle continu. C'est de cette moelle striée, dépouillée de son enveloppe ligneuse, qu'on a fait les genres *Artisia* et *Sternbergia*. Une écorce très-épaisse, et produisant beaucoup de houille, formée de couches concentriques alternativement fibreuses et cellulaires, protégeait la tige au dehors. Elle était analogue au tissu subéreux, et, comme ce dernier, dépourvue de rayons médullaires. Les cordaïtes étaient de grands arbres, dont la hauteur

dépassait 30 mètres. Ils avaient les grosses racines ramifiées des dicotylédones. Encore mal connue, leur inflorescence consistait en épis distiques, portant de petits corps charnus qu'on suppose être des ovules, et en chatons, qu'on imagine formés par des anthères. Quoi qu'il en soit, les affinités de la famille ont été nettement établies par M. Grand Eury, qui la regarde comme très-voisine de celle des conifères, et la rapproche, en particulier, des Ginkgo et des taxinées.

**Conifères.** — Les vraies *conifères* existaient néanmoins à l'épo-

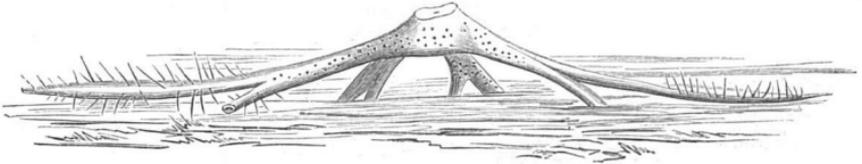


Fig. 251. — Stigmaire en place, d'après M. Schimper.

que paléozoïque. Elles deviennent nombreuses dans le terrain permien, qu'elles servent à caractériser. Je n'ai rien à dire de plus de cette famille, si richement représentée dans la nature vivante.

**Annulariées.** — Quoi qu'elle appartienne sans doute à l'embran-

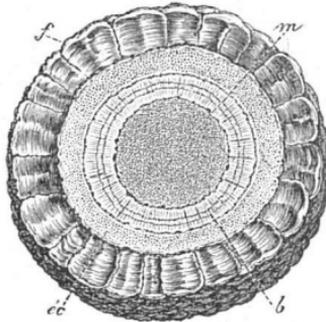


Fig. 252.

Coupe transversale du tronc d'un *Cycas*, réduit à  $\frac{1}{6}$  environ de sa grosseur naturelle. *m*, moelle; *b*, bois; *éc*, écorce; *f*, bases des feuilles détruites.

chement des acotylédones acrogènes, je décris, en dernier lieu, la famille des *annulariées*, trop peu connue pour qu'il soit possible de lui assigner une place dans la série végétale. Les débris qu'elle a laissés consistent en fragments de tiges munies de leurs feuilles, et en inflorescences. C'étaient des plantes aquatiques herbacées, flottantes ou submergées à la manière des *Myriophyllum*, dont elles avaient le port. Toujours fort grêles, les tiges portaient, de distance en distance, des verticilles de feuilles ovales-oblongues, à nervures ramifiées dans le genre *Sphenophyllum*, tandis que ces feuilles étaient soudées à leur base, et plus développées d'un côté que de l'autre dans le genre

*Annularia*, où les verticilles se trouvaient plus serrés. Nous avons vu que les Astérophyllites, dont on avait fait un genre de cette famille, ne sont que des rameaux de Calamodendron. Les fructifications consistent en épis formés de verticilles rapprochés de bractées, dans l'intervalle desquels se remarquent des corps arrondis, considérés à tort ou à raison comme des sporanges. Des inflorescences isolées, on a fait autrefois les genres *Wolkmannia* et

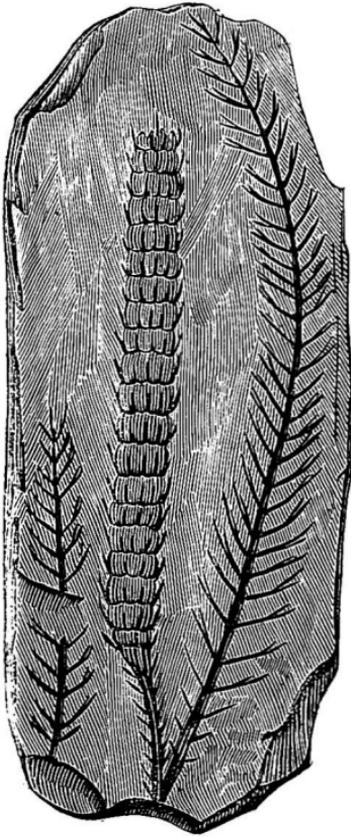


Fig. 253.

*Sphenophyllum angustifolium*.

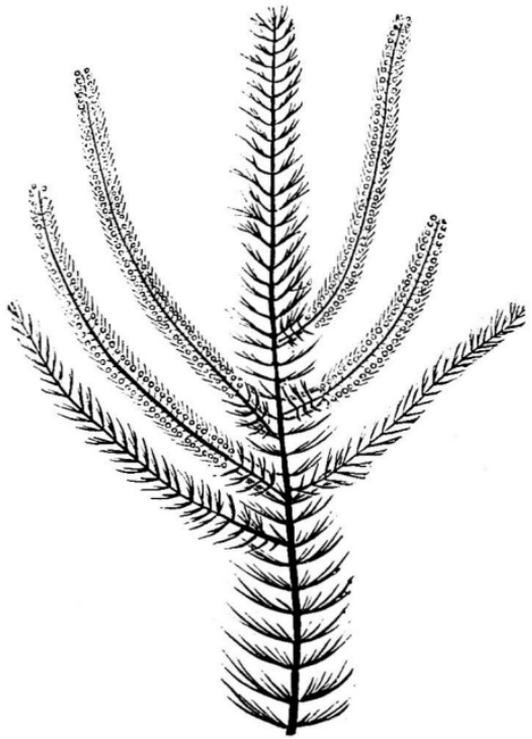


Fig. 254.

Le même restauré, d'après M. Schimper.

*Bruckmannia*. Tout ce qu'on peut dire actuellement des annulariées, c'est qu'elles appartiennent probablement à l'embranchement des acrogènes (fig. 253, 254, 255).

**Angiospermes.** — Les plantes cotylédonnées *angiospermés* ont-elles existé à l'époque paléozoïque? *A priori* le fait semble peu probable; aux yeux de plusieurs géologues, il paraîtra même contraire aux saines traditions, puisqu'on admet généralement que les angiospermes monocotylédones n'ont commencé que dans la période

mésozoïque, et que les dicotylédones se sont montrées pour la première fois vers la fin de l'époque crétacée. Mais ce n'est pas une raison pour refuser le droit de cité aux végétaux de ces deux catégories qui auraient fait prématurément leur apparition ; il importe seulement que leur existence soit bien constatée. Si donc nous

sommes disposés à accepter de bonne grâce les nouveaux venus, encore ne devons-nous les admettre qu'à bon escient ; et je n'ose mentionner que sous toutes réserves certaines empreintes de plantes angiospermes trouvées dans les houillères de l'Angleterre ; notamment l'*Antholites* de New-Castle, qu'on assimile à une inflorescence de broméliacée, (fig. 256) et le *Pothocites Grantonii*, d'Édimbourg, qui ressemble beaucoup à un épi d'arôïde.

**Statistique et distribution géographique des plantes houillères.**

— En 1859, M. Goeppert portait à 814

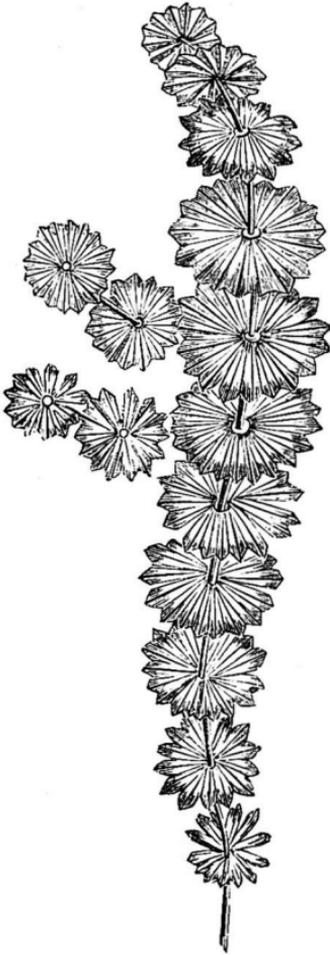


Fig. 255.

*Annularia sphenophylloides*.

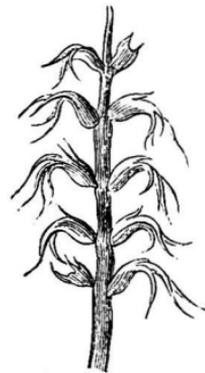


Fig. 256. — *Antholites*.

le nombre des plantes houillères. Leur répartition dans le sens vertical paraît assez uniforme pour qu'il ne soit pas possible d'établir, dans le terrain des subdivisions fondées sur la paléontologie ; néanmoins M. Lesquereux a cru pouvoir grouper en 5 horizons, ou associations particulières, les 350 espèces connues aux États-Unis en 1860. Il est rare qu'on en rencontre plus de 20 ou de 30 rassemblées dans une même localité. Chaque région avait sa flore spéciale,

mais beaucoup d'espèces étaient largement répandues sur le globe. Des 140 fougères signalées en Angleterre, 50 se retrouvent ailleurs en Europe et aux États-Unis. Sur 16 fougères de l'Alabama, il y en a 9 d'européennes. Brongniart indique 33 espèces, dont 31 sont communes à l'Europe occidentale et à l'Amérique du Nord, dont 7 existent en Russie, et dont une a été recueillie dans l'Île-aux-Ours, et une autre dans l'Australie. Plusieurs genres semblent particuliers à l'Inde et à la Nouvelle-Hollande; cependant les formes européennes dominent dans la Nouvelle-Galles du Sud. Dans ces contrées éloignées, on signale aussi quelques anomalies, par exemple un mélange de plantes franchement houillères et de certaines espèces qui rappellent les types des époques plus récentes. Si ce fait est confirmé, il doit peu nous surprendre, parce qu'il se reproduit assez fréquemment depuis qu'on regarde les choses de plus près. Quoi qu'il en soit, la flore houillère se comporte absolument comme la faune carbonifère marine, et nous montre les mêmes particularités dans la distribution de ses espèces, on pourrait dire les mêmes anomalies.

**Climat du globe à l'époque houillère.** — Pendant l'époque houillère, les terres fermes avaient encore gagné en étendue, surtout en Europe. Entretienue par une température élevée et uniforme, l'humidité était extrême. Des torrents de pluie ravaient le sol, et entraînaient dans les mers et dans les bassins lacustres les énormes blocs roulés, les galets et les sables qui se rencontrent à la base de tous les dépôts houillers. Je ne commence point ici l'esquisse d'un tableau de fantaisie, et, cette fois, il est permis de préjuger le climat d'après la nature des sédiments. Dans les bassins fort limités du Plateau central de la France, par exemple, les épais conglomérats qui constituent le terrain houiller presque en entier proviennent du pourtour immédiat de ces bassins, et n'ont été roulés et charriés que par des eaux torrentielles. On remarque d'ailleurs que les roches houillères sont composées d'éléments d'autant plus volumineux et inégaux, qu'elles se trouvent plus rapprochées des montagnes de l'époque, où l'action des torrents était certainement plus énergique que dans les contrées planes. L'égalité de la température sur le globe est démontrée par ce fait, qu'on connaît des dépôts de houille, formée des mêmes végétaux, depuis le Spitzberg jusqu'aux îles de la Sonde, à la terre de Van-Diemen et à la Nouvelle-Zélande. La chaleur n'était donc pas excessive à l'équateur; et, puisque le règne végétal y montre les mêmes types que dans le voisinage des pôles, c'est qu'il avait une grande uniformité sur

toute la terre. La nature même de ces plantes, dont les analogues ne vivent aujourd'hui que dans les forêts les plus sombres et les plus humides des contrées équatoriales, dénote une atmosphère lourde et nébuleuse. Sans doute elle renfermait encore une forte proportion d'acide carbonique provenant du fond primitif, puisqu'elle a fourni tout le charbon enfoui dans les houillères, et que les dégagements souterrains de gaz carbonique ne paraissent avoir acquis une certaine activité qu'à partir de l'époque actuelle. J'ai déjà dit, en effet, que les roches éruptives anciennes ne sont jamais bulleuses ni boursoufflées, et que leurs coulées ne renferment point de cendres et de scories, trahissant l'intervention des gaz et des vapeurs.

**Tableau de l'époque houillère.** — Sans cesse inondées par des torrents de pluie, coupées de vastes fondrières, couvertes de lacs et d'étangs fort étendus, les terres fermes étaient envahies par la végétation la plus luxuriante, que favorisait, sous un ciel toujours nébuleux, la chaleur, l'humidité et sans doute aussi la richesse de l'atmosphère en acide carbonique. Dans les dépressions et les marécages les stigmates s'enchevêtraient en un lacis inextricable, et formaient une tourbe épaisse, au-dessus de laquelle s'élevaient les tiges énormes des sigillaires, des cordaïtes et des lépidodendrons. Des prêles, grandes comme des arbres, et des fougères herbacées se mêlaient à cette végétation singulière. Dans les lieux plus secs, d'autres fougères, aux tiges élancées, des cycadées semblables aux palmiers et des arbres résineux complétaient le tableau. Les mêmes formes se répétaient sans cesse. Les plantes à fleurs colorées n'existaient point encore. Rien ne venait rompre la monotonie de cette végétation surabondante, où les individus se pressaient dans un inexprimable désordre au milieu des tiges renversées et des arbres morts. Des poissons, aux écailles brillantes, pullulaient dans les eaux; des insectes s'agitaient dans les airs, et de hideux reptiles, aux formes bizarres, laissaient leurs empreintes sur la fange des marais. Mais cette nature n'était plus muette, comme aux époques précédentes: déjà se mêlaient au murmure des forêts agitées par les vents le bourdonnement des insectes, les stridulations des sauterelles et sans doute aussi les mugissements des énormes batraciens et des labyrinthodontes qui peuplaient les marécages (fig. 257).

**TERRAIN PERMIEN.** — Au commencement de cette nouvelle phase de l'histoire du globe, un affaissement général ramène la mer sur une grande partie du sol européen, notamment en Russie, au centre de l'Allemagne, au sud-ouest de l'Angleterre, au pied des

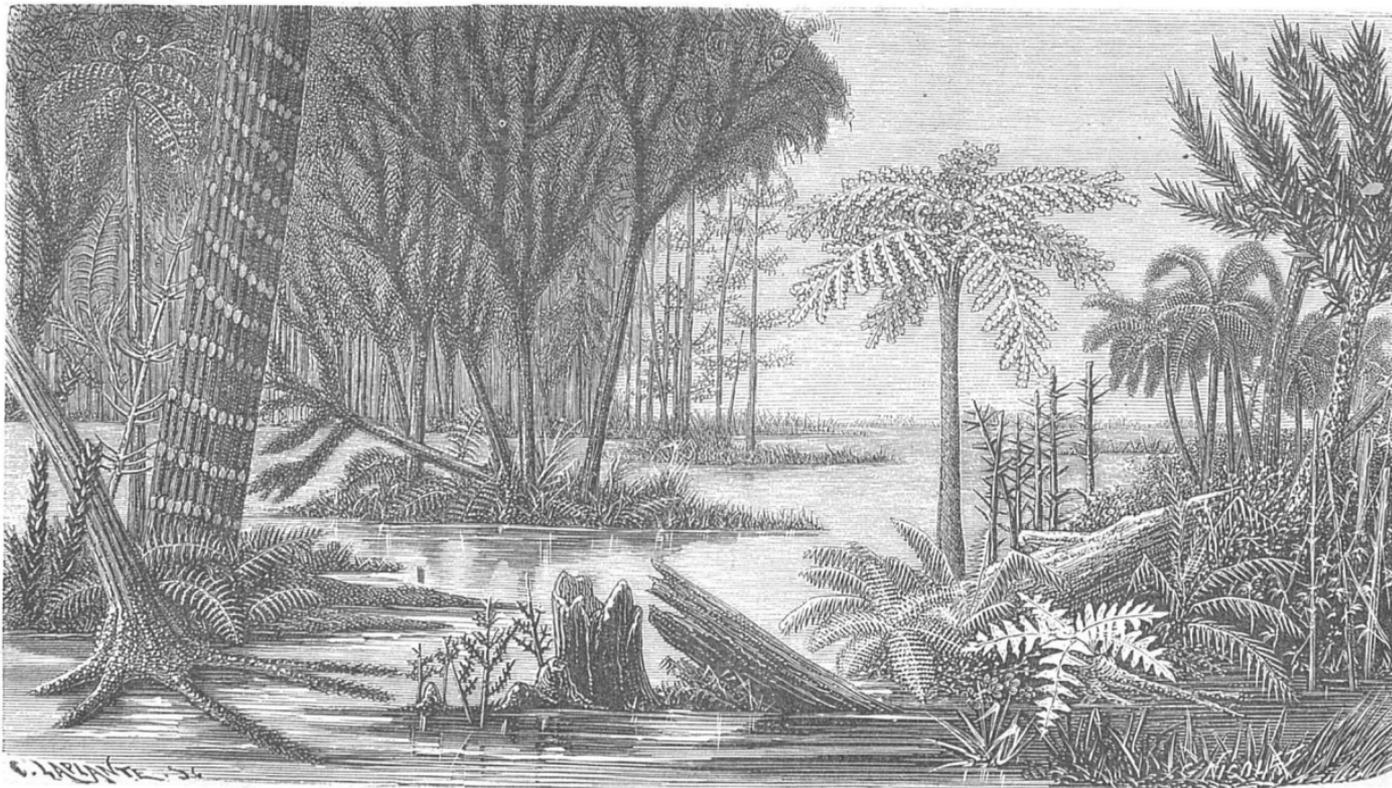


Fig. 257. — Un paysage de l'époque houillère.

Vosges, etc. De puissants *conglo-mérats* s'accumulent dans les mers. Ils constituent le *nouveau grès rouge* des géologues. Au-dessus, et pendant une période de calme relatif, se déposent les calcaires magnésiens connus en Allemagne sous le nom de *zechstein*. Telle est, dans l'Europe centrale et occidentale, la composition la plus ordinaire du terrain permien, d'ailleurs extrêmement variable. Sur une infinité de points, des injections et des émanations souterraines introduisent dans les mers des éléments minéralogiques assez divers, mais, en général, funestes à la vie ; par exemple les cuivres de la Thuringe et de la Russie, les gypses et le sel gemme de la Russie et des États-Unis, la magnésie de partout. Aussi, sous le rapport de la composition minéralogique, le terrain permien ressemble-t-il beaucoup plus à celui du trias, qui lui succède, qu'aux terrains qui l'ont précédé ; mais l'inverse a lieu si l'on compare les faunes et les flores. Sauf en Russie et aux États-Unis, où persiste la tranquillité des époques précédentes, les mouvements du sol et les bouleversements des couches sont fréquents ; aussi rien de plus variable que la puissance du terrain permien, qui est de 250 mètres aux États-Unis, qui atteint à peine 700 mètres en Bohême et qui dépasse 1200 mètres en Saxe. Les assises inférieures s'appuient tantôt sur le terrain houiller, tantôt sur le terrain carbonifère, tantôt sur les schistes cristallins ou sur le granite, ce qui indique un empiétement des mers. Rarement il se trouve en concordance avec les formations plus anciennes sur lesquelles il repose, mais les couches du trias le recouvrent presque partout sans aucune différence de stratification. Ainsi, sous le rapport de la stratigraphie, le terrain permien se montre indépendant des époques antérieures, et intimement lié aux subséquentes, et le contraire a lieu si l'on ne considère que la paléontologie. Voici donc encore un exemple extrêmement remarquable du peu d'effet des mouvements du sol et des agents extérieurs, sinon sur l'extinction des individus et l'appauvrissement des faunes, au moins sur les progrès de la vie organique et le remplacement des types dans les deux règnes. Ce n'est plus, en effet, la limite d'un *terrain* qui se place entre le permien et le trias, c'est celle d'une *époque* géologique. Il en résulte que les époques ne sont pas mieux délimitées que les terrains, et même que certaines divisions de moindre importance. Leur distinction est fondée sur les caractères des faunes et des flores, et nullement sur de brusques séparations stratigraphiques, minéralogiques ou paléontologiques.

Ainsi nommé, parce qu'il occupe de grandes étendues dans le gouvernement de Perm, en Russie, le terrain permien était autrefois appelé *permien*, en raison de la pauvreté de sa faune. Il marque bien la fin d'une grande époque géologique, puisque, pendant sa durée, s'éteignent la plupart des types paléozoïques, soit parce qu'ils sont arrivés à leur terme naturel, soit à cause de l'impropriété du milieu. Quelques-uns, cependant, mais en assez petit nombre, continuent à subsister; aucune des formes nouvelles qui caractérisent l'époque secondaire ne fait son apparition. Il est donc extrêmement naturel de fixer à la fin du terrain permien le terme de l'époque paléozoïque, dans l'ouest de l'Europe.

**Faune permienne.** — La faune permienne compte à peine 300 espèces. Tous les groupes se trouvent en grande décadence, et subissent des réductions énormes, au moins en Europe et aux États-Unis. Les *polypiers*, les *crinoïdes* et les *échinides* ne comptent qu'un très-petit nombre de genres. Presque tous les *brachiopodes* paléozoïques ont disparu; quelques-uns se montrent pour la dernière fois: tels sont les *Atrypa*, *Camarophoria*, *Orthisina*, *Chonetes*, *Productus*, jadis si riches en espèces. Désormais cet ordre ne se relèvera plus de sa décadence, et sera toujours primé par les mollusques proprement dits, gastéropodes et acéphales. Les *céphalopodes* sont réduits aux genres nautilé, orthocère et cyrtocère, et les *crustacés* ne figurent plus que pour mémoire, représentés par le dernier des *trilobites*, par quelques limules et quelques cypridines. Les *poissons* placoides éprouvent une grande diminution; mais les *ganoïdes* se maintiennent davantage, et, dans le nombre, les *Palæoniscus* sont remarquables par la variété de leurs espèces et l'abondance des individus. Les *reptiles* se maintiennent de même. Dans cette classe, les *labyrinthodontes* et surtout les *lacertiformes* sont représentés par un grand nombre de genres spéciaux; il en existe, en outre, des types qui n'ont pas encore été classés d'une manière satisfaisante, et dont plusieurs paraissent se rapporter à des familles plus élevées. On a trouvé, en Angleterre et aux États-Unis, des traces de pas qui semblent appartenir aux *chéloniens*. En résumé, la faune permienne est caractérisée par certains brachiopodes (*Terebratula elongata*, *Spirifer alatus*, *Productus horridus*, *P. Canerini*, etc.); par certains acéphales, des genres *Mytilus*, *Schizodus*, *Monotis*; par les *Palæoniscus* aux écailles striées et ponctuées et par des reptiles appartenant aux genres *Zygosaurus*, *Palæosaurus*,

*Thecodontosaurus*, *Proterosaurus*, etc. (fig. 258, 259, 260, 261, 262, 263).

**Flore permienne.** — Plus variée que la faune, toutes propor-

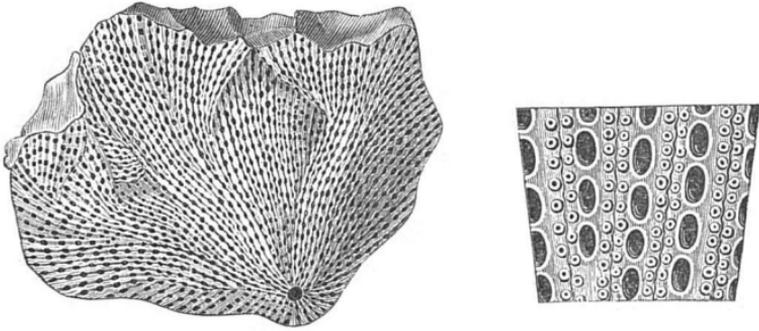


Fig. 258. — *Fenestella retiformis*, avec fragment grossi.

tions gardées, la flore permienne se compose des mêmes types que la flore houillère; seulement les espèces diffèrent. En 1859, M. Goep-

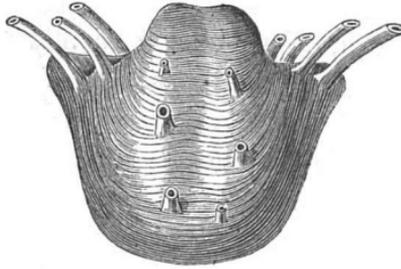


Fig. 259. — *Productus horridus*.

pert en signalait 182 pour l'Allemagne et la Russie, dont 169 cantonnées dans le grès rouge qui forme la base de l'étage. Deux conifères



Fig. 260.

*Camarophoria Schlotheimii*.



Fig. 261.

Coupe verticale d'un *Camarophoria*.

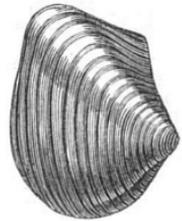


Fig. 262.

*Schizodus truncatus*.

ères fort répandues dans les assises permienes, le *Walchia Schlotheimii* et le *W. hypnoides*, caractérisent le terrain à tous les niveaux où manquent les autres fossiles.

**Affinités et importance de la faune permienne.** — Quant à la faune permienne considérée d'une manière générale, elle forme un ensemble indivisible, comparable à l'une des faunes siluriennes; de sorte que les subdivisions du terrain varient selon les lieux, et correspondent seulement à des changements dans la nature minéralogique des assises. L'analogie est très-grande avec la faune carbonifère, malgré les discordances de stratification. Dans les contrées où celles-ci n'ont pas lieu, aux États-Unis, par exemple, les fossiles carbonifères paraissent se mêler aux fossiles permien sur une assez grande épaisseur de couches, puisque, d'après M. Newberry, les espèces carbonifères n'ont absolument disparu que dans l'assise permienne n° 40 de la coupe de MM. Meek et Hayden. D'après M. Shallow, sur 75 espèces permiennes, il y en a 16, c'est-à-dire le cinquième, qu'on retrouve dans les strates carbonifères sous-

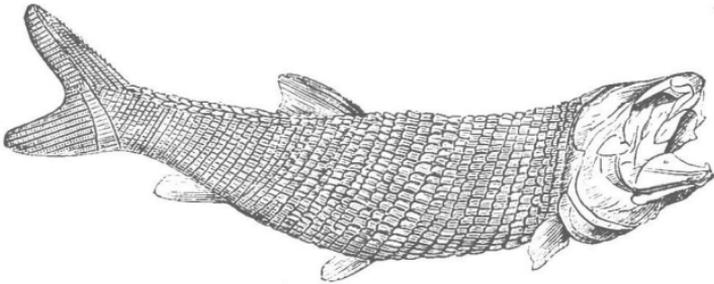


Fig. 263. — *Palæoniscus Freislebeni*.

jaçantes. En Europe on ne signale, à ma connaissance, que 3 ou 4 gastéropodes carbonifères dans le terrain permien.

**Distribution géographique des fossiles permien.** — La distribution géographique des fossiles rappelle celle des époques précédentes, et dénote les mêmes conditions climatiques. Comme d'habitude, les brachiopodes se montrent les plus cosmopolites : des 17 espèces anglaises, 15 se retrouvent en Allemagne et 7 dans le nord-est de la Russie, près des confins de la Sibérie. D'après M. King, sur 277 espèces qui composaient, en 1850, la faune permienne, l'Angleterre en compte 143, la Russie 73 et l'Allemagne 61; 13 espèces sont communes à l'Angleterre et à la Russie, et 39 à l'Angleterre et à l'Allemagne. Depuis, M. Sauroth a porté à 50 le nombre des fossiles permien qui existent à la fois dans les deux pays. On signale au Spitzberg au moins 8 espèces européennes, au nombre desquelles les *Productus* et le *Spirifer* donnés plus haut comme caractéristiques, le *Terebratula Schlotheimii*, etc.

Ces faits témoignent d'une grande uniformité de température, et l'ensemble de la faune indique un climat toujours tropical. Il faut donc accueillir avec réserve les assertions contraires de certains géologues, qui pensent avoir trouvé des preuves de l'action des glaciers à l'époque permienne et même à l'époque devonienne, et qui attribuent au refroidissement du globe la pauvreté de la faune du terrain permien.

### 3. — *Époque mésozoïque.*

**Époque mésozoïque ou secondaire.** — Plus connue sous le nom d'*époque secondaire*, elle a reçu ces deux dénominations parce qu'elle occupe un rang moyen dans la série des époques géologiques. Elle se distingue de la période précédente uniquement par l'apparition d'un ensemble différent d'animaux et de plantes, par le renouvellement de son mobilier organique, si j'osais ainsi m'exprimer. Mais ce renouvellement ne s'est point opéré brusquement et en une seule fois : nous verrons, au contraire, quelques types paléozoïques persister assez longtemps ; et ce n'est que peu à peu, et par groupes médiocrement nombreux, qu'apparaissent les formes nouvelles. Il y a donc un certain entrecroisement des faunes.

**Stratigraphie.** — Toujours assez variable, la composition minéralogique des terrains de l'époque tend néanmoins à prendre quelque uniformité. A la base dominant encore les roches d'origine mécanique ; mais bientôt la sédimentation chimique forme la presque totalité des assises. C'est pendant la période secondaire que les roches calcaires arrivent à leur plus grand développement. Les injections ignées, les filons, les ruptures et les bouleversements des couches deviennent de plus en plus insolites, et ne s'observent guère que dans les pays de montagnes. A part quelques exceptions concernant des cas assez rares de métamorphisme de contact, les assises ont à peu près conservé, sans altération, leur caractère et leur aspect primitifs. Si les roches de couleur sombre dominant encore vers la base, les nuances deviennent plus claires à mesure qu'on s'élève, et la craie supérieure renferme des débris organiques qu'on dirait fossilisés d'hier. La puissance totale des assises secondaires dépasse à peine 7000 mètres, et cependant elles recèlent une faune plus variée, sinon aussi riche, que les terrains paléozoïques, dont l'épaisseur est énorme.

**Configuration des terres et des mers.** — Les mouvements du

Ces faits témoignent d'une grande uniformité de température, et l'ensemble de la faune indique un climat toujours tropical. Il faut donc accueillir avec réserve les assertions contraires de certains géologues, qui pensent avoir trouvé des preuves de l'action des glaciers à l'époque permienne et même à l'époque devonienne, et qui attribuent au refroidissement du globe la pauvreté de la faune du terrain permien.

### 3. — *Époque mésozoïque.*

**Époque mésozoïque ou secondaire.** — Plus connue sous le nom d'*époque secondaire*, elle a reçu ces deux dénominations parce qu'elle occupe un rang moyen dans la série des époques géologiques. Elle se distingue de la période précédente uniquement par l'apparition d'un ensemble différent d'animaux et de plantes, par le renouvellement de son mobilier organique, si j'osais ainsi m'exprimer. Mais ce renouvellement ne s'est point opéré brusquement et en une seule fois : nous verrons, au contraire, quelques types paléozoïques persister assez longtemps ; et ce n'est que peu à peu, et par groupes médiocrement nombreux, qu'apparaissent les formes nouvelles. Il y a donc un certain entrecroisement des faunes.

**Stratigraphie.** — Toujours assez variable, la composition minéralogique des terrains de l'époque tend néanmoins à prendre quelque uniformité. A la base dominant encore les roches d'origine mécanique ; mais bientôt la sédimentation chimique forme la presque totalité des assises. C'est pendant la période secondaire que les roches calcaires arrivent à leur plus grand développement. Les injections ignées, les filons, les ruptures et les bouleversements des couches deviennent de plus en plus insolites, et ne s'observent guère que dans les pays de montagnes. A part quelques exceptions concernant des cas assez rares de métamorphisme de contact, les assises ont à peu près conservé, sans altération, leur caractère et leur aspect primitifs. Si les roches de couleur sombre dominant encore vers la base, les nuances deviennent plus claires à mesure qu'on s'élève, et la craie supérieure renferme des débris organiques qu'on dirait fossilisés d'hier. La puissance totale des assises secondaires dépasse à peine 7000 mètres, et cependant elles recèlent une faune plus variée, sinon aussi riche, que les terrains paléozoïques, dont l'épaisseur est énorme.

**Configuration des terres et des mers.** — Les mouvements du

sol continuent à différents intervalles. Vers le milieu de la période, au moment où elle est le mieux caractérisée, les mers recouvraient principalement le centre et l'ouest de l'Europe. Le nord-ouest de la France était occupé par un bassin dont les rivages touchaient les Vosges et le Plateau central, et couraient, du sud au nord, au milieu de l'Angleterre, alors réunie au continent ; ils se prolongeaient peut-être fort loin dans l'Océan Atlantique. Un autre bassin, communiquant avec le premier par le détroit de Poitiers, s'étendait au sud-ouest du massif de la Bretagne et de la Vendée, et de l'île du Plateau central. Il se rattachait, du côté de l'est, au bassin méditerranéen, dont le rivage contournait l'île centrale, de manière à laisser un large détroit, qui s'ouvrait sur le bassin anglo-parisien entre la pointe du Morvan et le promontoire méridional des Vosges. La mer pénétrait entre les Vosges et la forêt Noire, et formait un golfe sur l'emplacement de l'Alsace et du pays de Bade ; elle s'étendait ensuite fort loin en Allemagne, du côté de l'est, et rejoignait peut-être au nord la mer du bassin anglo-parisien, par le Hanovre et le Brunswick (fig. 264). Dans le nouveau continent, les eaux marines s'étaient presque retirées de l'emplacement des États-Unis, où les dépôts secondaires n'occupent que des espaces fort limités. Cette disposition des terres et des mers se maintient, sans grandes variations, en Europe comme en Amérique, jusque vers le milieu de l'époque tertiaire.

**Montagnes soulevées.** — Au nombre des montagnes qui apparaissent en totalité ou en partie durant la période secondaire, il faut citer le Thuringerwald, les Ourals, la côte d'Or, le mont Viso, les Carpathes.

L'époque mésozoïque comprend trois terrains.

**TERRAIN DU TRIAS.** — Ce nom bizarre, de fabrication germanique, annonce que le terrain en question est formé de trois parties. Ce sont, en allant de bas en haut : le *grès bigarré*, le *calcaire conchylien* ou *muschelkalk* et les *marnes irisées* ou *keuper*. Telle est, en effet, la composition du *trias normal* de l'Europe centrale ; mais partout ailleurs, le nombre et la nature des massifs rocheux varient dans les plus larges limites. Ici le grès fait défaut, ailleurs c'est le calcaire, et plus loin ce sont les marnes irisées. Quelquefois le terrain est réduit à un massif unique de grès ou d'argiles. Dans les Alpes d'Autriche, selon toutes les probabilités, un quatrième étage, infiniment plus riche en fossiles que les trois autres, vient s'ajouter à ceux-ci, pour former ce qu'on a appelé *trias anomal*, par un singulier

abus de langage, s'il demeure prouvé que le trias alpin est le plus complet de tous et le plus répandu sur le globe. C'est d'ailleurs une question encore pendante; et je m'abstiens d'autant plus volontiers.

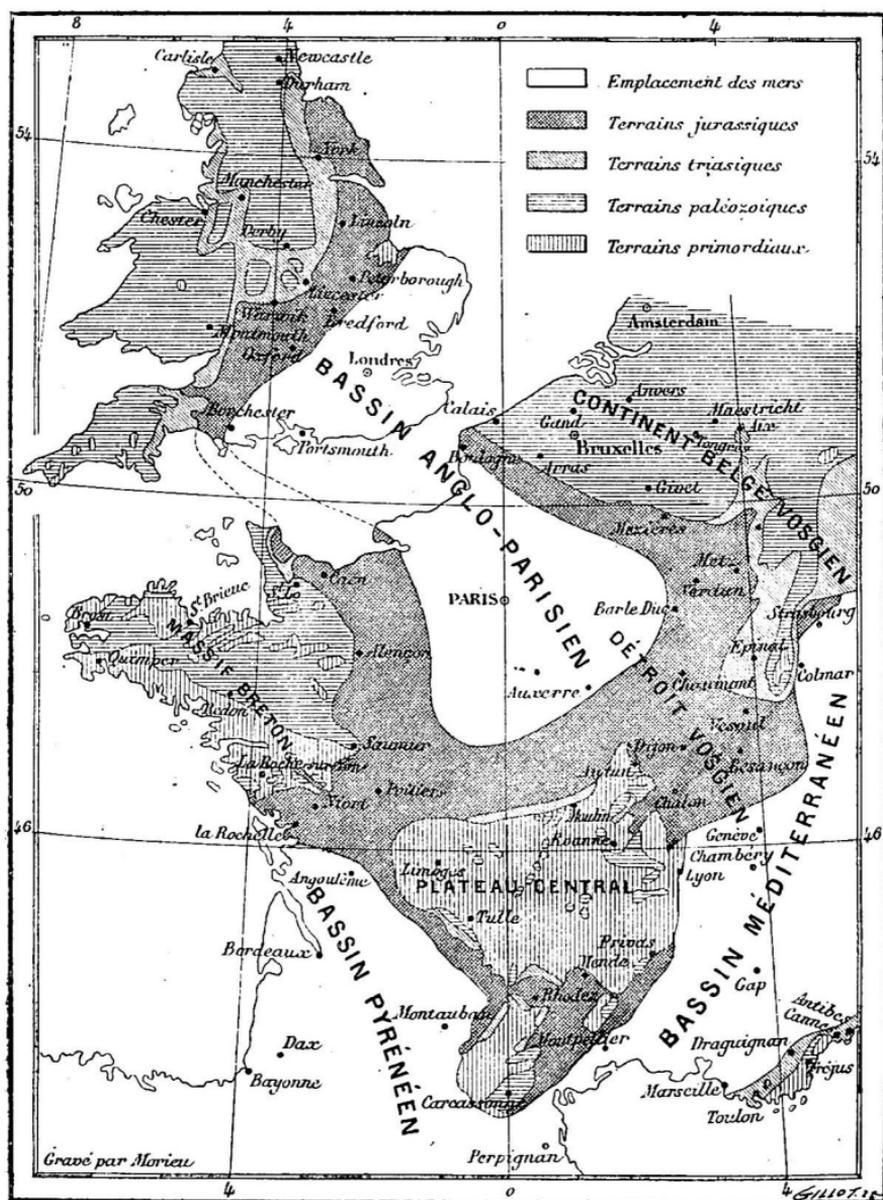


Fig. 264. — La France et l'Angleterre à la fin de l'époque jurassique.

que mon plan ne comporte aucune discussion de géologie systématique. Toutes ces irrégularités indiquent une grande inégalité dans l'action sédimentaire, et des agitations du sol presque continues.

Aussi la puissance du trias est-elle extrêmement variable, et oscille-t-elle entre 200 et 1800 mètres.

**Minéralogie du trias.** — A aucune époque les terrains de sédiment ne renferment une aussi grande variété de matériaux ; jamais les injections provenant de l'intérieur n'ont été plus fréquentes, et les sources minérales, plus nombreuses. La dolomie, le gypse, le sel gemme, le charbon de terre, les sulfures d'arsenic, le manganèse, les minerais de fer, de zinc, de cuivre, de plomb, de mercure se montrent un peu partout, mais à des niveaux extrêmement variables, suivant les contrées. En général, le charbon, plutôt analogue à la houille qu'au lignite, se trouve dans les marnes irisées, qui constituent également le gisement le plus habituel du gypse, du sel gemme et de la dolomie. Le cuivre semble préférer le grès bigarré. Cependant on ne peut établir aucune règle générale, la plupart des substances mentionnées ci-dessus, le gypse, par exemple, ayant été observées tantôt à la base, tantôt au milieu, tantôt à la partie supérieure du terrain, et existant quelquefois à deux ou trois hauteurs différentes, dans le même lieu. On peut dire aussi que le trias est le gisement principal du gypse et du sel gemme, au même titre que le terrain houiller est le gisement de la houille, quoique ces substances existent dans beaucoup d'autres formations.

**Faune du trias.** — La faune du trias indique une transition entre l'époque paléozoïque et l'époque secondaire. Elle conserve encore un certain nombre des types anciens ; mais tous, ou presque tous s'éteignent dans ce terrain, où apparaissent, en nombre infiniment plus considérable, les premiers types de la période secondaire. Il semble que la vie se ranime après un brusque déclin. On ne peut donc hésiter à rattacher le trias aux terrains mésozoïques.

**Spongiaires.** — Pour la première fois les *spongiaires* deviennent abondants ; mais on ne les trouve guère que dans le trias alpin, qui en renferme une douzaine de genres, environ, la plupart nouveaux, et rappelant les types secondaires.

**Zoophytes.** — Même observation à l'égard des *polyptiers*, qui sont assez multipliés dans le trias alpin. Ils appartiennent à la famille des *zoanthaires apores*, caractérisés par un test lamellaire et foliacé, à cloisons entières, sans planchers, ou du moins sans planchers complets. Le nombre restreint des genres de *crinoïdes* est, en quelque sorte, compensé par l'abondance extraordinaire des individus de l'*Encrinus liliiiformis*, dont les articles remplissent des assises fort épaisses et fort étendues dans le calcaire conchylien du

trias normal. Les *encrinides* se reconnaissent à leur tige longue, non dilatée sous le calyce, qui est assez court, et qui supporte des bras formés d'une double série de pièces alternes (fig. 265). Les *stellérides* sont surtout représentés par le genre *Aspidura* (fig. 266) ; les *échinides*, par les genres *Cidaris* et *Hemicidaris*, dont les espèces se multiplieront beaucoup dans le terrain jurassique.

**Bryozoaires.** — Les mollusques *bryozoaires* sont fort rares dans le trias.

**Brachiopodes.** — Les *brachiopodes* se relèvent quelque peu. On

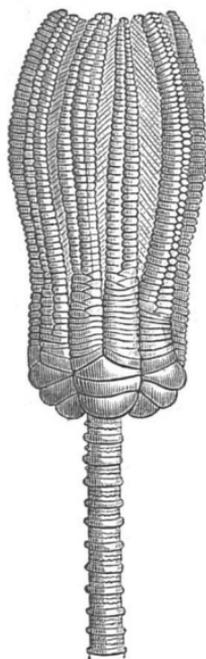


Fig. 265.  
*Encrinurus liliiformis*.

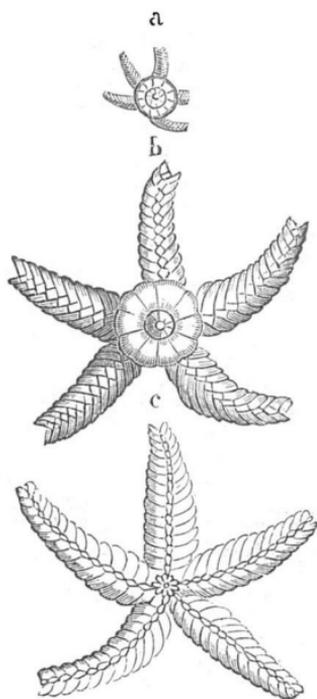


Fig. 266. — *Aspidura loricata*.  
*a*, grandeur naturelle ; *b*, face dorsale grossie ;  
*c*, face ventrale grossie.

les rencontre surtout dans le trias alpin, où ils offrent, en proportion à peu près égale, un curieux mélange de genres paléozoïques (*Cyrtia*, *Spirifer*, *Spirigera*) et de genres appartenant à toutes les époques (*Lingula*, *Terebratula*, *Rhynchonella*). Il y a néanmoins progrès du côté des faunes récentes, tous les genres paléozoïques, sauf peut-être les *Spirifer*, s'éteignant dans le trias.

**Acéphales et gastéropodes.** — Les *acéphales* sont encore plus en progrès, de même que les *gastéropodes* ; et désormais ces deux classes priment toutes les autres dans l'embranchement des mol-

lusques. Les types rappellent ceux de la période secondaire, quoique plusieurs genres paléozoïques, tels que *Macrocheilus*, *Loxonema*, *Murchisonia*, *Porcellia*, *Euomphalus*, etc., continuent à survivre à leur époque. Les acéphales s'enrichissent des *Ostrea*, *Perna*, *Gervilia*, *Lima*, *Trigonia*, *Opis*, etc., dont les espèces abondent dans les terrains secondaires (fig. 267, 268, 269).

**Céphalopodes.** — Les *nautilides* rappellent plutôt les types anciens, et leur décadence est désormais consommée, puisque ces mollusques, jadis si nombreux, ne sont plus représentés, à partir du trias, que par les nautilites à spire couverte. Au contraire, les *ammonitides* prennent de l'importance. Les *cératites* et les vraies *ammonites* font leur apparition en Europe; celles-ci, particulières au trias alpin, où elles se rencontrent avec les derniers orthocères, les derniers gastéropodes et les derniers brachiopodes paléozoïques.

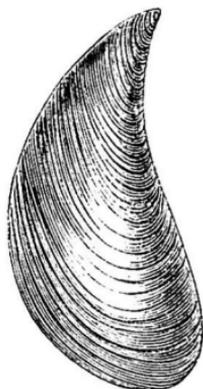


Fig. 267.  
*Mytilus eduliformis*.



Fig. 268.  
*Myophoria (Trigonia) vulgaris*.

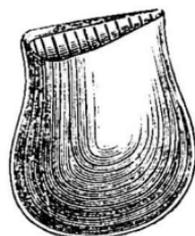


Fig. 269.  
*Perna vetusta*.

Il est vrai que dans l'Inde les choses se sont passées autrement, M. Waagen ayant trouvé, dans une couche calcaire de faible épaisseur, de vraies ammonites à lobes déjà compliqués, et, en même temps, trois *Productus* et deux *Athyris* carbonifères et un *Productus* permien. Intermédiaires entre les goniatites et les ammonites, les cératites, qui caractérisent le trias, ont les lobes dentés, mais non encore persillés (fig. 270, 271, 272, 273).

**Articulés.** — Dans l'embranchement des articulés, les *crustacés* sont en progrès, l'ordre des *décapodes*, le plus élevé de la classe, faisant ici son apparition. Il est représenté par des genres appartenant à la famille des *macroures*, dont quelques-uns, les *Pemphix* notamment, caractérisent le terrain du trias. Dans l'ordre des *phyllopodés*, les *Estheria*, qui ont une carapace bivalve comme les *Cypris*,

fournissent de nombreuses espèces et atteignent ici leur maximum. Des larves d'éphémères et d'autres *névroptères* ont laissé quelques vestiges dans le trias des États-Unis (fig. 274, 275, 276, 277).

**Poissons.** — La faune ichthyologique n'est point en progrès.

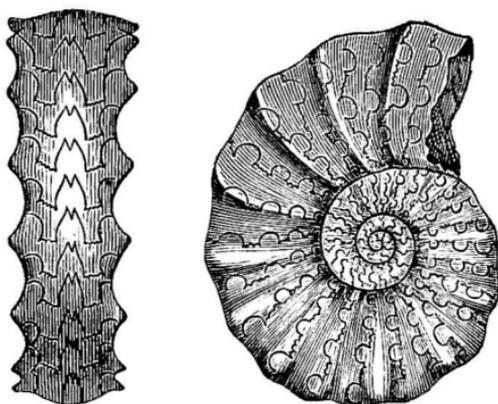


Fig. 270. — Geratites (Ammonites) nodosus.

Presque absolument particuliers au trias normal, les *poissons* appartiennent, comme précédemment, aux sous-classes des *placoides* et des *ganoïdes*. Parmi ces derniers, on ne signale guère que des *rhombifères*.

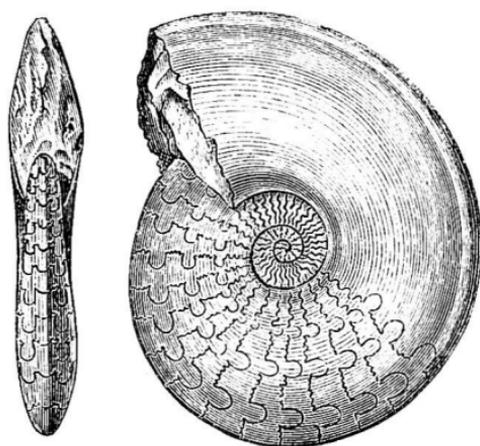


Fig. 271. — Geratites (Ammonites) semipartitus.

**Reptiles et batraciens.** — Les *reptiles* sont également particuliers au trias normal. Pour la première fois ils forment un ensemble important, et fournissent des types nombreux, précurseurs de la riche faune jurassique.

**Labyrinthodontes.** — Les *labyrinthodontes* atteignent ici leur

maximum. D'assez faible taille à l'époque carbonifère, ils prennent, dans le trias, des dimensions énormes, puisqu'on a trouvé des crânes mesurant jusqu'à 1<sup>m</sup>,30 de longueur. Ces singuliers animaux paraissent intermédiaires entre les reptiles et les batraciens. Ils ont pris leur nom de leurs dents, où la matière osseuse présente, dans

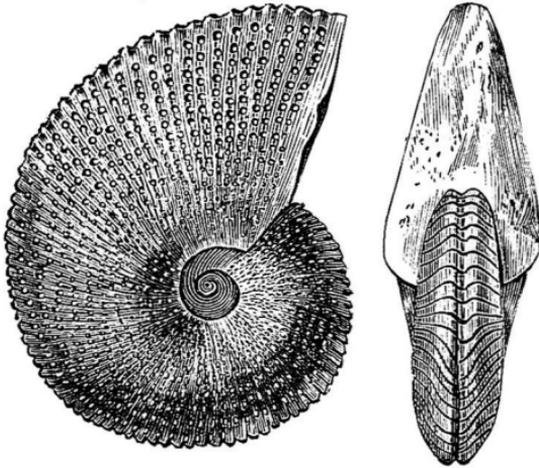


Fig. 272. — Ammonites Aon.

une coupe transversale, les circonvolutions et les enchevêtrements les plus compliqués (fig. 278). Ces dents étaient d'ailleurs coniques, assez fortes, fixées dans des alvéoles, caractère qui rapproche les labyrinthodontes des reptiles, dont ils avaient également les écailles.

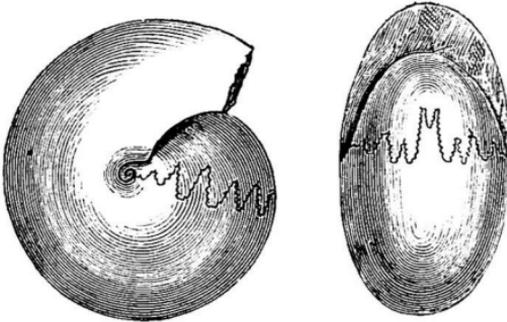


Fig. 273. — Ammonites globosus.

Leur tête était recouverte de plaques osseuses, et ressemblait beaucoup, dans quelques genres, à celle des crocodiles. Mais ils avaient en même temps deux condyles occipitaux, comme les batraciens ; ils paraissent manquer de côtes, d'os lacrymaux et d'occipitaux supérieurs ; leurs os temporaux ressemblent à ceux des batraciens, et, comme ces derniers, ils avaient souvent des dents implantées

sur le vomer et sur les os palatins. Cet ensemble de caractères doit évidemment l'emporter. Sans doute, les labyrinthodontes étaient des batraciens gigantesques, dont les analogues ne subsistent plus dans la nature vivante. On ne peut, néanmoins, se prononcer sans appel, les organes si essentiels de la respiration et de la circulation n'étant jamais conservés chez les animaux fossiles.

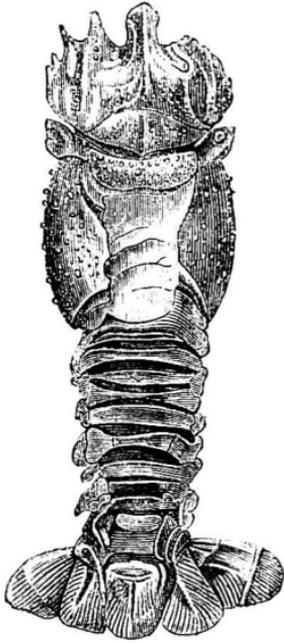


Fig. 274.  
Pemplix Seuerii.

**Lacertiens.** — Également nombreux, les *lacertiens* sont représentés par des types aussi variés que bizarres. Par exemple, les *Dicynodon* de l'Inde et du cap de Bonne-Espérance avaient à la mâchoire supérieure deux longues défenses, placées comme celles des morses; la mâchoire inférieure était simplement munie d'un bec corné, analogue à celui des tortues; ces animaux tenaient à la fois des lézards, des crocodiles et des chéloniens. Le *Galeosaurus* de l'Afrique australe avait des incisives, des canines et des molaires distinctes, comme celles des mammifères. Avec un crâne de lézard, le *Rhynchosaurus* réunissait plusieurs caractères des tortues et des oiseaux. Les reptiles nageurs, ou

*énaliosauriens*, qui donnent à la faune secondaire son principal



Fig. 275.  
Estheria ovata.



Fig. 276.  
Estheria ovalis.



Fig. 277. — Larve d'Ephémère.

caractère, sont encore peu nombreux; ils appartiennent à la famille des *simosauriens*. Enfin, les reptiles volants, ou *ptérodactyles*, dont les destinées semblent liées à celles des *énaliosauriens*, ont laissé quelques vestiges dans le trias des États-Unis (fig. 279, 280, 281).

**Empreintes de pas.** — Des empreintes de pas, attribuées à des reptiles, ont été signalées en grand nombre, principalement en

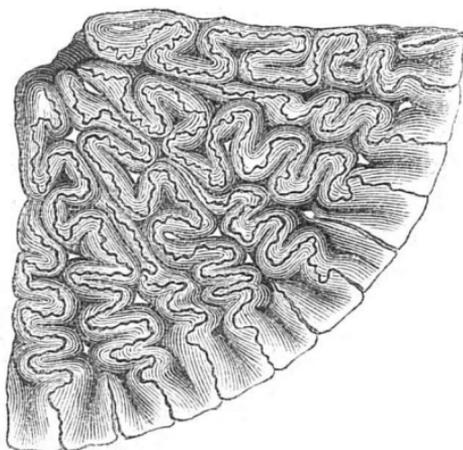


Fig. 278.

Fragment grossi de la section transversale d'une dent de Labyrinthodonte.

Amérique, où l'on a pu en distinguer de cinquante-cinq espèces différentes dans les grès du Connecticut. Quelques-unes ont jusqu'à

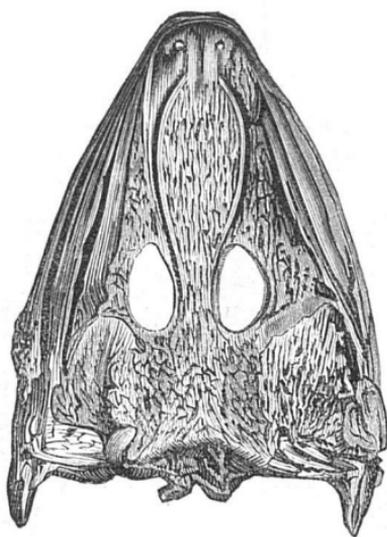


Fig. 279. — Tête de Mastodonsaurus lægeri, vue en dessus.

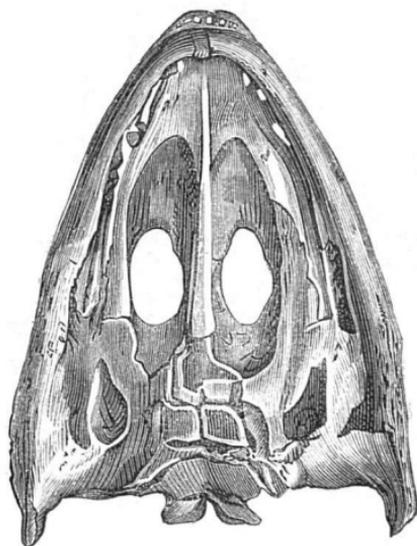


Fig. 280. — Tête du Mastodonsaurus lægeri, vue en dessous.

40 centimètres de longueur. Plusieurs sont tridactyles, et montrent une disposition des phalanges analogue à celle des oiseaux. Mais comme les *Iguanodon* ont le pied conformé de la même manière, on ne sait si ces empreintes appartiennent à des reptiles ou à des

oiseaux. Cette dernière classe paraît cependant représentée par d'autres empreintes à trois doigts, observées dans les grès du Massachusetts et du Connecticut, et connues sous le nom d'*Ornitichnites*. M. Hitchkook en a distingué une trentaine d'espèces, dont l'une indique un animal de plus de 4 mètres de hauteur, qui faisait des enjambées de plus de 2 mètres. A une époque plus récente, M. Deane a fait connaître d'autres traces de pas, dont quelques-unes étaient distinctement palmées; et, d'un autre côté, la forte teneur en urée des coprolithes recueillies par M. Hitchkook près des empreintes tridactyles, semble indiquer qu'elles appartiennent à des oiseaux les uns et les autres. On ne peut donc guère se refuser à enregistrer la

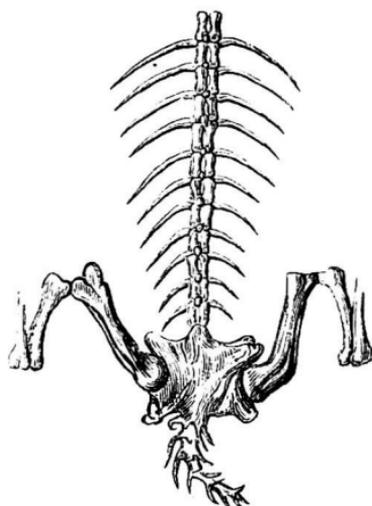


Fig. 281. — Tronc du Telerpeton Elginense.

classe importante des *oiseaux* au nombre de celles qui font leur apparition à l'époque du trias (fig. 282, 283, 284, 285, 286).

**Mammifères didelphes ou marsupiaux.** — A cette classe, il faut ajouter celle des *mammifères*. Si, en effet, le *Microlestes antiquus* de la brèche de Dagerloch (Wurtemberg) appartient, selon toute probabilité, au *bone-bed*, et, par conséquent, à la formation jurassique, il est certain que le *Dromatherium silvestre*, découvert par M. Emons dans le grès rouge de la Caroline du Nord, est un animal du trias. C'est un petit marsupiau, voisin des myrmécobies de l'Australie (fig. 287). Des empreintes de pas, signalées dans le grès bigarré des Vosges, semblent également se rapporter à un mammifère.

**Caractéristiques de la faune du trias.** — En résumé, le terrain

du trias est caractérisé par les innombrables débris de l'*En-*

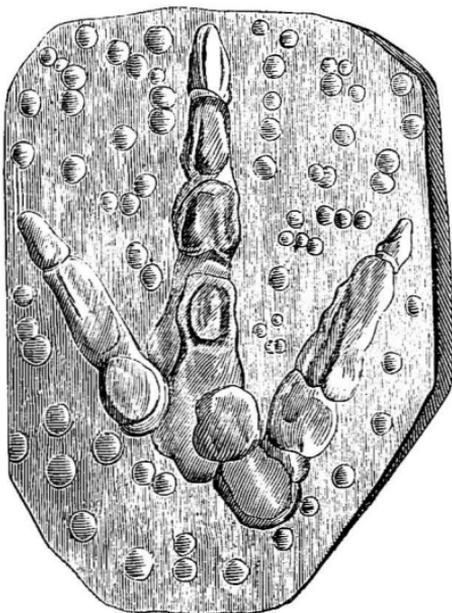


Fig. 282. — Empreintes de pas d'oiseaux (ornitichnites) et de gouttes de pluie sur le grès du trias des États-Unis.

*crinus liliiformis*; par le genre *Myophoria*, presque spécial; par les



Fig. 283.

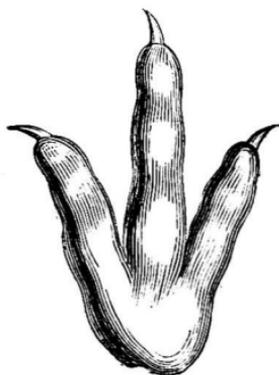


Fig. 284.



Fig. 285.

Empreintes de pas d'oiseaux (ornitichnites) sur le grès du trias des États-Unis.

Cératites (*C. nodosus*, etc.), les crustacés décapodes des genres

*Pemphix*, *Palinurus*, les esthéries, les labyrinthodontes et un grand nombre de genres particuliers de reptiles.

**Flore du trias.** — La flore du trias ne brille point par sa richesse, puisqu'elle compte à peine une centaine d'espèces. Elle se compose des mêmes familles que les flores antérieures. Les fougères se rencontrent à peu près partout, mais les équisétacées et les conifères dominent à la base, et les cycadées deviennent

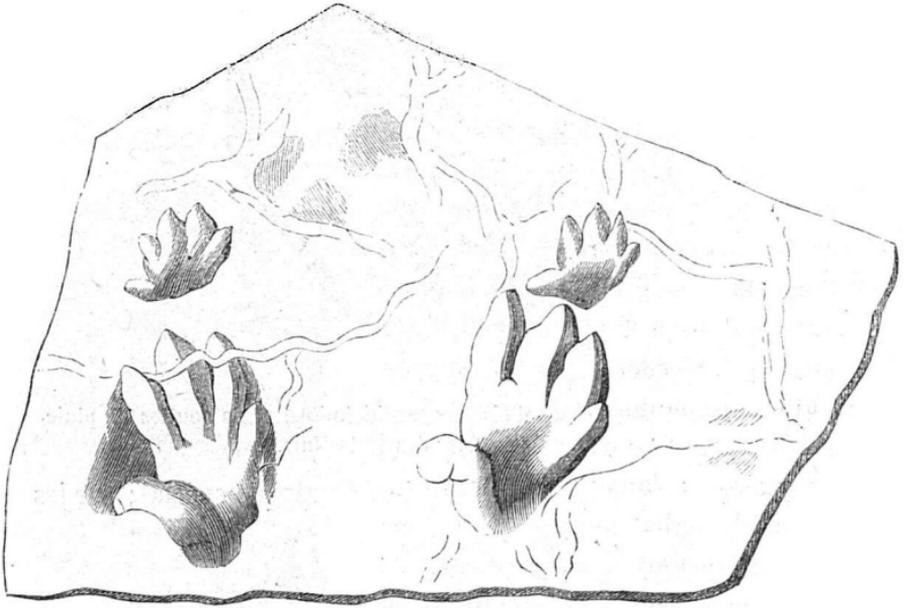


Fig. 286. — Empreintes de pas de reptiles (*Chirotherium*).

nombreuses à la partie supérieure du terrain ; aussi la plupart des auteurs admettent-ils dans le trias deux flores distinctes : l'une, inférieure, cantonnée dans le grès bigarré ; l'autre, supérieure, ren-



Fig. 287. — Mâchoire inférieure du *Dromatherium silvestre*.

fermée dans les marnes irisées. La première se rattache aux flores paléozoïques, la seconde, aux flores secondaires ; et beaucoup d'espèces de cette dernière ressemblent tellement à des plantes jurassiques, qu'il y a peut-être identité. Si le fait vient à se confirmer, la limite entre les terrains paléozoïques et les terrains de l'époque secondaire devrait tomber dans le milieu du trias, à en

juger seulement d'après la flore, En tout état de choses, les assises inférieures arénacées se reconnaissent facilement aux *Voltzia* et surtout au *Calamites arenaceus* qu'elles renferment en abondance; et souvent les *Zanites* et les *Pterophyllum* ont permis d'attribuer aux marnes irisées des couches dans lesquelles on ne trouvait point d'autres fossiles (fig. 288, 289, 290).

**Statistique de la faune.** — La faune est au moins aussi pauvre que la flore, si l'on ne considère que le trias normal, qui compte à peu près 200 espèces; mais elle devient subitement d'une richesse remarquable dans le trias alpin, où l'on a trouvé 750 espèces dans les seules couches de Saint-Cassian. Le nombre total des fossiles du trias recensés par Bronn en 1850, se monte à 1140; en 1872, M. Barrande le porte à 1300. C'est donc une faune comparable, quant au nombre, à l'une de celles des terrains précédents. La nature du milieu minéralogique paraît avoir beaucoup influé sur la répartition des fossiles dans le sens vertical. Ainsi, le grès bigarré, qui s'est déposé, surtout au commencement, dans une mer agitée, comme le témoignent les galets qu'il renferme, ne recèle guère que des débris végétaux; tandis que la faune marine du trias normal se trouve concentrée dans le calcaire conchylien, formé par voie de précipitation chimique dans une mer plus tranquille. Les végétaux reparaissent dans les marnes irisées, qui ne renferment d'autres fossiles animaux qu'une lingule et des esthéries, partout excessivement rares. Cette pauvreté provient évidemment de l'impropriété du milieu, la vie n'étant pas facile, même pour des animaux marins, dans des eaux incessamment injectées de gypse, de magnésie, de cuivre et d'autres substances nuisibles; tandis que les plantes y arrivaient par l'intermédiaire des torrents et des courants.



Fig. 288.  
*Voltzia heterophylla.*

Au point de vue paléontologique, la faune du trias normal et celle du trias alpin sont presque absolument distinctes, et ne ren-

ferment qu'un très-petit nombre d'espèces communes. Il y a, par conséquent, deux faunes dans le trias, dont l'importance équivaut à peu près aux deux tiers de celle du terrain silurien et au double de celle du terrain permien. Les faunes contrastent singulièrement avec les deux flores sous le rapport de la succession des types. Comme il est naturel, les plantes du grès bigarré rappellent les formes paléozoïques, et celles des marnes irisées, les formes méso-

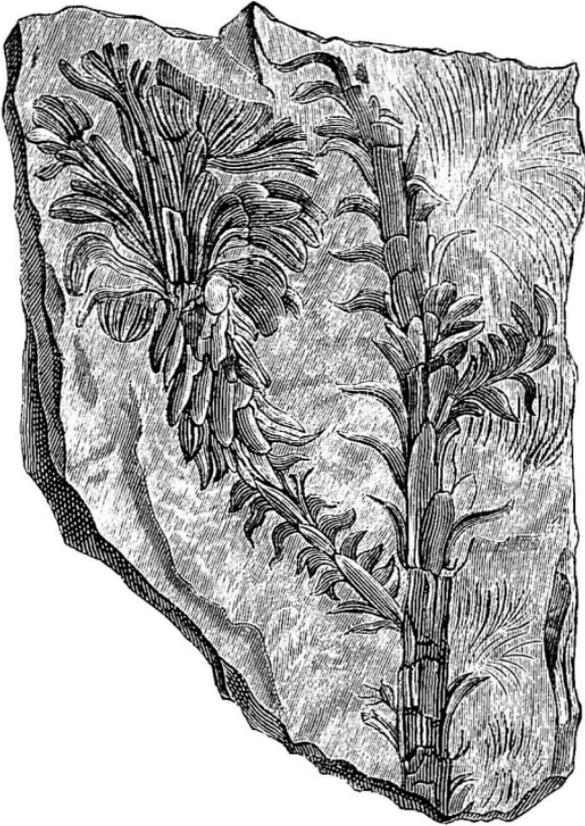


Fig. 289. — Branche et cône du *Voltzia heterophylla*.

zoïques; mais, par une bizarre anomalie, c'est le trias alpin, c'est-à-dire le plus récent, qui renferme presque exclusivement les animaux des types anciens (*Spirifer*, *Murchisonia*, *Porcellia*, orthocères, nautilés à spire découverte, etc.), et ils s'y trouvent pêle-mêle avec les ammonites persiliées, les phasianelles, les limes, autres genres des terrains secondaires,

**Distribution géographique des fossiles.** — On remarque les mêmes irrégularités dans la composition du terrain, considéré dans le sens horizontal. L'Europe renferme le trias alpin et le nor-

mal, ce dernier souvent incomplet, et réduit à deux, et même à une seule de ses parties. Dans les États-Unis, où la formation occupe une vaste superficie, on n'a point observé de vestiges authentiques d'animaux marins; aussi d'Archiac se demande-t-il où étaient les océans dans cette partie de la terre à l'époque du trias. En Sibérie, on a trouvé, sous le 75° parallèle, 4 cératites rappelant celles du Tyrol; les 35 espèces rapportées de l'Himalaya sont, pour la plupart, des *Spirifer*, des goniatites et des ammonites de la faune alpine, et il en est de même des fossiles du Thibet. L'Inde centrale a fourni des poissons et des labyrinthodontes, et l'île de Timor, une ammonite et un genre nouveau (*Actinodesma*) voisin des Inocérames. A la Nouvelle-Zélande, ce sont des spirigères, des *Spirifer*, des avicules, des *Monotis* et autres fossiles, analogues ou spécifiquement identiques avec ceux des Alpes de Salzbourg. L'Afrique australe n'a guère livré que les singuliers reptiles dont il a été fait mention. On signale enfin, en Californie, une riche association de fossiles alpins, au nombre desquels se retrouvent 4 espèces européennes. C'est donc à tort qu'on a qualifié d'anomal le trias des Alpes d'Autriche, puisque ce type semble

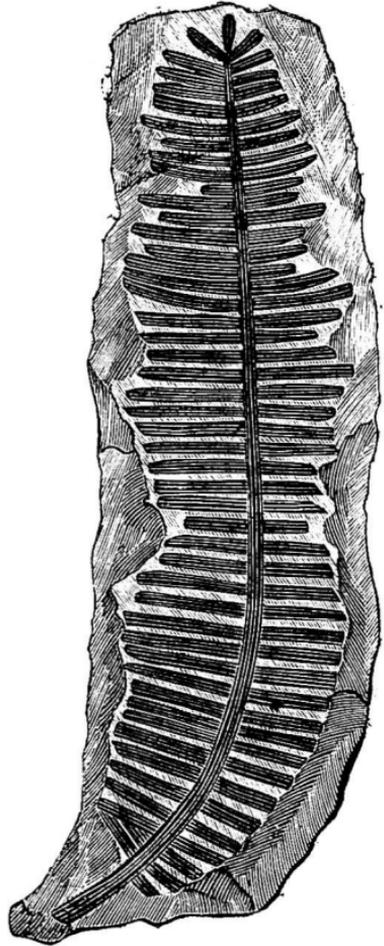


Fig. 290. — *Pterophyllum laegeri*.

de beaucoup le plus répandu sur le globe. Il est bon d'ajouter que le trias est peut-être moins connu que d'autres terrains plus riches en fossiles, moins variés dans leur composition minéralogique et moins incomplets dans la plupart de leurs gisements. Beaucoup de localités doivent être l'objet d'un nouvel examen, et sans doute plusieurs de nos conclusions seront modifiées dans l'avenir.

**TERRAIN JURASSIQUE.** — Ce terrain a pris son nom des montagnes du Jura, qui en sont presque entièrement composées. Les Anglais persistent à l'appeler *terrain oolitique*. Il consiste en massifs argileux et calcaires, alternant souvent d'une manière régulière, et il renferme, à divers niveaux, des assises ferrugineuses et des rognons siliceux. Les grès et les roches arénacées y sont tout à fait exceptionnels, de même que le gypse, la dolomie, le sel gemme et le charbon. C'est une formation entièrement marine, sauf quelques minces assises d'eau douce, toujours fort rares et de peu d'importance, intercalées çà et là. Dans plusieurs contrées, elle se termine cependant par l'étage de Purbeck, qui consiste en calcaires et en argiles lacustres avec gypse, renfermant des fossiles terrestres. Il s'est donc opéré un exhaussement des rivages, qui a permis à des lagunes de s'établir sur des emplacements que les mers venaient d'abandonner. Les oscillations de l'écorcé du globe sont d'ailleurs incessantes pendant toute la durée de l'époque jurassique; aussi la formation se trouve-t-elle incomplète en une foule de lieux : tantôt réduite à sa partie moyenne (Russie), tantôt privée de ses étages inférieurs (Espagne, Algérie), tantôt de ses étages moyens (Alpes Suisses), tantôt paraissant dépourvue de ses étages supérieurs (Alpes de Provence). En général le mouvement a été ascensionnel dans l'Europe occidentale : c'est pendant l'époque jurassique que se ferment les détroits de Dijon et de Poitiers, et que les trois bassins des mers françaises cessent de communiquer entre eux.

**Faune jurassique.** — La puissance du terrain n'exécède pas 1600 mètres dans les lieux où il est le plus complet ; cependant la faune jurassique est très-riche. En 1850, Bronn enregistrait déjà près de 4000 espèces, et M. Barrande en indique 4730 en 1872. La vie organique se relève donc rapidement de la défaillance momentanée qui a marqué la séparation de la période paléozoïque et de la période secondaire, en Europe du moins.

**Foraminifères et spongiaires.** — Les *foraminifères* et les *spongiaires* abondent.

**Polypiers.** — Presque réduits à la famille des *zoanthaires apores*, les *polypiers* arrivent à un premier maximum, qu'ils ne dépasseront guère qu'à l'époque actuelle. Pour la première fois ils constituent, à divers niveaux, de véritables récifs, ordinairement très-développés dans l'étage qui a reçu le nom de corallien. Bien inférieurs en puissance aux récifs de nos mers tropicales, ceux de l'étage co-

rallien l'emportaient cependant de beaucoup en superficie, puisqu'on

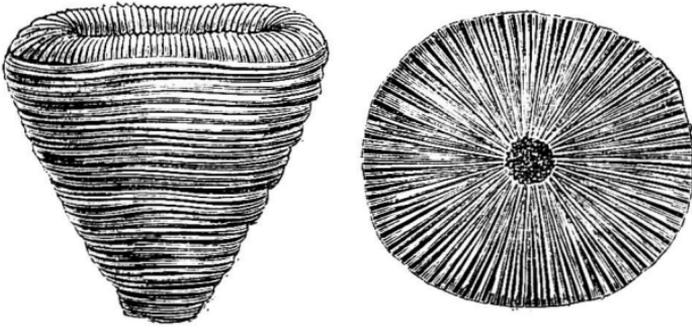


Fig. 291. — *Montlivallia trochoides*.

les a trouvés presque à toutes les latitudes (fig. 291, 292, 293, 294).

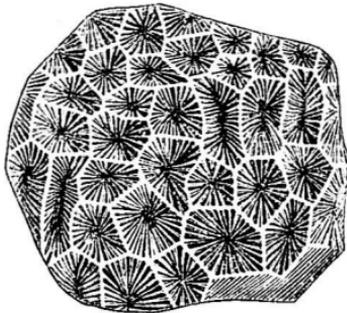


Fig. 292. — *Latomeandra Davidsoni*.

**Crinoïdes.** — Les *crinoïdes* atteignent rapidement un deuxième



Fig. 293. — *Comoseris vermicularis*.

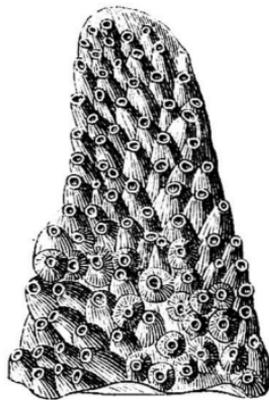


Fig. 294. — *Loboconia obeliscus*.

et dernier maximum. Désormais ils ne feront que décliner. A certains niveaux et dans certaines contrées, ils formaient de véritables

champs sous-marins, et leurs *entroques* constituent, presque à elles seules, des assises d'une grande épaisseur et d'une grande étendue dans le Jura de la Bourgogne et de la Franche-Comté. Les principaux genres sont les *Pentacrinus*, les *Apiocrinus*, les *Millericrinus*, les *Eugeniocrinus*, les *Isocrinus*, etc., presque tous spéciaux et tous de la famille des *pygocrinoides* (fig. 295). Ils avaient, en général, une tige longue et droite et un calyce formé de pièces très-épaisses, de sorte que la cavité viscérale se trouvait considérablement réduite : les bras étaient libres, et quelquefois très-rameux. Une nouvelle famille fait son apparition : celle des *comatulides*. Ce sont des crinoïdes libres, et, par conséquent, privés de tige. Ils ressemblent aux astérides, dont ils se rapprochent beaucoup par leurs bras libres, articulés et ramifiés comme ceux des euryales ; mais ils en diffèrent essentiellement par leur station, qui est inverse, la bouche se trouvant toujours dirigée en haut. Ils ont d'ailleurs une tige rudimentaire dans le jeune âge, ce qui les rapproche des vrais crinoïdes. Plusieurs genres de comatulides vivent encore dans nos mers (fig. 296).

**Astérides.** — Les *astérides* s'augmentent de la famille des *ophiurides*, qui établissent également un passage aux crinoïdes. Les ophiurides se sont propagés jusqu'à notre époque ; ils se distinguent à leurs bras grêles, cylindriques, jamais évidés en dessous ni creusés en dedans, et sans relations avec l'appareil digestif (fig. 297).

**Échinides.** — L'ordre des *échinides* prend subitement une extrême importance, et ses représentants, qui pullulaient dans le voisinage des récifs coralliens de l'époque, forment, pour la première fois, une faune nombreuse. Les oursins jurassiques appartiennent d'ailleurs aux trois familles des *cidarides*, des *clypéastroïdes* et des *spatangoïdes*, dont les espèces sont extrêmement multipliées dans nos mers. Les premiers ont un test sphérique, plus ou moins élevé ou déprimé, mais toujours régulier. L'anus occupe le sommet et la bouche le dessous, à l'autre extrémité de l'axe central ; elle est toujours munie de cinq mâchoires (fig. 298, 299, 300, 301). C'est la famille dominante à l'époque jurassique. Beaucoup plus rares, les *clypéastroïdes* se distinguent à la forme oblongue de leur test et à l'ouverture anale rejetée du côté postérieur. La bouche reste centrale, mais elle s'ouvre quelquefois obliquement, jamais en avant ; elle n'a pas toujours de mâchoires (fig. 302). Encore moins nombreux dans le terrain jurassique, les *spatangoïdes* ont

le test ovale, l'anus postérieur, la bouche privée de mâchoires,

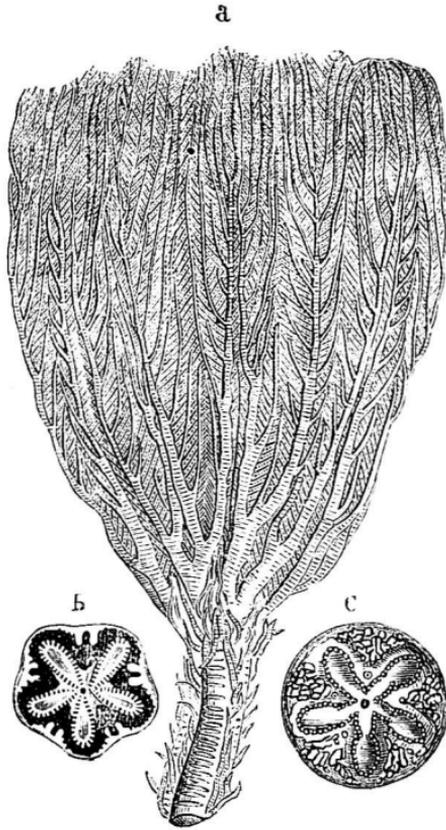


Fig. 295. — *Pentaerinus fasciculosus*.  
*a*, grandeur naturelle ; *b*, *c*, articles de la tige grossis.

presque toujours ouverte obliquement en avant et située entre le centre et le bord antérieur (fig. 303).



Fig. 296. — *Saccocoma pectinata*.

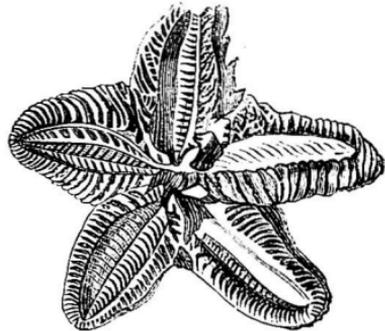


Fig. 297. — *Trepidaster pectinatus*.

**Bryozoaires.** — Les mollusques *bryozoaires* touchent presque à

leur maximum. Ils font généralement partie de l'ordre des *tubulipores*, qui se reconnaissent, ainsi qu'il a été dit, à leurs cellules prolongées en tubes et réunies obliquement, de manière à former des colonies ressemblant plus souvent à un polypier branchu qu'à une lame étalée (fig. 304, 305, 306).

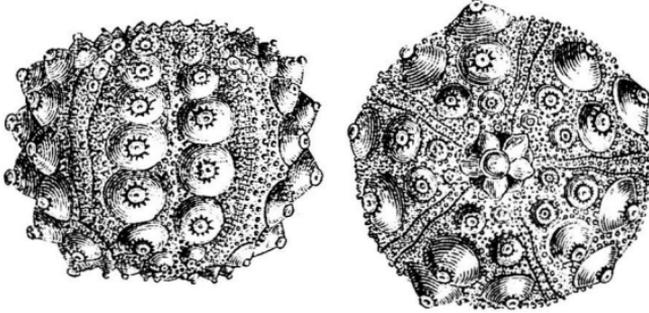


Fig. 298. — *Hemicidaris crenularis*.

**Brachiopodes.** — Les *brachiopodes*, qui auront encore des jours relativement prospères, ne se relèveront cependant jamais de leur décadence. Ils perdent leurs derniers genres paléozoïques (*Spirifer* et

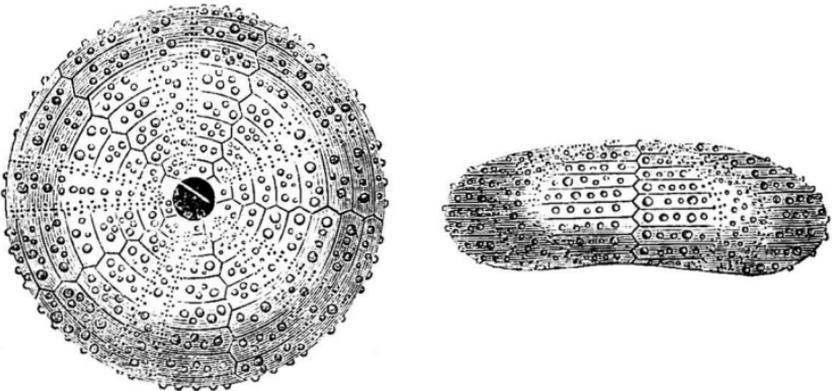


Fig. 299. — *Pedina sublaevis*.

*Leptæna*), et ne s'enrichissent guère que des *Terebratella* et des *Thecidea*. Les premières se distinguent des vraies Térébratules par leur area, et les secondes, qui peuvent servir de type à une nouvelle tribu, ont un appareil apophysaire compliqué, une coquille épaisse, fixée au sol par la substance du crochet, qui n'est jamais perforé. Très-nombreux en espèces, les genres *Terebratula* et *Rhynchonella* ne sont pas loin de leur maximum. Les *Crania*, les *Lingula*, les *Orbiculoidea* se trouvent assez bien représentés (fig. 307, 308, 309, 310).

**Acéphales et gastéropodes.** — Les *acéphales* et les *gastéropodes*

Fig. 300.  
Baguette du *Rhabdo-*  
*cidaris maxima*.



Fig. 301. — Baguette du *Cidaris Blumenbachii*.

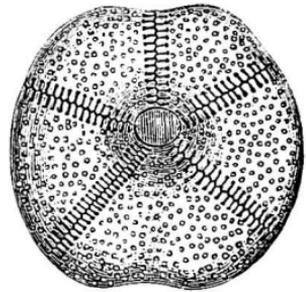
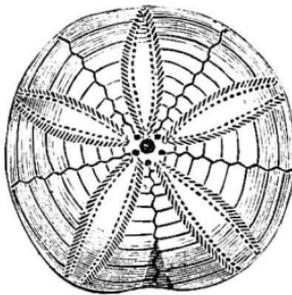


Fig. 302. — *Clypeus Hugii*.

se multiplient tellement, que je ne saurais en indiquer tous les



Fig. 303. — *Collyrites ellipticus*.

genres, sans sortir des limites qui me sont tracées. Je me bornerai

donc à mentionner les plus nombreux en espèces et les plus caractéristiques. Ce sont, pour les acéphales pleuroconques : *Ostrea* (et les sous-genres *Exogyra* et *Gryphæa*), *Anomia*, *Plicatula*, *Hinnites*,

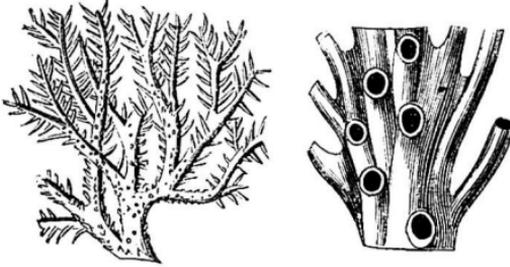


Fig. 304. — *Entalophora cellarioides*.

*Pecten*, *Lima*, *Inoceramus*, *Gervilia*, *Perna*, *Trichites*, *Avicula*, *Diceras* (fig. 311, 312, 313, 314, 315); pour les orthoconques intégropal-

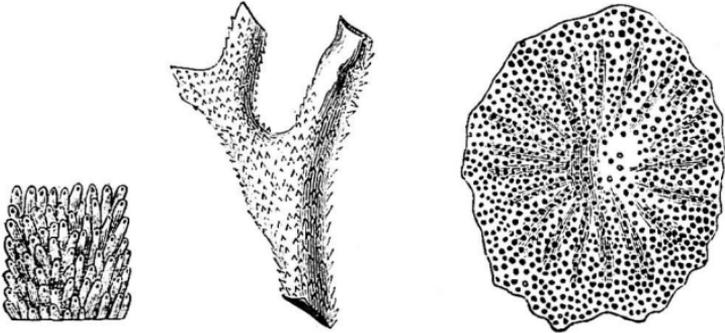


Fig. 305. — *Diastopora foliacea*.

Fig. 306. — *Lichenopora Phillippii*.

léales : *Pinna*, *Mytilus*, *Nucula*, *Arca*, *Trigonia*, *Cardinia*, *Myoconcha*, *Cardita*, *Opis*, *Astarte*, *Lucina*, *Corbis*, *Hettangia*, *Cardium*, *Cyprina*

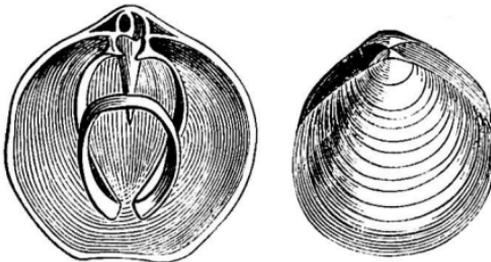


Fig. 307. — *Terebratulina numismalis*.

(fig. 316, 317, 318); pour les orthoconques sinupalléales : *Venus*, *Isodonta*, *Tellina*, *Ceromya*, *Thracia*, *Anatina*, *Maetra*, *Corbula*, *Pholadomya*, *Panopæa*, *Pholas*, *Teredo*, *Gastrochaena* (fig. 319, 320, 321). Les gastéropodes sont surtout représentés par les *Capu-*

*lus*, *Patella*, *Cerithium*, *Purpura*, *Pterocera*, *Pleurotomaria*, *Trochus*, *Turbo*, *Delphinula*, *Solarium*, *Phasianella*, *Natica*, *Nerinea*, *Chem-*



Fig. 308. — *Terebratula digona*.

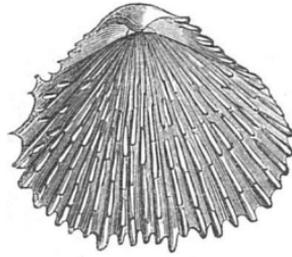


Fig. 309. — *Rhychonella spinosa*.

*nitzia*, *Scalaria*, *Turritella* (fig. 322, 323, 324, 325). On voit que les genres paléozoïques ont à peu près complètement disparu.

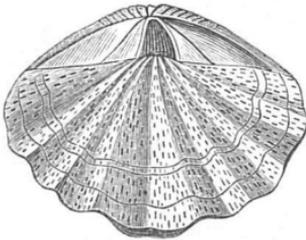


Fig. 310. — *Spirifer Walcotii*.

**Céphalopodes.** — Les *céphalopodes tentaculifères* prennent une grande importance à l'époque jurassique. Ils appartiennent presque

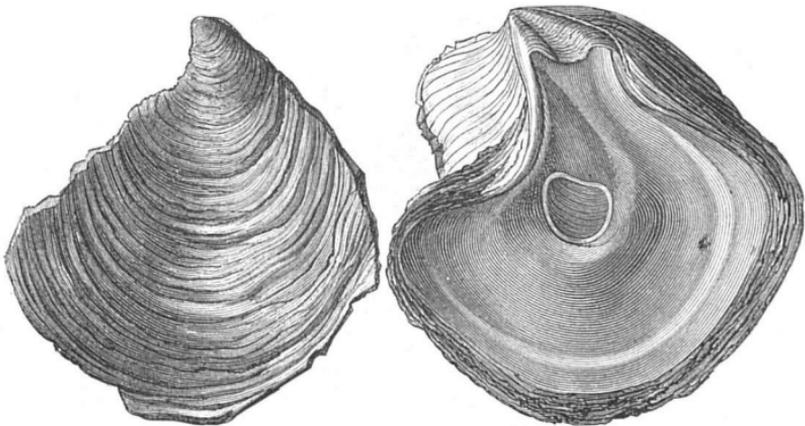


Fig. 311. — *Ostrea deltoidea*.

tous à la famille des *ammonitides*, celle des *nautilides* n'étant plus désormais représentée que par le seul genre nautilé, dont les es-

pèces se maintiennent assez nombreuses, et qui compte encore quatre représentants de nos mers tropicales. Quoique très-abondants

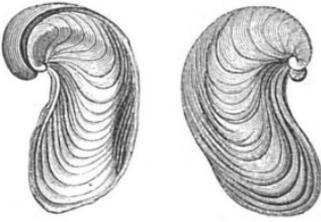


Fig. 312.  
Ostrea (Exogyra) virgula.

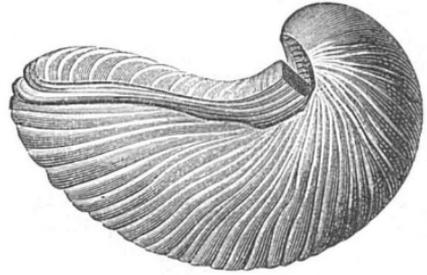


Fig. 313.  
Ostrea (Gryphæa) arcuata.

à tous les niveaux, les *ammonitides* jurassiques sont loin d'offrir la

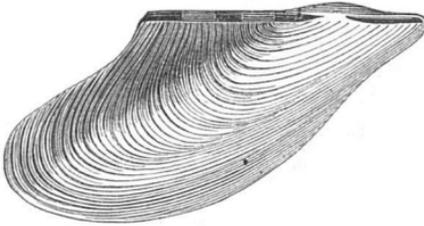


Fig. 314. — Gervilia Hartmanni.

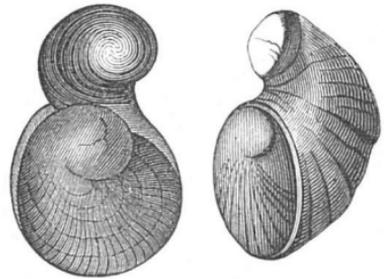


Fig. 315. — Diceras Sanctæ Verenæ.

variété des types de l'époque crétacée ; aussi dois-je en ajourner la

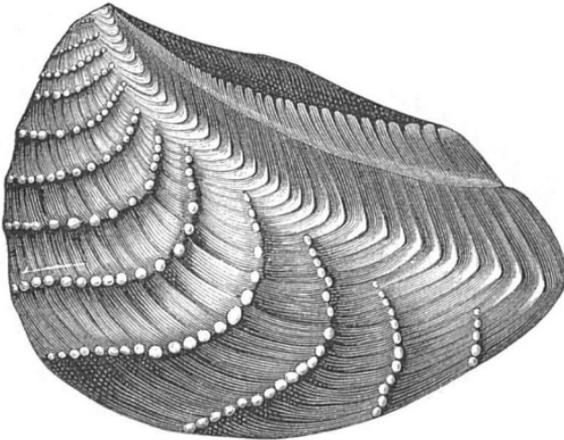


Fig. 316. — Trigonia clavellata.

description. Je me bornerai à dire que leurs principaux genres sont les *Toxoceras*, les *Ancyloceras* et les *Ammonites*, ce dernier pri-

mant tous les autres, et atteignant peut-être ici son maximum. Les ammonites jurassiques appartiennent surtout aux formes à dos ca-

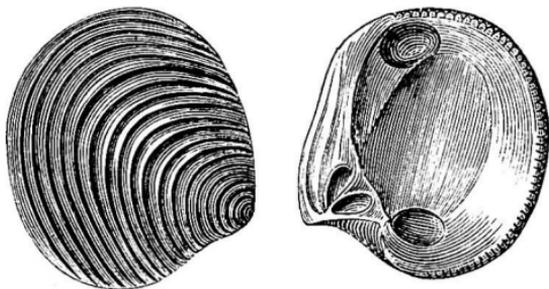


Fig. 317. — *Astarte detrita*.

rené des groupes des *arietes*, des *falciferi* et des *amalthei*; à celles

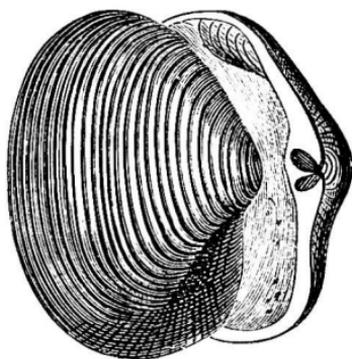


Fig. 318. — *Corbis subdecussata*.

à dos sillonné du groupe des *dentati*; à celles à dos aplati du groupe

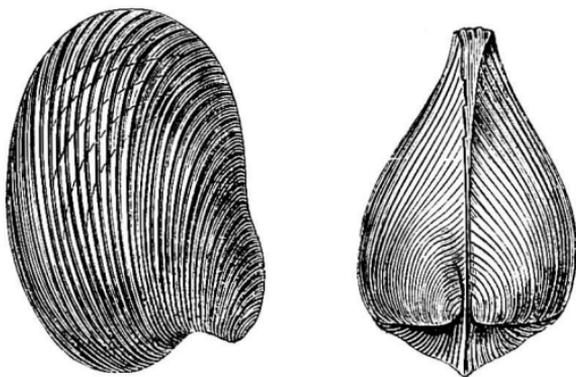


Fig. 319. — *Ceromya excentrica*.

des *armati*; enfin à celles à dos arrondi des groupes des *capricorni*, des *heterophylli*, des *planulati*, des *coronarii*, des *macrocephali* et des *fimbriati* (fig. 326, 327, 328, 329).

**Acétabulifères.** — Un ordre fort important fait son apparition : celui des *céphalopodes acétabulifères*. Ce sont les plus élevés des mollusques ; sous le rapport de la perfection organique ils l'emportent, à plusieurs égards, sur les articulés inférieurs et même sur certains vertébrés. On les nomme encore *dibranches*, parce qu'ils

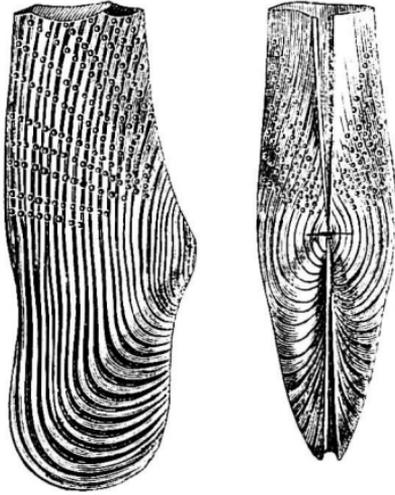


Fig. 320. — *Anatina versicostata*.

n'ont que deux branchies, tandis que les tentaculifères en ont quatre. Toujours libre, l'animal n'a presque jamais de coquille extérieure, mais il possède ordinairement un osselet interne. Plus ou moins allongé, plus ou moins aplati, et quelquefois bordé latéralement d'expansions en forme de nageoires, le corps est terminé par

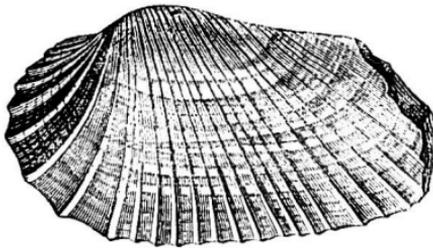


Fig. 321. — *Pholadomya acuticosta*.

une tête munie de deux grands yeux, et surmontée de huit ou dix bras portant des ventouses ou des crochets cornés. Au centre de la cavité circonscrite par la base des bras s'ouvre une bouche, armée d'un bec robuste, à deux mandibules recourbées. Les acétabulifères se divisent en deux sous-ordres : 1<sup>o</sup> les *octopodes*, qui ont huit bras

égaux, tous effilés, et qui manquent d'osselet interne; 2° les *décapodes*, qui ont, pour la plupart, un osselet, mais dont les bras, au

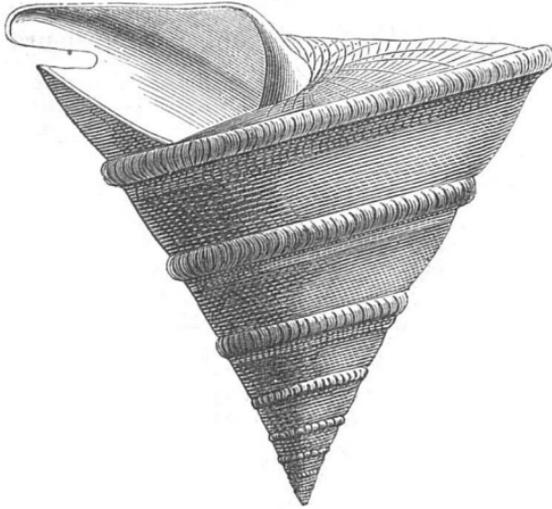


Fig. 322. — *Pleurotomaria conoidea*.

nombre de dix, sont inégaux. Huit de ceux-ci ont une forme effilée, et sont munis de crochets ou de ventouses sur toute leur surface

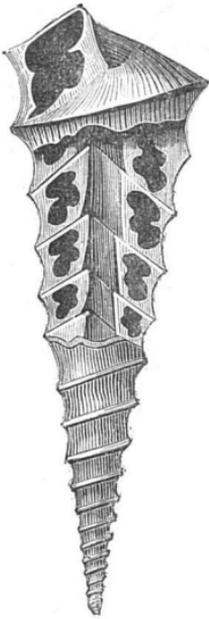


Fig. 323.  
*Nerinea dilatata*.



Fig. 324.  
*Turbo subduplicatus*.



Fig. 325.  
*Chemnitzia Heddingtonensis*.

interne; mais les deux autres, qui les dépassent de beaucoup en longueur, ne portent de ventouses qu'à leur extrémité, toujours

élargie en spatule (fig. 330). Tous les acétabulifères de l'époque secondaire appartiennent au sous-ordre des décapodes.

**Bélemnites.** — Leurs genres sont nombreux dans le terrain jurassique, où le sous-ordre arrive d'emblée à un premier maximum ;

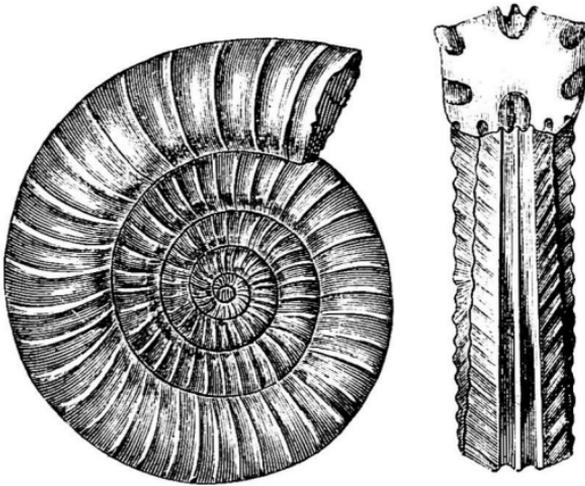


Fig. 326. — *Ammonites bisulcatus*.

mais tous s'effacent, en quelque sorte, devant le genre *bélemnite*, si riche en espèces dans la formation jurassique et dans celle de la craie, dont il ne dépasse point les limites. Il est peu de fossiles qui aient donné lieu à tant d'exagérations et à tant de fables. Pour les

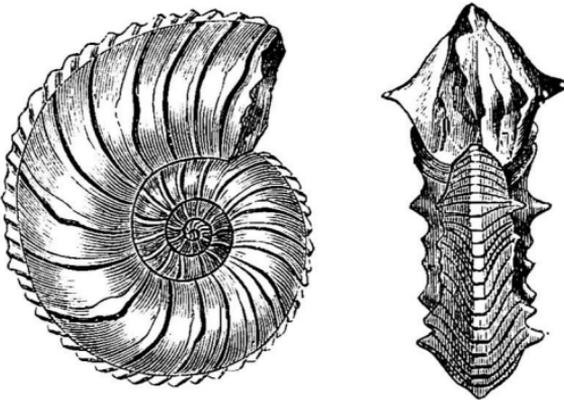


Fig. 327. — *Ammonites margaritatus*.

anciens auteurs, les bélemnites ont été successivement des jeux de la nature, des pierres produites par la foudre, des stalactites, des dards, des dattes pétrifiées, de l'ambre durci, des dents de cachalots ou de crocodiles, des épines de poissons, des tiges d'oursins,

des bras d'étoiles de mer, des polypes, des tubes d'annélides, etc. Je suis obligé d'en passer beaucoup. Les paysans russes les appellent *griffes du diable*. Toutes ces erreurs étaient d'autant plus excusables, à une époque où les fossiles les mieux conservés passaient,

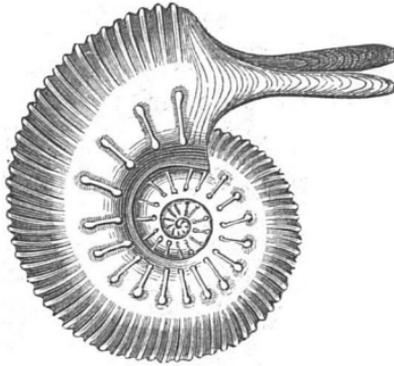


Fig. 328. — Ammonites Jason.

aux yeux de savants respectables, pour des pétrifications fortuites, que, pendant longtemps, on n'a connu qu'une seule partie de l'osselet des bélemnites. C'est de Blainville qui en a déterminé la vraie

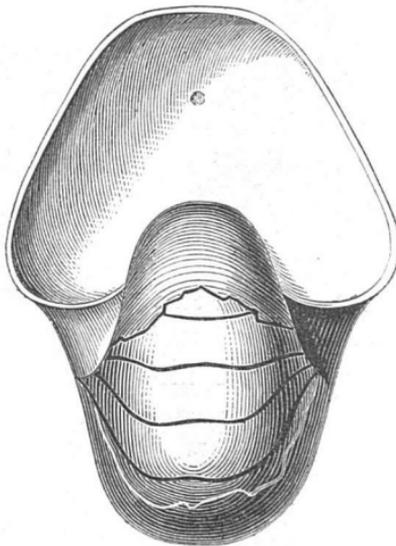


Fig. 329. — Nautilus lineatus.

nature, et c'est A. d'Orbigny qui a décrit l'animal dans son entier. On a, depuis, trouvé en Angleterre des empreintes du corps presque complet de bélemnites, qui avaient conservé leur poche à encre et les épines de leurs bras.

C'étaient des animaux quelquefois redoutables, dont la taille dépassait 2 mètres dans les grandes espèces. Le corps, allongé et conique, portait des nageoires comme celui des calmars. L'*osselet* interne consistait en un *rostre* cylindrique ou aplati, généralement terminé en pointe, et creusé, à l'autre extrémité, d'une cavité conique ou *godet*, renfermant le *cône alvéolaire*. Le godet se prolongeait, du côté de la région dorsale de l'animal, en une *lame cornée* très-large, très-aplatie, marquée de stries concentriques d'accroissement. Il est rare de trouver à l'état fossile autre chose que le rostre plus ou moins entier, muni d'une partie de son godet. Le cône

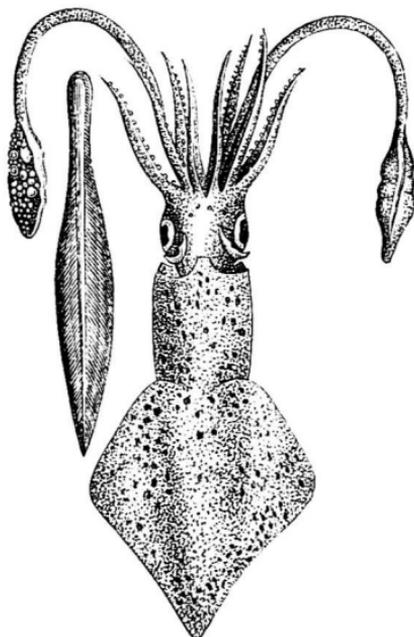


Fig. 330. — Calmar commun et son osselet.

alvéolaire est presque toujours incomplet. De nature cornée, le rostre se compose de couches concentriques emboîtées les unes dans les autres, comme autant de cônes. Ces couches sont formées de fibres triangulaires, rayonnant autour du centre comme les rayons médullaires de la tige de nos arbres; elles sont plus épaisses vers la pointe du rostre, qui était tantôt aiguë, tantôt arrondie et émoussée. Le rostre lui-même avait le plus souvent la forme d'un cylindre atténué en cône; quelquefois, cependant, il est aminci à son milieu, ou bien aplati, et plus rarement polyédrique, principalement dans le jeune âge. Il porte ordinairement des sillons, dont le nombre et l'emplacement ont fourni de bons caractères pour la distinction des

espèces. Assez semblable à une coquille de nautilide, le cône alvéolaire se trouvait divisé, par des cloisons concaves, en loges traversées par un siphon ventral, étranglé au contact des cloisons (fig. 331, 332, 333).

Les bélemnites ont été divisées par d'Orbigny en cinq familles, dont les quatre premières sont représentées dans le terrain jurassique, auquel semblent appartenir en propre la deuxième et la



Fig. 331. — Section longitudinale d'un rostre de bélemnite muni de son cône alvéolaire.



Fig. 332. — Section transversale du même.

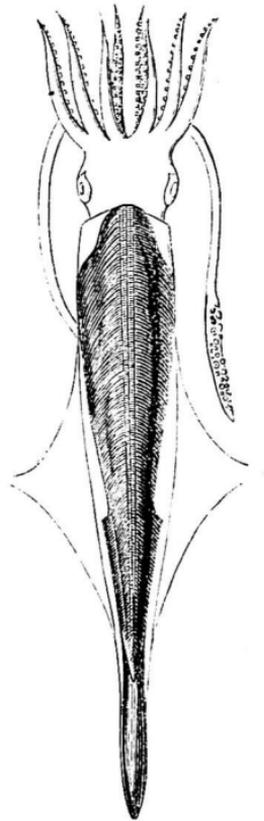


Fig. 333. — Restauration d'une bélemnite, d'après d'Orbigny.

quatrième. Ce sont : 1° les *acuarii*, à rostre conique, ordinairement sillonné près de la pointe ; 2° les *canaliculati*, à rostre allongé, conique ou lancéolé, portant un grand sillon ventral longitudinal ; 3° les *hastati*, à rostre allongé, fréquemment lancéolé, muni d'un grand sillon ventral et de sillons latéraux ; 4° les *clavati*, à rostre allongé, quelquefois lancéolé, à sillons latéraux ; 5° les *dilatati*, à rostre plus ou moins élargi et comprimé, avec sillon antérieur et sillons latéraux. C'est peut-être dans le terrain jurassique que les bélemnites arrivent à leur maximum (fig. 334, 335, 336).

On voit que l'embranchement des mollusques a débuté à la fois par sa classe la plus imparfaite (brachiopodes) et par la plus élevée (céphalopodes). Celle-ci marche vers le perfectionnement depuis l'origine. Elle a commencé, en effet, par les tentaculifères ; des deux familles qui composent ce dernier ordre, la plus imparfaite, celle des nautilides, s'est montrée la première ; enfin celle des ammonitides a présenté d'abord les types à cloisons simplement

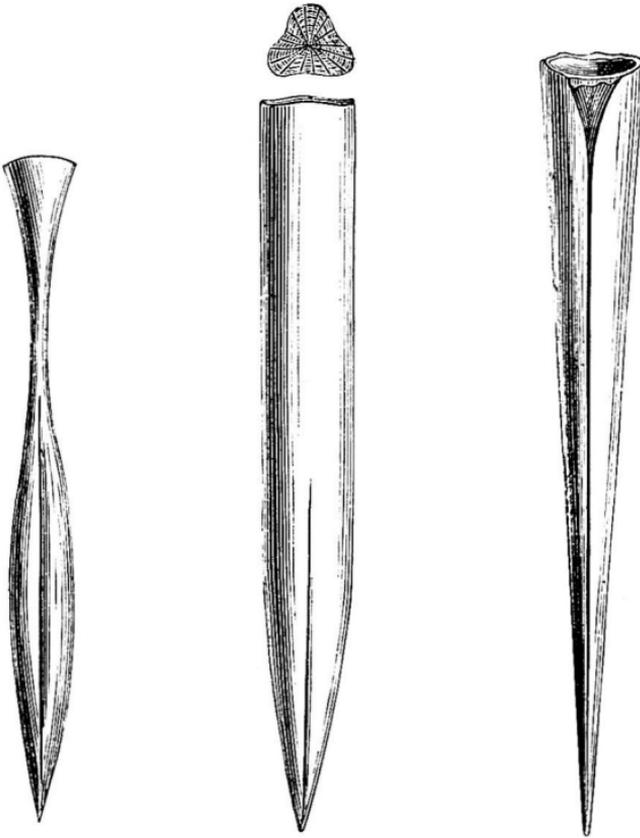


Fig. 334.

Fig. 335.

Fig. 336.

*Belemnites clavatus.* *Belemnites tripartitus.* *Belemnites unicanaliculatus.*

flexueuses (goniatites), puis à cloisons dentelées (cératites), enfin à cloisons persiliées (ammonites).

**Articulés.** — Dans l'embranchement des *articulés*, les *serpules* augmentent en nombre. Nous voyons apparaître les vrais *cirripèdes*. Les *crustacés* arrivent à une prospérité qui n'est dépassée que dans les temps actuels, surtout pour l'ordre des *décapodes*, représentés par une quarantaine de genres spéciaux dans le seul étage corallien. Les *isopodes* se multiplient. Aux *insectes* déjà existants se joignent les *diptères*, les *hyménoptères*, les *hémiptères*, les *lépidoptères*.

**Vertébrés.** — Les *vertébrés* ne restent pas en arrière des autres embranchements. Si les *poissons* ganoïdes hétérocerques ont presque entièrement disparu, les homocerques, qui paraissent dater du trias, pullulent dans toutes les mers, et l'ordre des *ganoïdes* arrive à son maximum absolu, tant sous le rapport du nombre des genres que sous celui du nombre des espèces. Les *placoïdes* sont également fort bien représentés; les *téléostéens* font leur apparition, mais débudent d'ailleurs assez timidement (fig. 337).

**Reptiles.** — De toutes les classes du règne animal, c'est incontestablement celle des *reptiles* qui imprime à la faune jurassique son cachet particulier. On a dit, avec raison, que l'époque jurassique est le règne des reptiles.

Les *labyrinthodontes* s'éteignent dans les assises inférieures, où

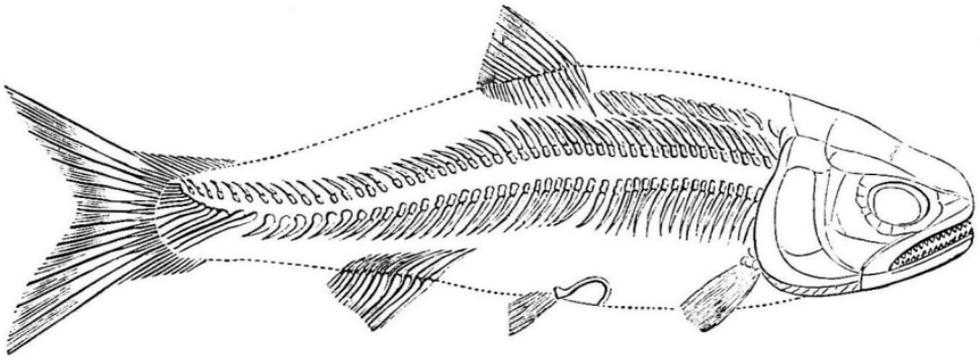


Fig. 337. — Squelette restauré de ganoïde homocerque à corde dorsale, d'après Agassiz.

ils ne comptent plus que pour un seul genre. Au contraire, les *lacertiformes* s'enrichissent de plusieurs types spéciaux. Les *crocodiliens*, qui commencent à se montrer, ont au moins douze genres (fig. 338).

Les *chéloniens* font également leur première apparition bien constatée, et ne tardent pas à se multiplier. Mais ce sont principalement les ordres des *énaliosauriens* et des *ptérodactyles* qui donnent à la faune jurassique son principal caractère.

**Énaliosauriens.** — Les premiers étaient des animaux formidables, exerçant une véritable domination dans les mers. Leurs vertèbres, bi-concaves, ressemblent à celles des poissons; le squelette de leur tronc les rattache aux lézards; leurs dents, fortes et coniques, comme celles des crocodiles, étaient implantées dans une rainure de la mâchoire, tenant lieu des alvéoles. Ils avaient quatre

membres élargis et aplatis comme des rames ; peu distincts par la

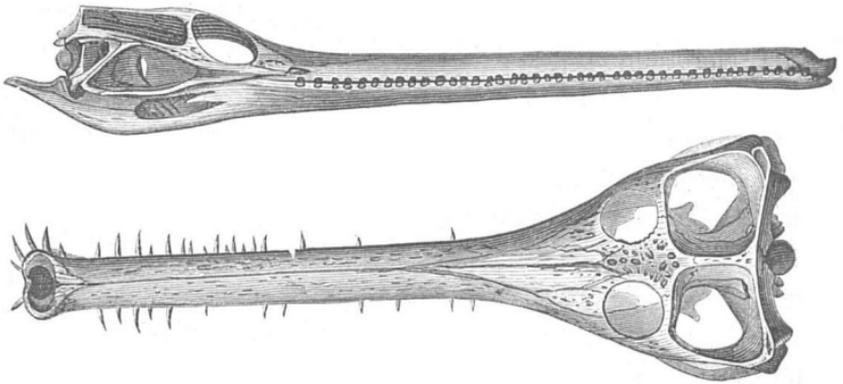


Fig. 338. — *Telcosaurus Cadomensis*.

forme de ceux du métacarpe, les os des doigts constituaient un

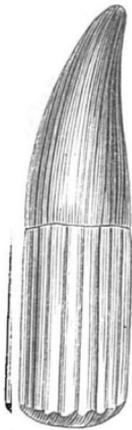


Fig. 339. — Dent d'ichthyosaure.

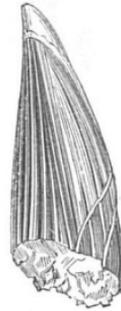


Fig. 340.  
Dent de plésiosaure.

grand nombre de séries, de sorte que leurs nageoires étaient à peu

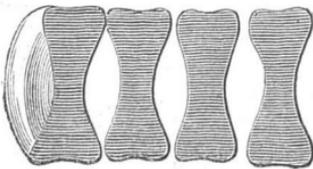


Fig. 341. — Vertèbres d'ichthyosaure.

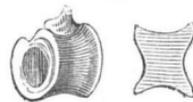


Fig. 342. — Vertèbres de plésiosaure.

près organisées comme celles des cétacés. Leurs principaux genres jurassiques sont les *Ichthyosaures* et les *Plésiosaures*.

**Ichthyosaures.** — De forme lourde et ramassée, les *ichthyosaures* rappellent à la fois les gros poissons et les cétacés de moyenne taille. Ils avaient une tête longue et pointue, munie d'yeux énormes, dont la sclérotique était renforcée par un cercle de plaques osseuses. Les dents étaient pleines ; leur nombre pouvait s'élever à 180 ; elles se remplaçaient comme chez les crocodiles. Les ichthyosaures sont extrêmement nombreux dans le terrain jurassique, surtout aux niveaux inférieurs. Chez quelques espèces, la longueur dépassait 10 et même 12 mètres (fig. 339, 341, 343).

**Plésiosaures.** — Encore plus gigantesques, les *Plésiosaures* arrivent également à leur maximum dans le terrain jurassique, mais plutôt dans les étages supérieurs. C'étaient des animaux encore plus extraordinaires que les ichthyosaures, dont ils avaient d'ailleurs le corps ramassé. Leurs nageoires étaient plus puissantes. Fort grêle et fort allongé, leur cou ressemblait au corps d'un ser-

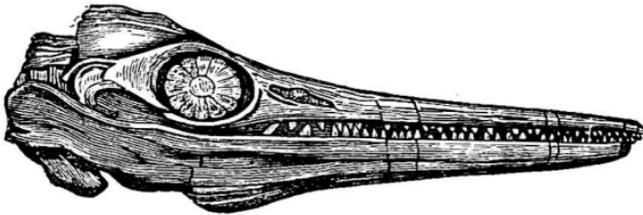


Fig. 343. — Tête d'ichthyosaure.

pent. Il se terminait par une tête extrêmement petite, munie de mâchoires infiniment moins formidables que celles des ichthyosaures. Néanmoins, l'extrême développement des rames indiquait un animal agile, redoutable aux petites proies. Les vertèbres des plésiosaures sont moins excavées que celles des autres genres de la famille (fig. 340, 342, 344, 345).

**Ptérodactyles.** — Les *ptérodactyles*, ou lézards volants, avaient un bec d'oiseau, muni de dents, sur un corps de reptile ; impropres à la marche ou à la natation, leurs extrémités antérieures se terminaient par un doigt d'une longueur démesurée, servant de support à une membrane analogue à celle des chauves-souris. Plusieurs étaient d'assez grande taille. Ce sont bien là les dragons de la fable, et l'imagination la plus dérégulée ne peut enfanter, dans ses plus grands écarts, une collection de monstres hideux qui n'aient vécu à l'époque jurassique. Les ptérodactyles, qui ont ici leur maximum, ne s'éteignent que dans le terrain crétacé (fig. 346, 347).

**Dinosauriens.** — Un dernier ordre doit être mentionné : celui des *dinosauriens*, qui n'arrive cependant à son maximum que dans

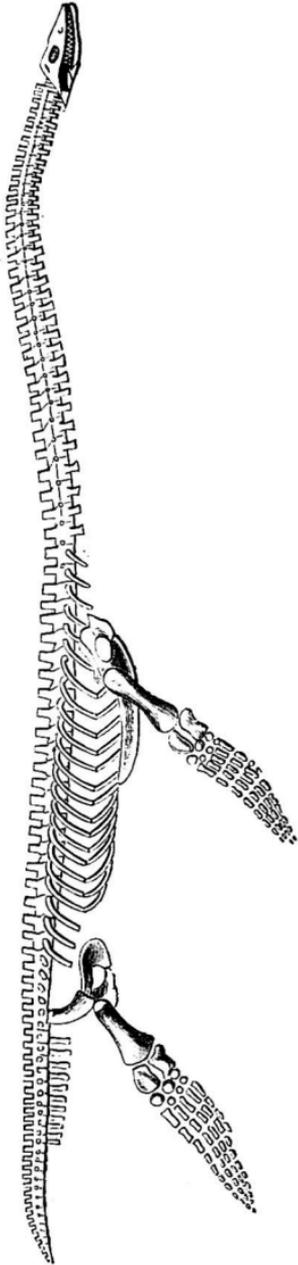


Fig. 344. — Squelette restauré de plésiosaure.

le terrain créacé, ou plutôt dans les couches d'eau douce qui existent, dans l'ouest de l'Europe, à la base de cette formation. Si les énaliosauriens et les ptérodactyles nous frappent d'étonnement par leur forme bizarre et extraordinaire, les dinosauriens sont un sujet de surprise non moins grande pour le naturaliste, plus curieux des détails de la structure intime. Bien supérieurs aux autres reptiles sous le rapport de la perfection organique, les dinosauriens rappellent, à plusieurs égards, les vertébrés à sang chaud. Leurs dents, il est vrai, ressemblent à celles des iguanes, et sont ordinairement comprimées et dentelées, et la structure de l'épaule les rapproche des scinques ; mais ils ont un sacrum formé de cinq vertèbres, comme celui des mammifères ; leurs os longs sont creusés d'un canal médullaire, et munis de fortes apophyses, caractères qui n'existent chez aucun reptile (fig. 348). Leurs jambes s'appuyaient à peu près verticalement sur le sol, et non obliquement ; enfin, chez les iguanodons, les dents étaient usées par la mastication (fig. 349), et certains indices témoignent que la forme du condyle maxillaire permettait des mouvements horizontaux de trituration, et que l'animal était pourvu de lèvres épaisses. On voit que les dinosauriens tiennent un peu le milieu entre

les reptiles et les mammifères ; ils intéressent donc au plus haut point le zoologiste, qui regrettera toujours de ne pouvoir en étudier l'appareil circulatoire. C'étaient les plus gigantesques de tous les

vertébrés à sang froid. A en juger par les débris qu'ils ont laissés, les mégalosaures avaient jusqu'à 12 mètres de longueur ; les iguanodons, 20 mètres, et les pélosaures près de 25 mètres. Ils étaient, en général, carnassiers ; cependant les iguanodons paraissent herbivores.

La classe des reptiles n'a donc pas obéi à la loi du perfectionnement organique continu. Elle a débuté par des types de l'ordre des lézards, et par quelques autres de famille encore douteuse, mais, à coup sûr, d'une élévation moyenne ; elle fournit ensuite ses modèles les plus perfectionnés (crocodiles, tortues, dinosauriens), pour décliner bientôt, et produire en dernier lieu les serpents.

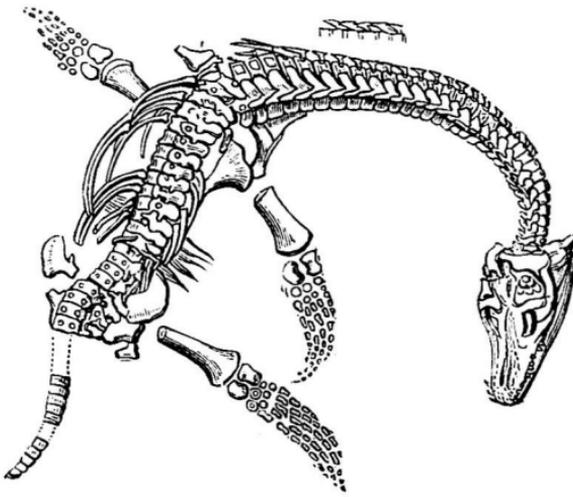


Fig. 345. — Squelette du *Plesiosaurus macrocephalus*.

**Oiseaux.** — Les *oiseaux* ont laissé, dans les dalles de Solenhofen (Bavière), leur premier spécimen bien authentique, l'*Archæopteryx lithographica*. Aussi étrange que les reptiles contemporains, dont il réunissait plusieurs caractères, cet oiseau avait une queue allongée, formée d'un grand nombre de vertèbres continuant l'axe dorsal, et chacune d'elles était munie de deux plumes latérales (fig. 350).

**Mammifères.** — A plusieurs niveaux on a découvert des ossements de *mammifères*. Tous de petite taille, ces mammifères appartiennent à la sous-classe des marsupiaux. Leurs espèces commencent à se multiplier. L'infra-lias en a fourni 2, l'oolithe de Stonesfield 4, et les couches de Purbeck, au moins 14 (fig. 351, 352, 353). Cette faune ressemble tellement à celle de l'Australie, que

certain auteurs ont pensé que ce continent a été isolé de toutes les autres terres à partir de l'époque mésozoïque, et qu'il a conservé sa population primitive de mammifères, sans aucun mélange des formes plus perfectionnées qui se sont développées dans les

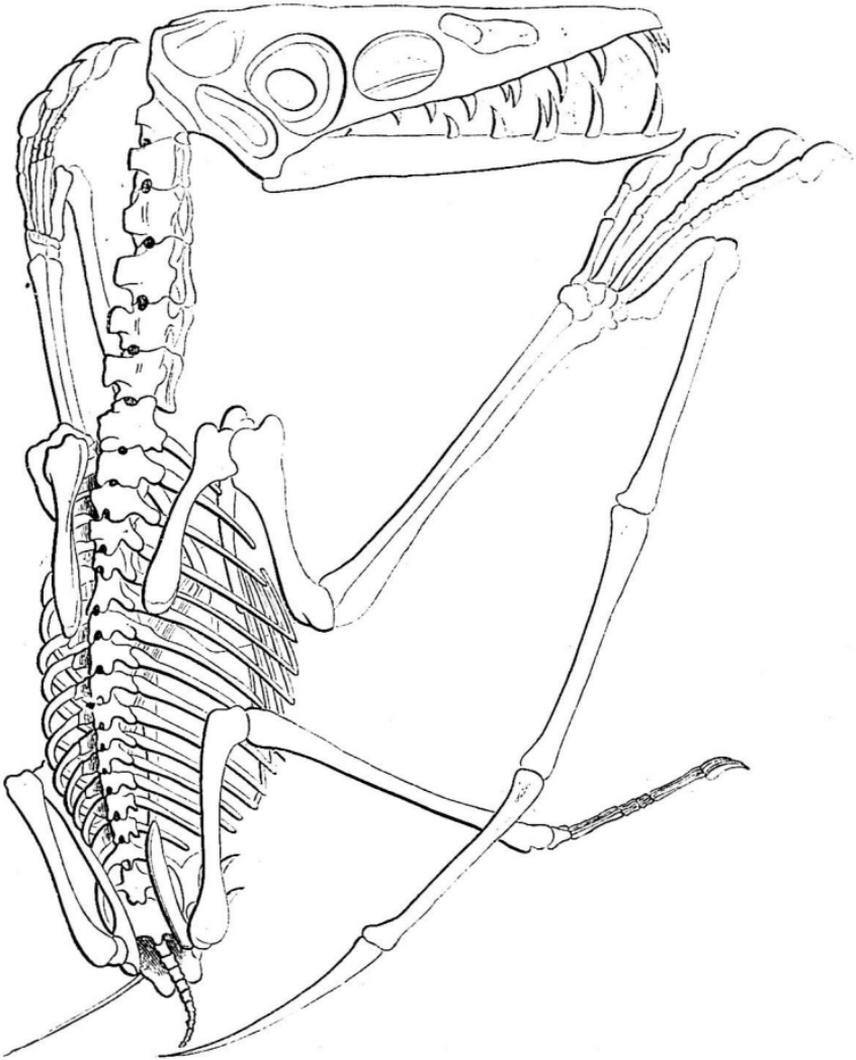


Fig. 346. — Squelette de ptérodactyle, d'après Pictet.

autres parties du monde. Mais cette hypothèse, infirmée par une foule de faits, et notamment par la composition de la flore actuelle de la contrée, n'est pas mieux justifiée que les conceptions analogues dont on fait si grand usage aujourd'hui, quand on écrit sur la géographie zoologique ou botanique.

A l'inverse des reptiles, des poissons et des mollusques, les

vertébrés, considérés en général, fournissent l'exemple le mieux

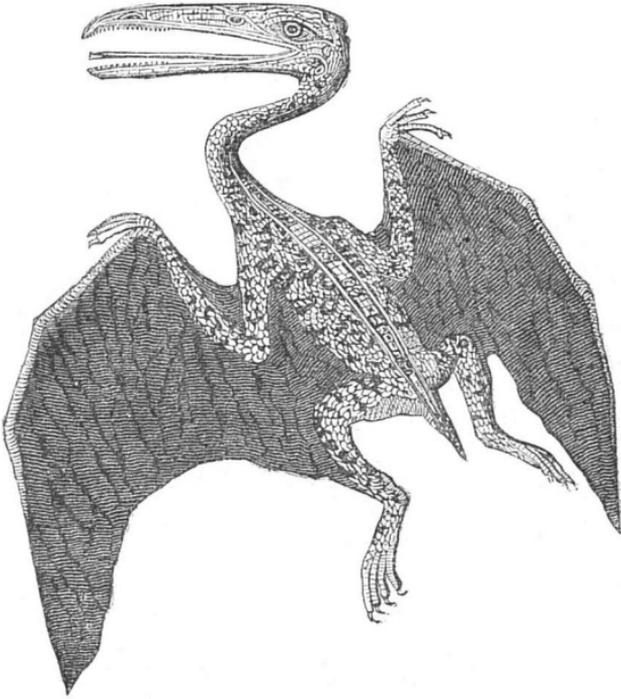


Fig. 347. — Restauration d'un ptérodactyle.

caractérisé, peut-être, du perfectionnement organique continu,



Fig. 348. — Fémur de mégalosaure.

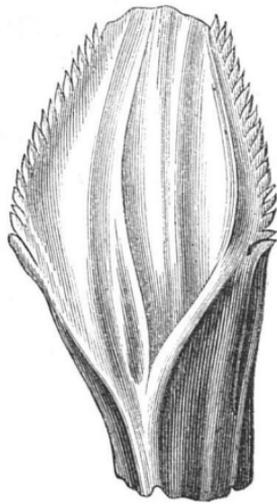


Fig. 349. — Dent d'iguanodon.

puis que leurs classes ont apparu dans l'ordre suivant : poissons, ba-

traciens et labyrinthodontes, reptiles, oiseaux, marsupiaux, mammifères ordinaires. Ces derniers ne débutent qu'à l'époque tertiaire.

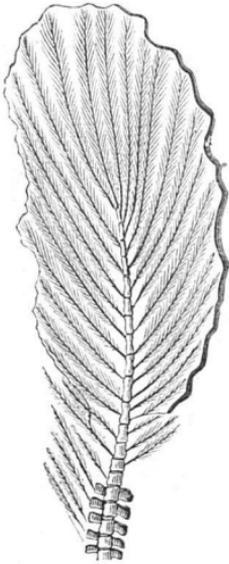


Fig. 350. — Queue d'Archæopteryx  
1/5 grandeur naturelle.



Fig. 351. — Mâchoire de l'Amphitherium  
Broderipii.

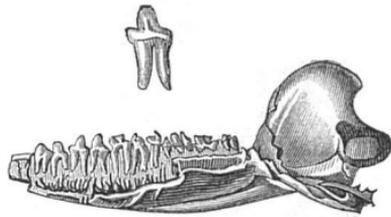


Fig. 352. — Mâchoire du Thylacotherium  
Prevostii.

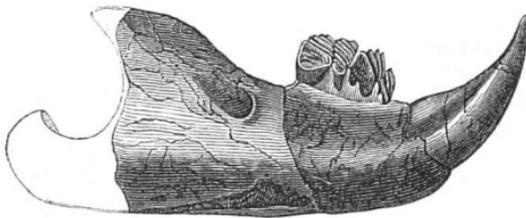


Fig. 353. — Mâchoire du Plagiaulax Becklesii.

**Flore jurassique.** — Généralement mal conservées, et représentées par des échantillons insuffisants, les plantes fossiles qui nous sont parvenues ne peuvent nous donner qu'une idée fort incomplète de la flore jurassique. Ce que j'énonce ici peut s'appliquer, dans une certaine mesure, à toutes les formations marines, qui ne contiennent guère que les végétaux terrestres croissant près des rivages, et charriés par les courants. Je me bornerai donc à dire que la flore jurassique renferme environ 300 espèces, appartenant, pour la plupart, aux familles des fougères, des conifères et des cycadées. Ces deux dernières sont en progrès, surtout les cycadées, qui arrivent à leur apogée, et qui sont surtout représentées par le genre *Zamites*.

Les conifères se rapportent principalement aux tribus des araucariées et des cupressinées ; elles offrent néanmoins quelques types archaïques, notamment les *Brachyphyllum*, qui semblent se rattacher aux *Walchia* de l'époque permienne, et qui n'ont plus d'analogues dans les flores subséquentes (fig. 354, 355, 356). L'existence

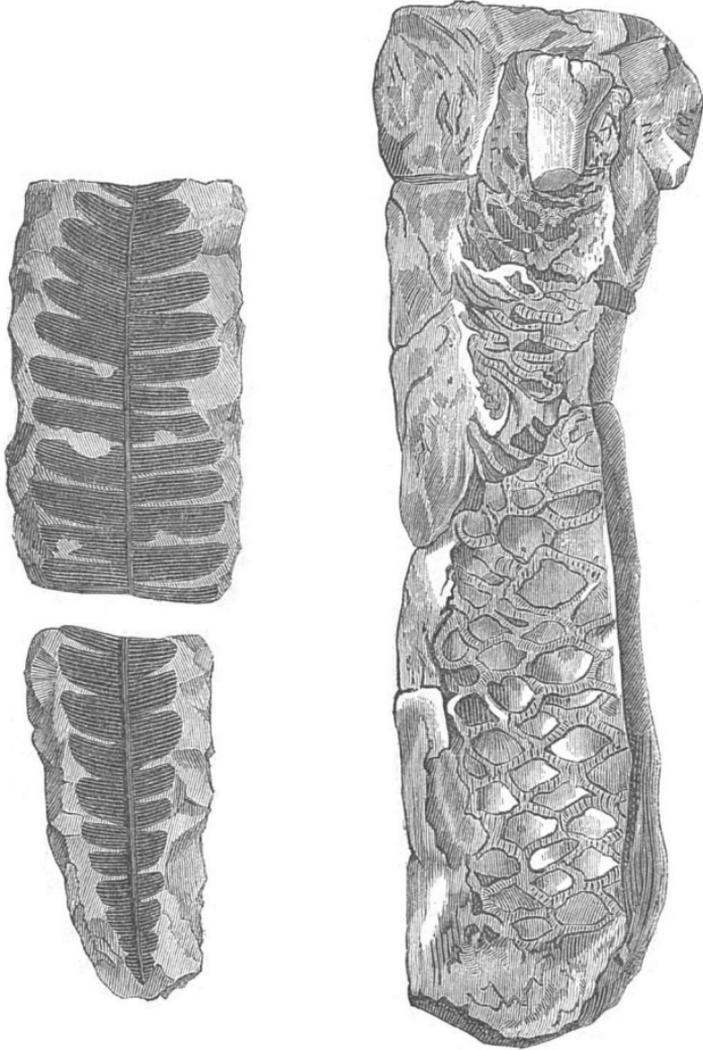


Fig. 354.—*Pterozamites comptus*. Fig. 355.—*Androstrobus zamioides*.

d'insectes hyménoptères et lépidoptères implique presque forcément celle des fleurs, et, par conséquent, des végétaux *angiospermes*. On signale, effectivement, çà et là, quelques palmiers, et, dans une localité anglaise, un fruit qui paraît se rapporter à une pandanée.

**Caractéristiques de la faune jurassique.** — Tel est, bien en abrégé, le bilan de cette riche époque jurassique, essentiellement

caractérisée par les récifs de coraux, les prairies de crinoïdes, les panopées, les pholadomyes, les dicérates, les trigonies, les nérinées, les ammonites, les bélemnites, les crustacés décapodes, les poissons ganoïdes homocerques, les reptiles et les cycadées. Le terrain a été divisé en 10 ou 12 étages (cela dépend du point de vue), qui renferment chacun une faune particulière. Entre tous ces étages existent des passages de fossiles plus ou moins nombreux, suivant la situation géographique et le niveau dans le terrain. En général, les passages sont très-rares dans les étages inférieurs, et très-fréquents dans les supérieurs. Suivant d'Archiac (1866), il y a, en Angleterre, 134 espèces communes à deux étages consécutifs, 37 à 3 et 9 à 4. Aucune ne les traverse tous. Le nombre des fossiles qui



Fig. 356. — *Cycadoidea megalophylla*.

existent simultanément dans deux étages en contact varie de 1 à 58. D'après ces données, la formation jurassique de l'Angleterre (et l'on peut dire la même chose de celle des régions voisines situées sur le continent) ressemble au terrain silurien des États-Unis, où les faunes sont encore plus nombreuses ; mais il y a plus d'irrégularité dans le terrain jurassique, où elles ont une valeur très-inégaie. Ces divers étages ont été arbitrairement réunis en un groupe inférieur, un groupe moyen et un groupe supérieur ; mais, d'après ce qui vient d'être dit, je n'ai pas besoin de faire observer que cette division générale du terrain jurassique en trois parties est absolument artificielle, et ne peut se justifier par aucune considération stratigraphique ou paléontologique. D'après M. Martin, 12 genres et 30 espèces du trias passent dans le terrain jurassique. La limite entre les deux formations est donc moins tranchée que celle qui sé-

pare plusieurs étages jurassiques ; et, jusqu'à présent, nous n'avons encore rencontré nulle part cette brusque interruption de la vie et ce remplacement complet des espèces, si longtemps professés par les géologues amateurs de cataclysmes périodiques.

**Distribution géographique des fossiles.** — J'ai dit que le terrain jurassique varie beaucoup suivant la situation géographique. Cette variation est telle, que dans le même bassin, le nombre, la nature minéralogique et la richesse en fossiles des étages diffèrent dans les plus larges limites. Comme exemple, je citerai les étages supérieurs pris en Lorraine, puis en Normandie ou en Angleterre, dans le bassin anglo-parisien. A de plus grandes distances, il est naturel de trouver des disparates encore plus sensibles. Réduit à sa partie moyenne, et d'une épaisseur qui ne dépasse pas 15 à 20 mètres, le terrain jurassique de la Russie et de la Sibérie montre de nouvelles associations de fossiles, et renferme beaucoup d'espèces particulières. Comme d'habitude, les fossiles de l'Himalaya et de l'extrême Orient sont autrement groupés que ceux de l'Europe. D'après M. Tate, on observe, dans toutes ces contrées, ainsi que dans l'Australie, le sud de l'Afrique et le Chili, un mélange d'espèces appartenant, en Europe, à des étages différents, de sorte que les types européens servent peu. Cependant, à l'époque jurassique les mêmes formes sont plus largement répandues sur le globe, et l'on a trouvé, dans la péninsule d'Alaska, dans l'île d'Exmouth et à la terre du prince Patrick, par le 76<sup>e</sup> degré et demi de latitude nord, des ammonites, des bélemnites, des peignes, des ichthyosaures souvent identiques avec ceux de l'Europe. Sur 20 espèces déterminables rapportées par M. Grandidier de Madagascar, 8 au moins sont européennes, et il n'y a point de genre nouveau. Ainsi, la température continuait de se maintenir élevée et uniforme sur toute la terre : c'est ce que démontre encore l'existence, dans le nord de l'Europe, de récifs de coraux comparables à ceux du golfe du Mexique ou de la mer du Sud.

**TERRAIN CRÉTACÉ.** — Comme le nom l'indique, le terrain crétacé est le gisement par excellence de la craie. Il renferme cependant, surtout à sa base, des calcaires compactes et des argiles ; mais les roches peu cohérentes, les sables ou les grès faiblement cimentés et surtout la craie, dominant de beaucoup à la partie supérieure. En général, les roches crétaquées sont plus claires de nuance, plus détritiques, plus fraîches, en un mot, que les roches jurassiques : les fossiles ne sont pas aussi complètement transformés, et parais-

sent plus jeunes que dans ce dernier terrain. Sans faire absolument défaut, le fer, le gypse, la dolomie, le sel gemme, sont fort rares dans la formation crétacée, où abondent, au contraire, les rognons de silex pyromaque, qui ont, dans la craie blanche, leur principal gisement. La puissance maximum de ce terrain est de près de 4000 mètres. Presque entièrement marine, la formation renferme cependant, à divers niveaux, des assises d'eau douce, plus développées que celles du terrain jurassique, et fournissant quelquefois des lignites exploitables. En Angleterre et ailleurs, elle débute par des argiles et des sables, déposés dans des lagunes analogues à celles où se formait l'étage de Purbeck. Les oscillations du sol ont continué à se manifester pendant toute la durée de l'époque, de façon que les mers empiétaient dans certaines régions, où se constituaient des dépôts d'une grande épaisseur, et laissaient à sec d'autres lieux, où des étages entiers font défaut. Cependant, le mouvement d'ascension continue dans l'Europe occidentale ; les bassins maritimes occupent à peu près les mêmes emplacements qu'à l'époque jurassique, mais diminuent insensiblement en surface. Il en résulte que les faunes et les sédiments diffèrent de plus en plus, même à des distances fort rapprochées, et deviennent comparables à ce qu'ils étaient à l'époque silurienne. Au contraire, dans l'Amérique du Nord, la mer envahit le littoral de l'Atlantique, et pénètre fort avant à l'ouest du Mississipi, où des dépôts d'une grande étendue témoignent de sa présence.

**Faune crétacée.** — Encore plus riche que la faune jurassique, celle du terrain crétacé se compose de plus de 5500 espèces. Les types secondaires y dominent, mais, vers la fin, se mêlent à des types tertiaires.

**Foraminifères et spongiaires.** — Dans l'embranchement des amorphozoaires, les *foraminifères*, qui gagnent de plus en plus en importance, fournissent un très-grand nombre de genres et d'espèces. Il en est de même des *spongiaires*, dont les représentants appartiennent presque exclusivement à la famille des *pétrospongides*, qui se distingue par la consistance pierreuse et non cornée du squelette. Leurs débris fossiles sont tellement abondants, qu'ils suffisent pour caractériser certains niveaux (fig. 357, 358, 359, 360).

**Polypiers et zoophytes.** — Dans l'embranchement des rayonnés, les *polypiers*, toujours fort nombreux, ne forment plus de récifs, ou du moins des récifs de quelque étendue, et, vers la fin de la période, ils abandonnent les mers septentrionales, ce qui dénote sans doute

un abaissement de la température. Ils appartiennent presque tous à la famille des *zoanthaires apores* (fig. 361, 362, 363). La décadence des *crinoïdes* est infiniment plus accentuée; et désormais cet ordre, qui a eu deux époques de prospérité, ne jouera plus qu'un rôle fort

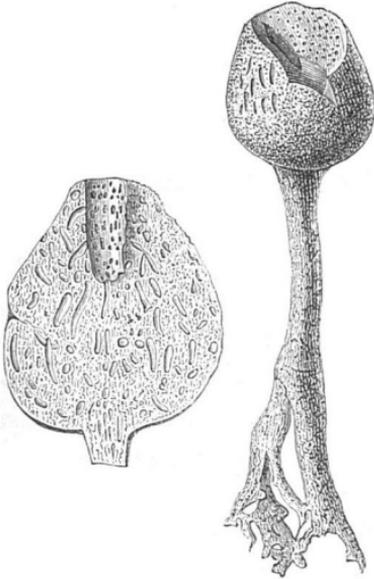


Fig. 357. — *Siphonia ficus*.

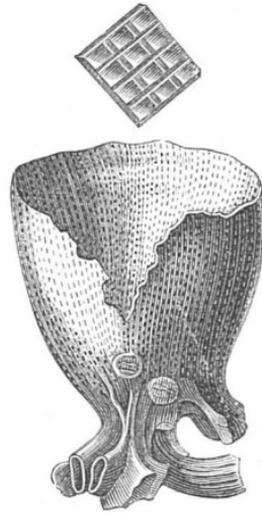


Fig. 358. — *Coscinopora cupuliformis*.

secondaire. Les *stellérides* se maintiennent davantage; les *échinides* sont en progrès; la famille des *clypéastroïdes* et celle des *spatangoïdes* gagnent en importance (fig. 364, 365, 366).

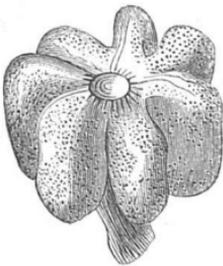


Fig. 359. — *Hallirhoa costata*.

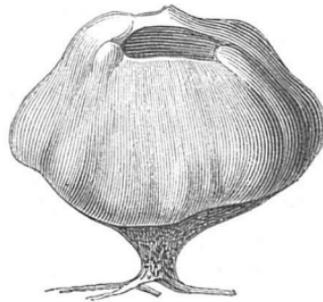


Fig. 360. — *Cephalites campanulatus*.

**Bryozoaires.** — Les mollusques *bryozoaires* se multiplient étonnamment, surtout dans les étages supérieurs. Leurs types appartiennent pour un tiers au groupe des *cellulinés*, et pour les deux autres tiers à celui des *tubulipores* (fig. 367, 368; 369, 370, 371, 372).

**Brachiopodes.** — Les *brachiopodes* se maintiennent assez nom-

breux en espèces, plutôt qu'en types génériques. Ils s'enrichissent néanmoins de plusieurs genres spéciaux, dont l'un (*Terebratulina*), qui est encore représenté par une espèce crétacée dans nos mers profondes, se distingue des térébratules par l'absence de deltidium et par d'autres caractères de moindre valeur (fig. 373, 374, 375, 376).

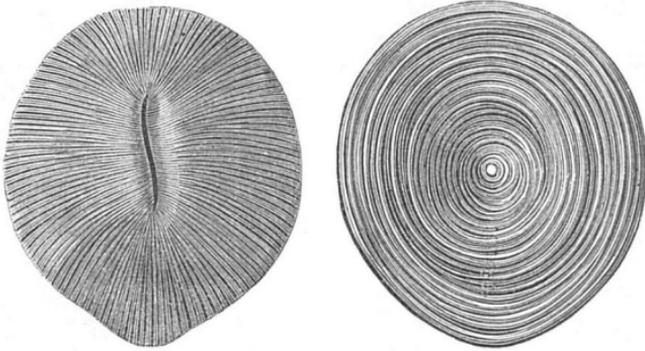


Fig. 361. — *Cyclolites ellipticus*.

**Acéphales et gastéropodes; rudistes.** — Les mollusques *acéphales* et *gastéropodes* continuant à gagner de l'importance, je me bornerai à citer les genres les plus riches en espèces. Néanmoins je dois faire une exception en faveur de la singulière famille

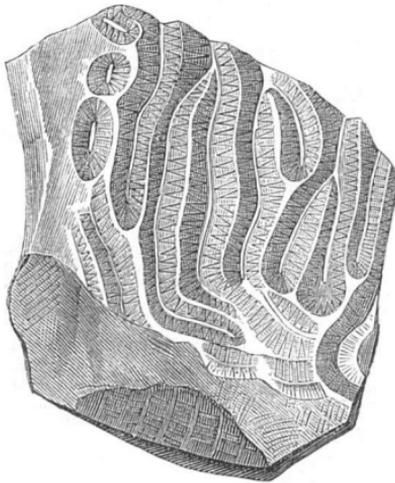


Fig. 362. — *Meandrina pyrenaica*.

des *rudistes*, si caractéristique du terrain crétacé, dans les limites duquel elle se trouve absolument renfermée.

Ce sont des mollusques fort extraordinaires, qui ont exercé la patience et la sagacité des naturalistes, au moins autant que les bélemnites. On les a rangés, tantôt parmi les céphalopodes,

tantôt parmi les ascidies, tantôt parmi les brachiopodes. Les recherches de M. Bayle ont enfin prouvé que ces animaux étranges sont des mollusques pleuroconques, voisins des came et des

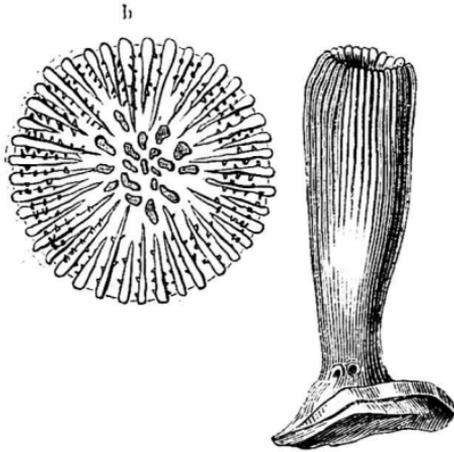


Fig. 363. — *Cyathina lævigata*. — *b*, section transversale grossie.

dicéras. En général très-massive et très-irrégulière, leur coquille ressemble à une grosse corne allongée, ou bien à un

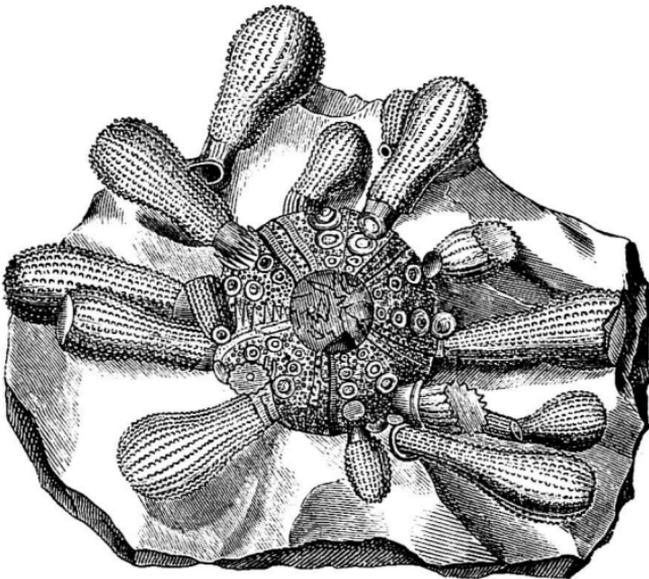


Fig. 364. — *Cidaris clavigera*, muni de ses baguettes.

tronc de cône posé sur sa grande base, ou encore à une came énorme, dont la valve supérieure s'enroule en spirale. Le test est rempli de cavités et de lacunes, ordinairement séparées par des diaphragmes parallèles, simulant les cloisons de la coquille des cépha-

lopodes; il est, en outre, criblé fréquemment de perforations tubulaires, qui ne sont pas sans analogie avec celles de certains bra-

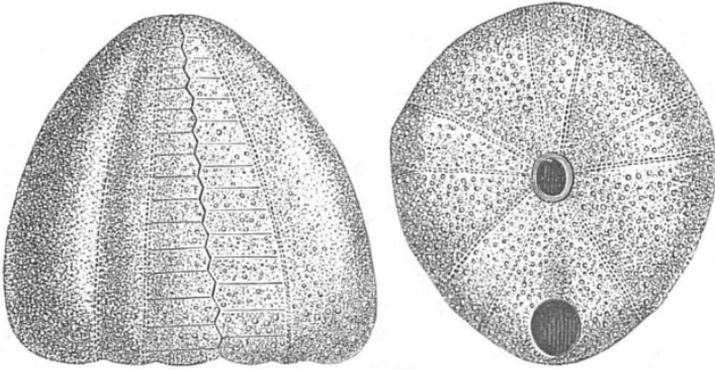


Fig. 365. — *Galerites albogalerus*.

chiopodes. L'animal n'habitait qu'une portion assez restreinte de la

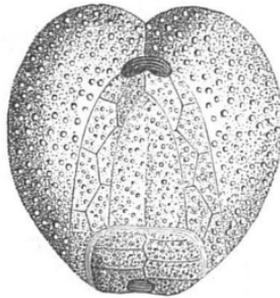


Fig. 366. — *Micraster cor-anguinum*.

valve inférieure, le reste se trouvant occupé par les vacuoles; cette

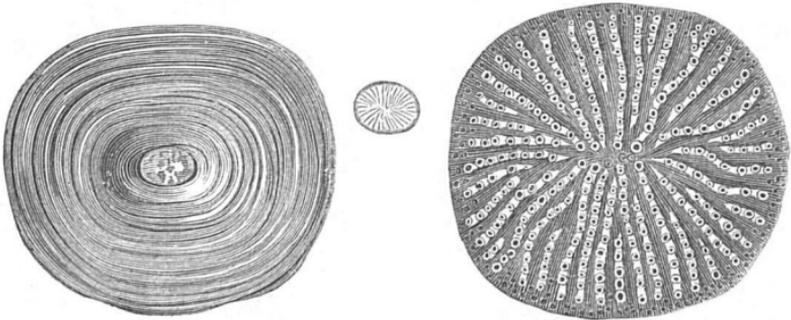


Fig. 367. — *Lichenopora organisans*.

valve ressemblait ordinairement à un cône dressé sur sa pointe, tandis que la supérieure, où se remarquent surtout les tubulures,

était tantôt plate et operculiforme (*Hippurites*), tantôt contournée comme celle des dicéras (*Caprines*). La cavité habitée par l'animal avait souvent en dedans des piliers verticaux ou des arêtes plus ou

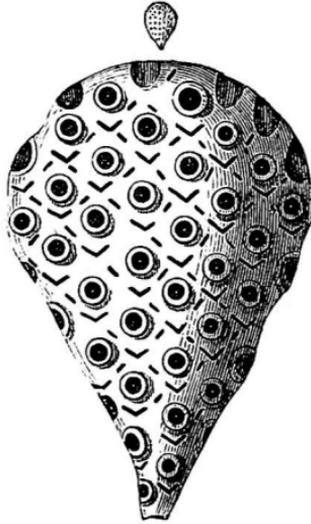


Fig. 368. — *Eschariflora flabellata*.

moins en saillie. On remarque les empreintes des deux muscles abducteurs des valves, fort rapprochés l'un de l'autre, mais on n'a découvert aucune trace du ligament antagoniste, destiné à ouvrir la

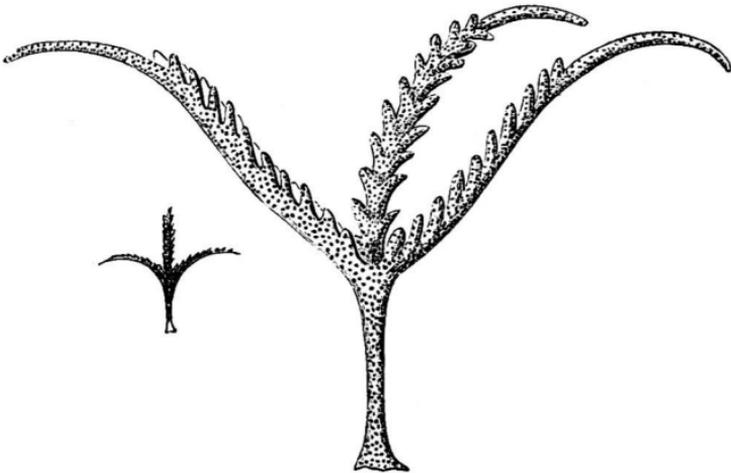


Fig. 369. — *Semicytis rugosa* ; grandeur naturelle.

coquille. Ce ligament n'existait pas, fait unique dans la classe des acéphales ; de sorte que ce n'était que par une espèce de dilatation musculaire, que l'animal pouvait soulever son opercule. Des dents

cardinales, très-fortes et très-longues, au nombre de trois chez les

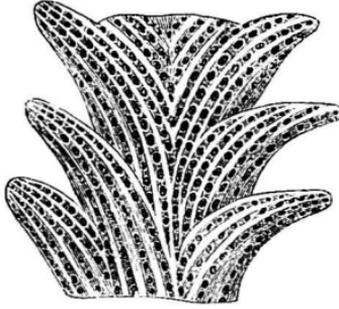


Fig. 370. — *Semicypris rugosa*; portion grossie.

hippurites, dont une grande et deux petites, étaient fixées au-des-

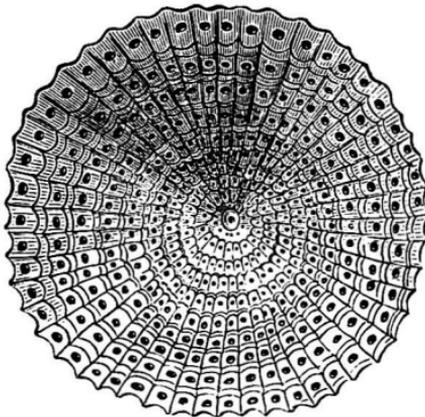


Fig. 371. — *Lunulites regularis*.

sous de la petite valve, dont elles régularisaient le mouvement, en

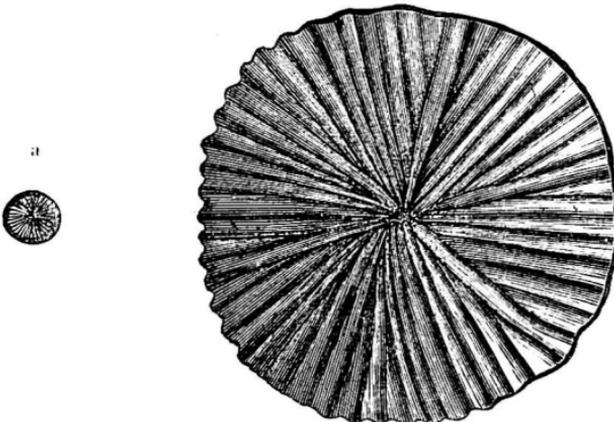
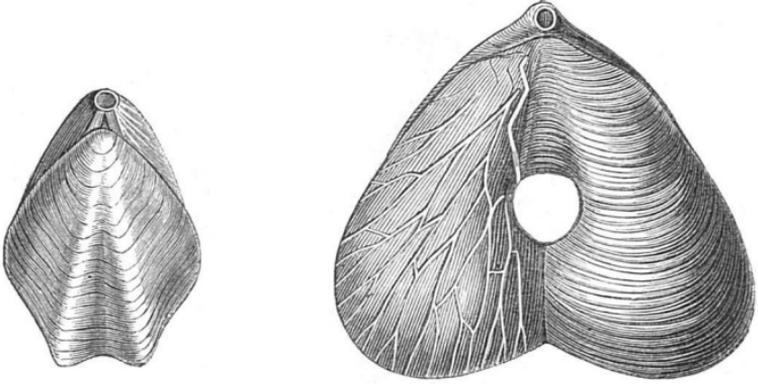


Fig. 372. — *Lunulites regularis*. — a, grandeur naturelle.

glissant dans des rainures correspondantes de la grande valve (fig. 377, 378, 379, 380).

Les principaux genres des rudistes sont les *hippurites*, les *sphérulites*, les *radiolites*, les *caprines*, les *caprotines*, etc. (fig. 381, 382, 383, 384, 385). Leurs espèces vivaient le plus souvent en colonies agglomérées, formant des bancs très-étendus, où les individus de tout âge étaient quelquefois soudés les uns aux autres par

Fig. 373. — *Terebratula prælonga*.Fig. 374. — *Terebratula diphyoides*.

la substance même de la coquille. Les rudistes constituent d'ailleurs, dans le terrain crétacé, un certain nombre d'associations ou niveaux extrêmement caractéristiques, et bien connus des géologues. Leurs espèces abondaient surtout dans le bassin du sud-

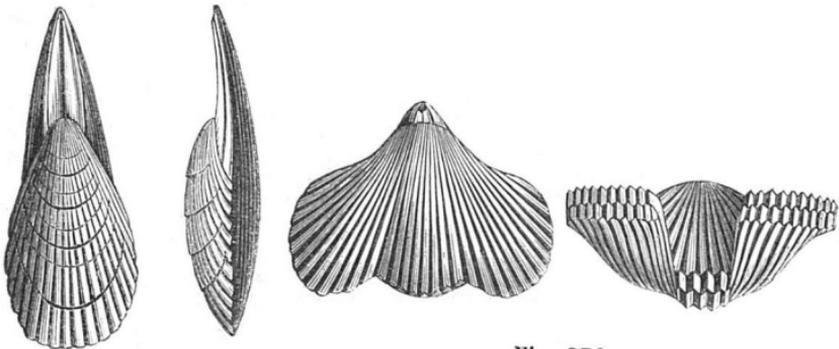


Fig. 375.

*Terebrirostra neocomiensis*.

Fig. 376.

*Rhynchonella vespertilio*.

ouest de la France ; elles n'ont guère dépassé, au nord, le 45<sup>e</sup> parallèle, nouvel indice d'un abaissement probable de la température.

Parmi les acéphales pleuroconques, les genres les plus caractéristiques sont : *Ostrea* (y compris les sous-genres *Exogyra* et *Gryphaea*), *Plicatula*, *Spondylus*, *Pecten* (y compris le sous-genre *Janira*), *Hinnites*, *Lima*, *Inoceramus*, *Gervilia*, *Perna*, *Avicula*, *Chama* (fig. 386,

387, 388, 389); parmi les orthoconques integropalléales : *Pinna*, *Mytilus*, *Nucula*, *Pectunculus*, *Trigonia*, *Arca*, *Cardita*, *Astarte*, *Opis*,



Fig. 377. — Valve inférieure d'*Hippurites radiosus*, laissant voir les piliers.

*Crassatella*, *Lucina*, *Corbis*, *Isocardia*, *Cardium*, *Cyprina* (fig. 390, 391, 392); parmi les sinupalléales : *Venus*, *Petricola*, *Saxicava*,

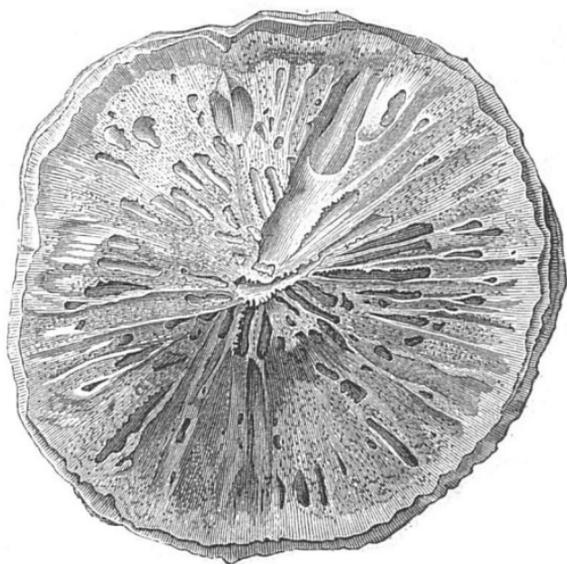


Fig. 378. — Jeune individu vu en dessus, et montrant toute la surface de la valve supérieure.

*Arcopagia*, *Tellina*, *Thracia*, *Anatina*, *Corbula*, *Mactra*, *Pholadomya*, *Panopæa*, *Solecurtus*, *Pholas*, *Teredo*, *Gastrochæna*, etc. (fig. 393). Parmi les gastéropodes, j'indiquerai : *Bulla*, *Dentalium*, *Patella*,

*Emarginula, Cerithium, Buccinum, Pleurotoma, Pyrula, Fusus,*

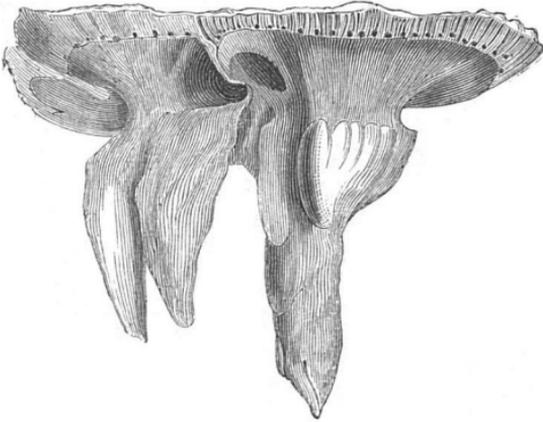


Fig. 379. — Valve supérieure, munie de ses dents cardinales.

*Triton, Mitra, Voluta, Conus, Pterocera, Cypræa, Pleurotomaria,*



Fig. 380. — Section d'une hippurite, montrant ses deux valves en place.

*Solarium, Turbo, Trochus, Nerita, Natica, Avellana, Nerinea, Chem-*

*nitzia*, *Eulima*, *Scalaria*, *Turritella*, *Rissoa* (fig: 394, 395, 396, 397, 398). Il en est un peu, de ce dernier ensemble, comme de la

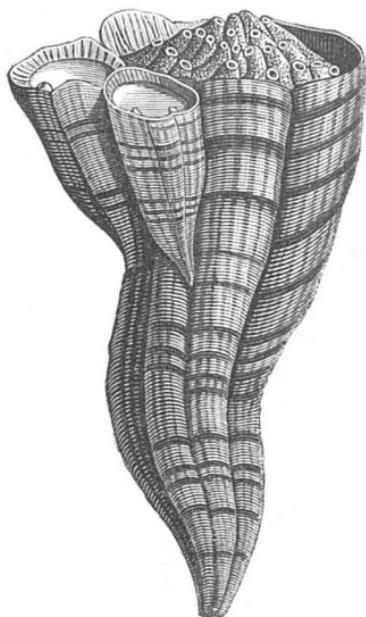


Fig. 381. — Groupe d'Hippurites Toucasianus à différents âges.

faune du trias, qui renferme, en proportions à peu près égales, un

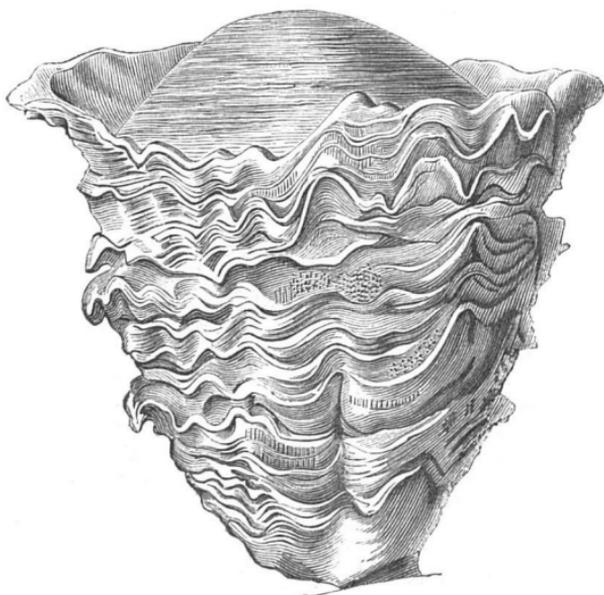


Fig. 382. — Radiolites mamillaris.

mélange de types paléozoïques et de types secondaires, ces derniers l'emportant néanmoins. Ici, c'est un mélange de types

secondaires et de types néozoïques, et ceux-ci prédominent, au moins vers la fin de l'époque. Plus de la moitié des genres de

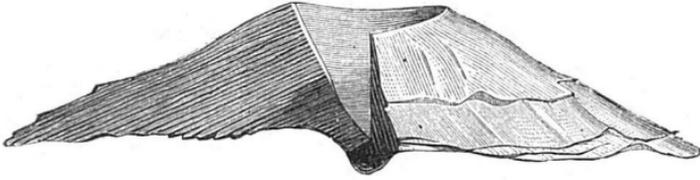


Fig. 383. — *Radiolites agariciformis*.

gastéropodes énumérés plus haut font leur apparition dans le terrain

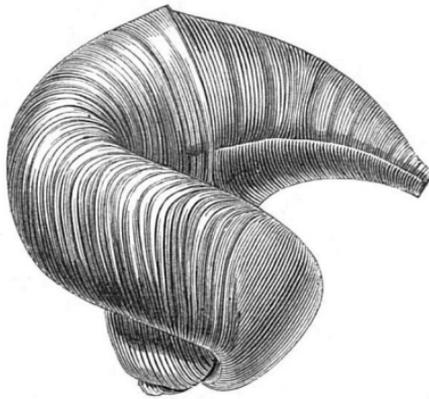


Fig. 384. — *Caprina adversa*.

crétacé, ainsi que beaucoup d'autres moins importants, qui n'ont

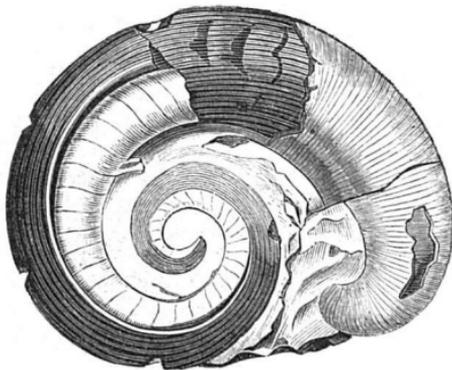


Fig. 385. — *Caprinella triangularis*.

point été mentionnés; et tous pullulent dans nos mers actuelles. Les nérimées et quelques genres de l'époque secondaire disparaissent à jamais.

**Ammonitides.** — Les céphalopodes *ammonitides* ont ici leur maximum. Ils offrent une profusion de types qui n'a son égale qu'à l'époque silurienne, dans la famille des nautilides. Ces types sont d'ailleurs construits sur le même plan ; de sorte que les ammonites crétacées correspondent aux nautilides siluriens, terme pour terme, genre pour genre, ainsi qu'il est facile de s'en convaincre en com-



Fig. 386.  
Ostrea (Exogyra) Columba.

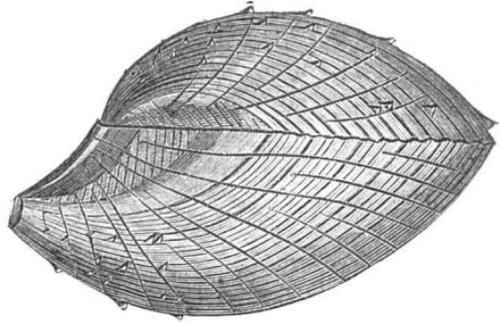
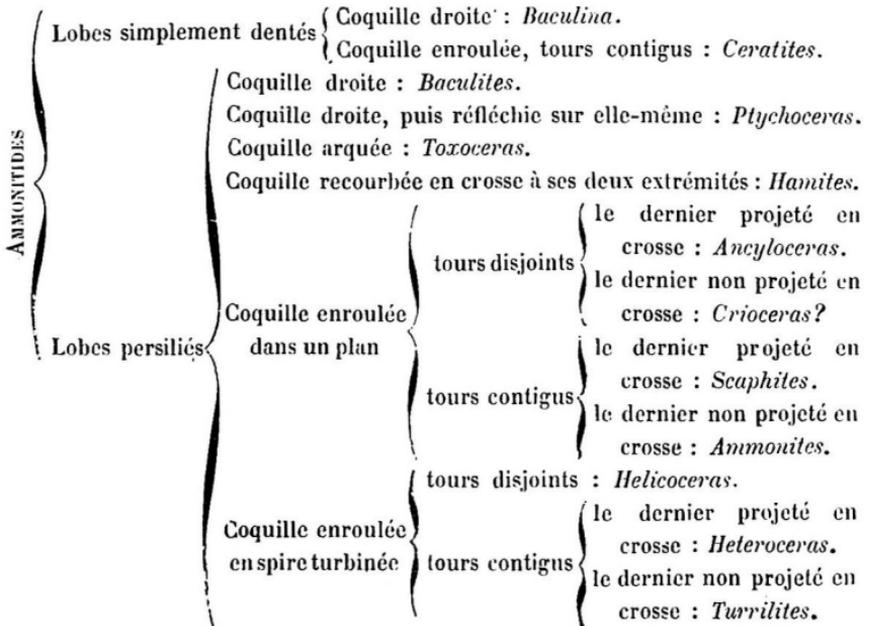


Fig. 387.  
Spondylus truncatus.

parant le tableau ci-dessous à celui de la page 549 ; mais il y a encore plus de variété à l'époque crétacée (fig. 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408).



Le genre *Crioceras* est marqué d'un point de doute, parce que les

spécimens qu'on lui attribue ne sont peut-être que des *Ancyloceras* incomplets. Les *Ceratites*, qui paraissent manquer dans le terrain jurassique, se retrouvent ici; mais ils offrent, dans la forme de leurs cloisons, des particularités qui les rapprochent des ammonites, ce

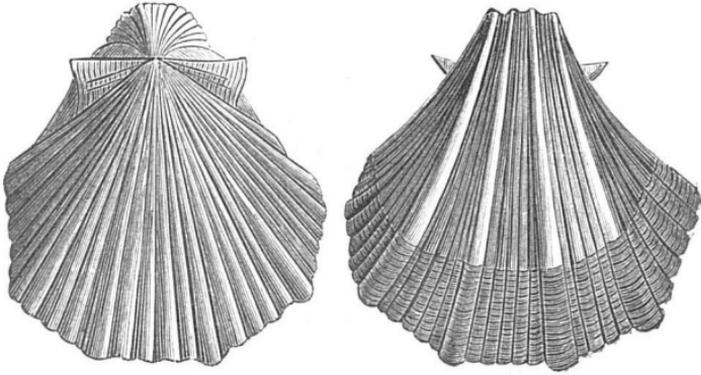


Fig. 388. — Pecten (Janira) quinquecostatus.

qui prouve que ces deux genres, ainsi que la plupart de ceux des tentaculifères, sont fort artificiels. Comme à l'époque jurassique, le genre *Ammonites* prime tous les autres. Il est surtout représenté

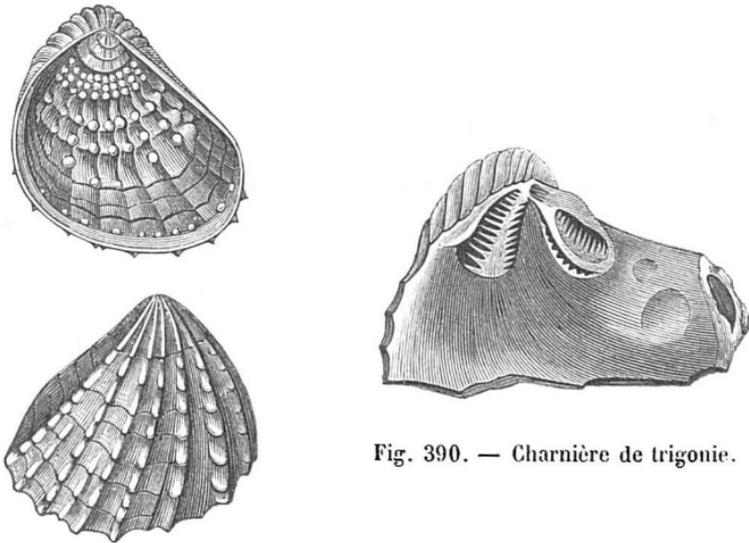


Fig. 390. — Charnière de trigonie.

Fig. 389. — Plicatula radiola.

par les formes à carène saillante de la section des *cristati*; par les formes à carène tuberculeuse de la section des *pulchelli*; par les formes sans carène, mais à dos tranchant de la section des *clypei-formi*; par celles à dos sillonné du groupe des *dentati*; par celles

à dos aplati des groupes des *flexuosi*, des *compressi* et des *anguli-*

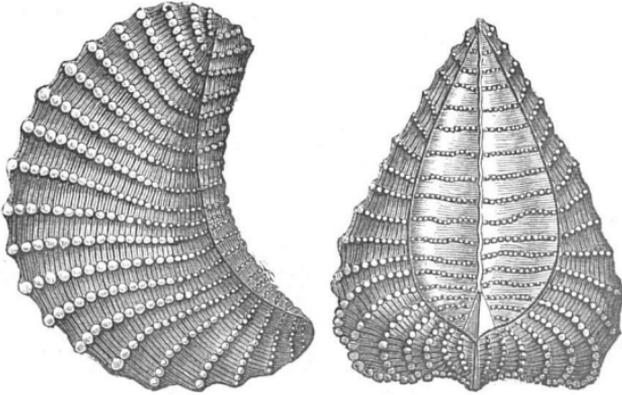


Fig. 391. — *Trigonía aliformis*.

*costati*; enfin par celles à dos arrondi des groupes des *heterophylli*,

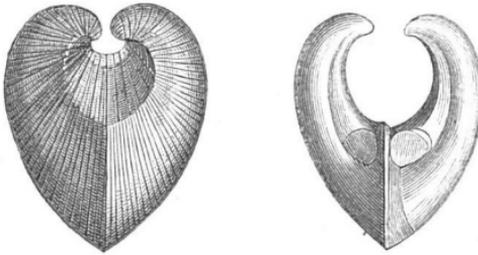


Fig. 392. — *Opis Hugardiana* et son moule intérieur.

des *ligati* et des *fimbriati* (fig. 409, 410, 411, 412).

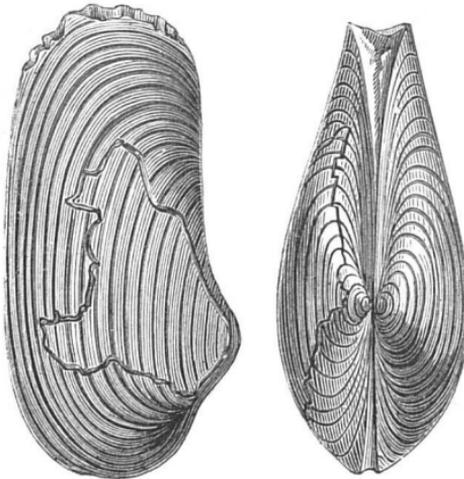


Fig. 393. — *Panopœa plicata*.

Les ammonites s'éteignent dans le terrain crétacé, à partir duquel

les céphalopodes tentaculifères se trouvent réduits au genre nautilus. On voit que les destinées des deux familles qui composent ce sous-ordre sont diamétralement opposées : les nautilides offrent, à leur



Fig. 394.  
*Cerithium aptiense.*

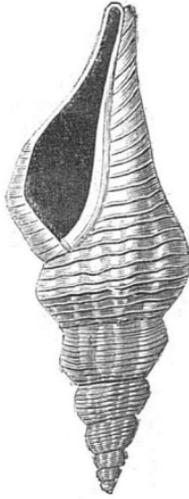


Fig. 395.  
*Fusus Renauxianus.*

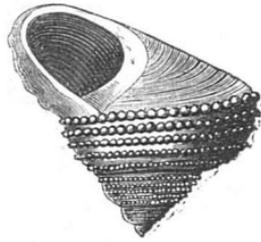


Fig. 396.  
*Turbo Gresslyanus.*

début, une richesse inouïe de formes et d'espèces, et déclinent rapidement pour se trouver réduits à un genre unique ; les ammo-

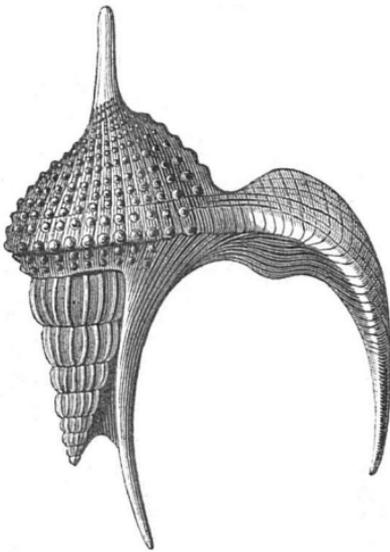


Fig. 397. — *Pterocera (Rostellaria) ornata.*

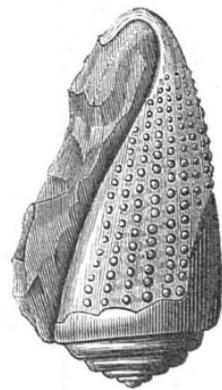


Fig. 398. — *Conus tuberculatus.*

nitides (comprenant tous les types à cloisons sinueuses) commencent timidement par un genre (goniatite), puis vient un second (elymnie), et cette famille traverse ainsi quatre terrains ; elle

prend ensuite une marche rapidement ascendante, et disparaît au moment où elle vient d'atteindre son maximum.

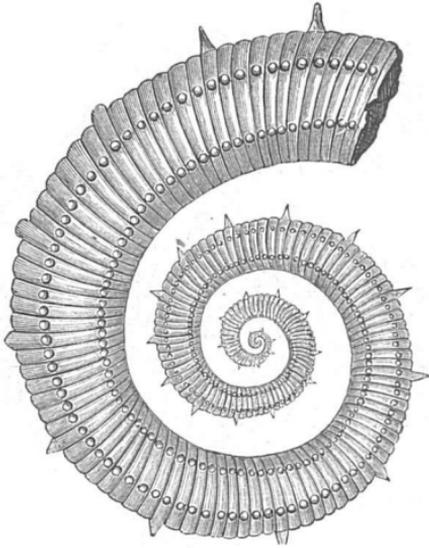


Fig. 399. — Crioceras.

**Acétabulifères.** — Les céphalopodes *acétabulifères* sont en grande décadence ; ils perdent leur genre le plus important, savoir les

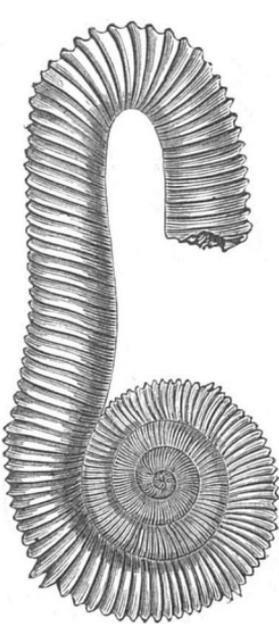


Fig. 400. — Scaphites Yvanii.

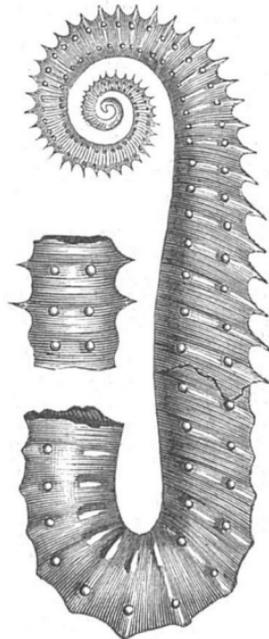


Fig. 401. — Ancyloceras Matheronianum.

bélemnites, dont toutes les espèces se trouvent réparties dans le terrain jurassique et le terrain crétacé (fig. 413, 414, 415, 416).

**Articulés.** — Les *articulés* jouent un rôle assez modeste, les *annelides* restant toujours peu nombreux, et les *crustacés* étant en déclin, relativement à l'époque précédente. Cependant les *insectes* s'enrichissent de quelques familles nouvelles.

**Vertébrés.** — Quoique l'ordre des ganoïdes soit en pleine décadence, les *poissons* font assez bonne figure dans le terrain crétacé, où dominent les genres à écailles cornées, ou *téléostéens*.

Toujours nombreux, les *reptiles* commencent néanmoins à décliner. On voit s'éteindre les énaliosauriens, les ptérodactyles et les dinosauriens. Ces derniers arrivent cependant à leur maximum, et

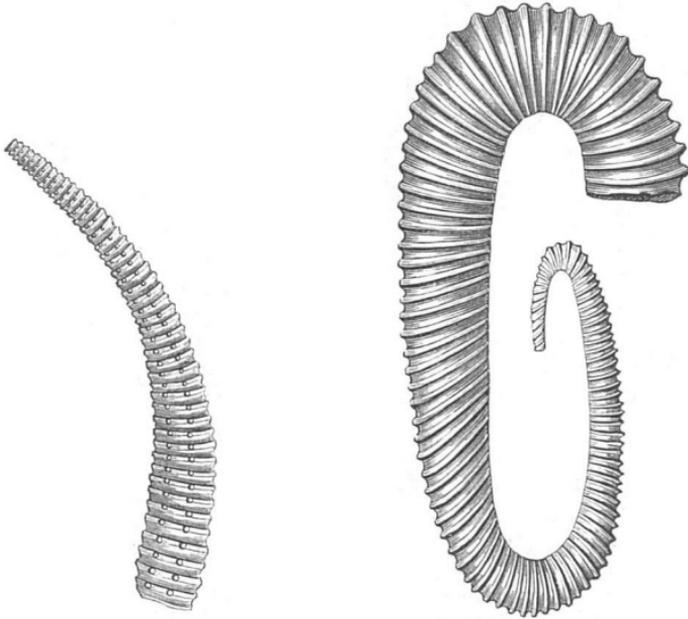


Fig. 402.—Toxoceras Emericianum.

Fig. 403. — Hamites rotundus.

sont représentés par des types gigantesques (*mégalosaure, hyléosaure, pélorosaure, iguanodon*) (fig. 417). Toutes les formes si caractéristiques de l'époque secondaire disparaissent ainsi peu à peu, et le vide est imparfaitement comblé par l'apparition des *crocodiles* proprement dits et de quelques grands sauriens, dont l'un (*mosasaure*) était de taille gigantesque (fig. 418).

**Oiseaux et mammifères.** — En fait d'*oiseaux*; on n'a guère trouvé que des ossements d'échassiers; puis, tout récemment, les *Ichthyornis* signalés par M. Marsh dans les couches crétacées supérieures du Kansas : singuliers oiseaux, qui se rapprochent des vertébrés inférieurs par leurs vertèbres biconcaves, et par les dents coniques dont leur bec était armé. Les *mammifères* n'on.

point laissé de vestiges; ce qui ne veut pas dire que la filiation

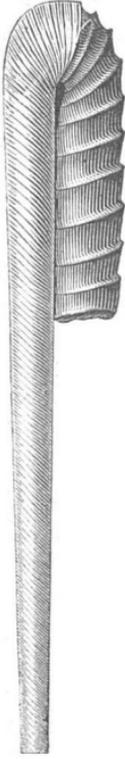


Fig. 404.  
Ptyhoceras Puzosianum.

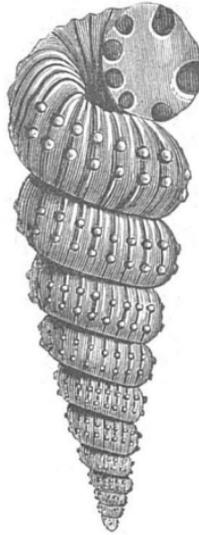


Fig. 405.  
Turrilites catenatus.

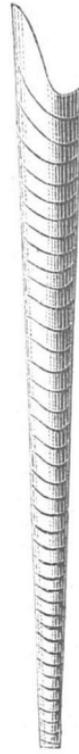


Fig. 406.  
Baculites anceps.

de leurs espèces ait été interrompue pour tout autant.

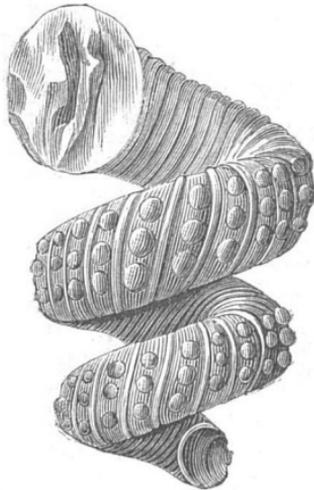


Fig. 407. — Helicoceras Robertianum.

**Caractéristiques de la faune crétaéc.** — En résumé, l'époque

crétacée voit finir une foule de types secondaires (inocérames, gervilies, nérinées, ammonitides, bélemnites, dinosauriens, ptérodactyles, énaliosauriens, etc.), dont la perte est imparfaitement

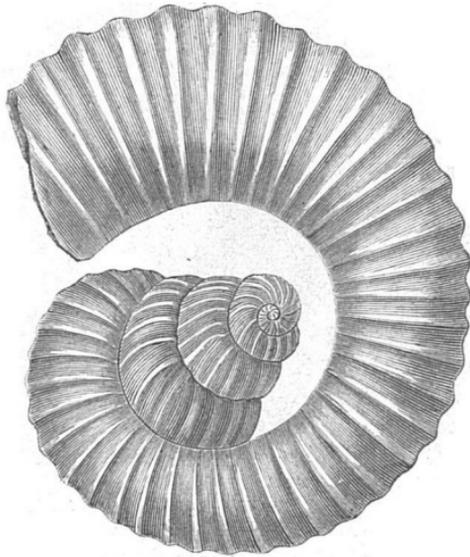


Fig. 408. — *Heteroceras Emericianum*.

compensée par l'apparition de quelques mollusques de type tertiaire et par la multiplication des poissons téléostéens; elle est essentiellement caractérisée par les reptiles dinosauriens, les ammo-

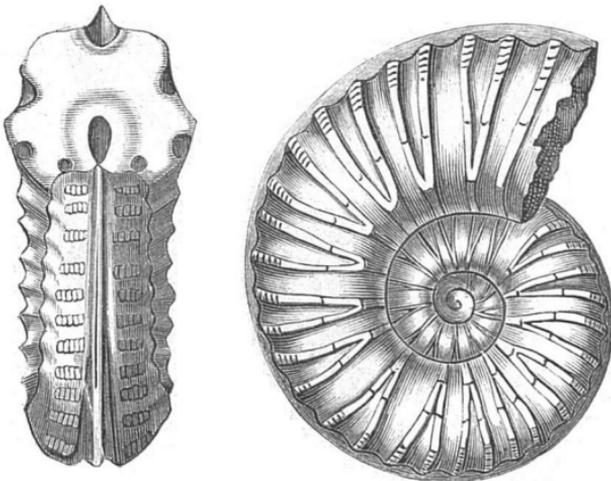


Fig. 409. — *Ammonites inflatus*.

nitides droites, en hélice ou à tours non contigus et les rudistes.

**Flore crétacée.** — Le nombre connu des végétaux crétacés ne dépasse guère 200 à 300 : ce sont principalement des fougères, des

conifères, puis des plantes cotylédonnées, rapportées, quelquefois avec doute, aux familles des naïadées, des palmiers, des smilacées, des amentacées, des myricées, des acérinées, des araliacées, des

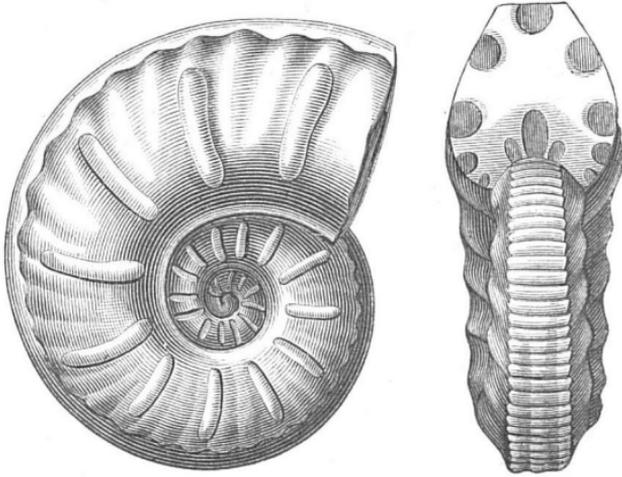


Fig. 410. — *Ammonites radiatus*.

tiliacées, des magnoliacées, etc., mais dont le plus grand nombre n'a pu être déterminé avec une précision suffisante.

**Divisions de la faune crétacée.** — Abstraction faite des couches

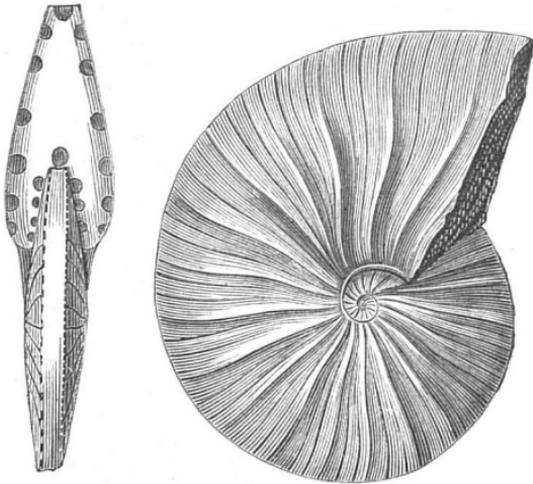


Fig. 411. — *Ammonites Beaumontianus*.

d'eau saumâtre par lesquelles débute la formation, et qui ne sont que des accidents locaux, le terrain crétacé de l'Europe a été divisé, selon les points de vue, en quatre ou en huit grands étages, eux-mêmes subdivisés en assises ou massifs renfermant des faunes assez distinctes; mais ces divisions ne s'appliquent pas toujours aux contrées

éloignées. En aucun lieu du monde, peut-être, on ne trouve le terrain parfaitement complet, et muni de tous les horizons fossilifères constatés dans les bassins de l'Europe occidentale, où ils

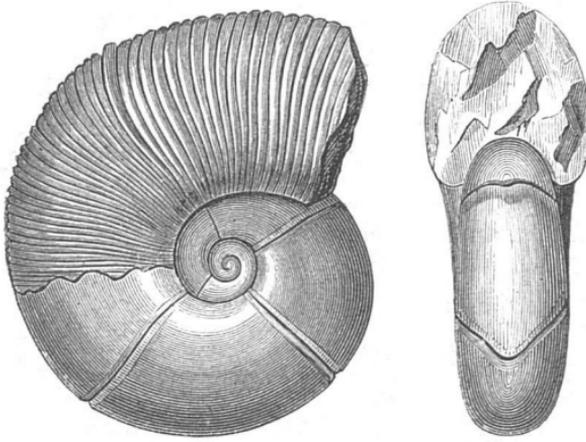


Fig. 412. — Ammonites Mayorianus.

n'existent cependant jamais en totalité, au même endroit. La partie moyenne un peu supérieure (craie tuffeau) est la plus généralement

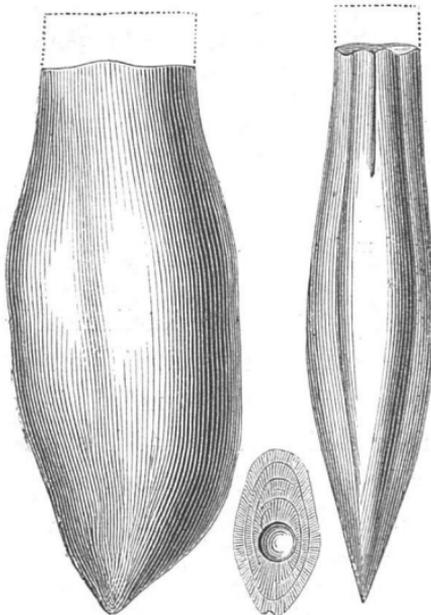


Fig. 413. — Belemnites dilatatus.

représentée. En Europe même, le nombre des divisions a singulièrement varié, en raison du point de vue particulier, et, si j'osais le dire, de l'imagination des géologues; et dans tel bassin, les étages

ont été multipliés presque à l'infini. Cela signifie que la faune crétacée est plus riche et mieux connue que la plupart des faunes antérieures; mais, au fond, elle leur ressemble absolument en ce qui concerne son évolution : les divisions qu'on essaye d'y introduire ne sont pas plus naturelles, et les passages de fossiles existent à tous les niveaux. Pendant longtemps on a pensé que le terrain crétacé se trouvait parfaitement isolé de ses voisins (jurassique et tertiaire), et ne possédait aucun de leurs fossiles; mais aujourd'hui, la chose est au moins douteuse. Dans certaines contrées de la grande chaîne des Alpes, on ne sait encore au juste où faire passer la limite



Fig. 414. — *Belemnites latus*.



Fig. 415. — *Belemnites latus*.

entre le terrain jurassique et le crétacé, tellement les fossiles se confondent ou paraissent se confondre. En Californie, les fossiles crétaçés et les tertiaires sont tellement mélangés, qu'il est presque impossible de classer nettement les assises qui les renferment. Plusieurs animaux crétaçés ont traversé toute l'époque tertiaire, s'il est vrai qu'on en retrouve encore quelques-uns vivants dans le fond des mers. D'ailleurs, une interruption complète, dans l'Europe occidentale, entre la faune jurassique et la faune crétaçée, ou entre celle-ci et la faune tertiaire, en admettant qu'elle ait eu lieu, n'aurait rien qui dût nous surprendre, et ne serait qu'une répétition de plus, d'un fait qui s'est produit jusqu'à sept fois en Suède, pendant la seule époque silurienne. On ne pourrait donc y attacher grande importance. J'ajouterai que l'étage crétacé le plus inférieur ne ren-

ferme que des genres jurassiques, au moins à sa base, et que ses assises les plus anciennes auraient pu être réunies, sans grave in-

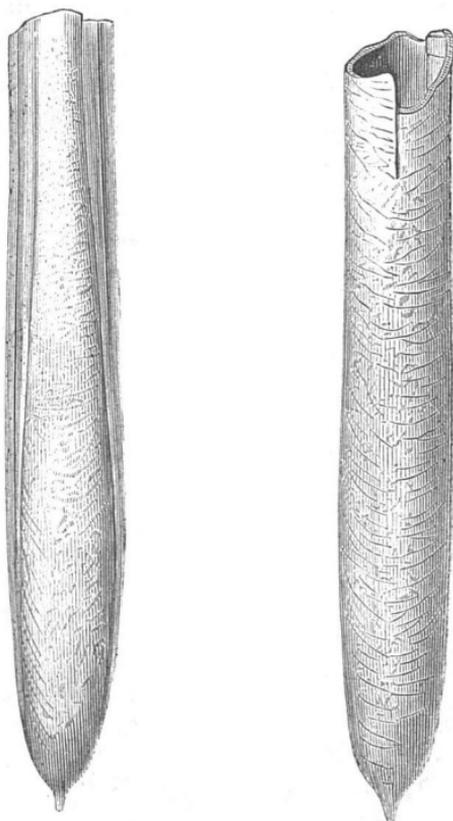


Fig. 416. — Belemnites (*Belemnitella*) *mucronatus*.

convénient, à la formation jurassique, si elles n'en étaient séparées par les couches d'eau douce de Purbeck et de Weald.

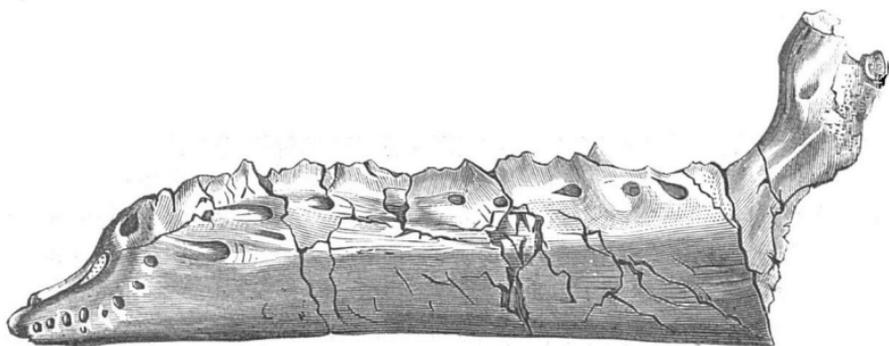


Fig. 417. — Mâchoire inférieure de l'*Iguanodon* *Mantellii*.

**Distribution géographique des fossiles; mouvements du sol, etc.**  
— Je craindrais de fatiguer le lecteur en le conduisant dans les

différentes parties du monde, comme je l'ai fait à propos des autres terrains, et je dirai sommairement que l'époque crétacée ne se distingue en rien des précédentes, sinon par une plus grande variété en ce qui a trait aux oscillations du sol, aux déplacements des mers, au cantonnement des faunes et à la plus large dispersion, sur le globe, de certaines espèces, particulièrement caractéristiques. Cependant il est encore deux points sur lesquels je dois appeler l'attention.

**Craie de l'océan Atlantique.** — Je veux parler d'abord de la craie qui se constitue de nos jours, et en quelque sorte sous nos yeux, dans le fond de l'océan Atlantique. C'est de véritable craie, qui ne se distingue en rien de la roche de même nom, et dont les couches superficielles, en voie de formation, ne sont autre chose que

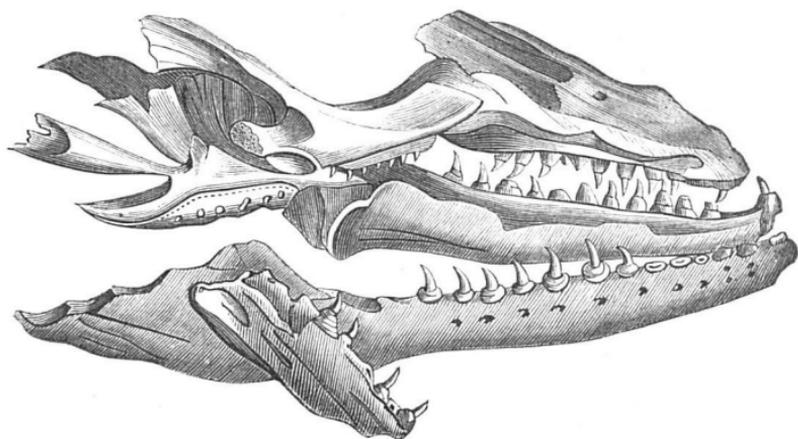


Fig. 418. — Tête du Mosasaurus Camperi.

cette boue à globigérines dont il a déjà été question, laquelle consiste presque entièrement en carapaces de foraminifères et de diatomées. Ces foraminifères paraissent spécifiquement identiques avec ceux du terrain crétacé, de même que le *Terebratulina caput-serpentis*, encore vivant. S'il en est réellement ainsi, l'époque crétacée a continué dans le fond de certaines mers, pendant qu'elle avait pris fin dans d'autres régions, où elle a été remplacée par les époques subséquentes. Il en résulte que, dans certaines circonstances, des fossiles crétacés peuvent se trouver associés à des fossiles tertiaires ou quaternaires, de même qu'on rencontre quelques espèces crétacées dans le fond de mers dont les rivages sont peuplés par les mollusques de l'époque actuelle. Quoique les exemples de la contemporanéité des faunes de divers âges géologiques ne commencent

guère qu'à partir de la période crétacée, il n'est pas certain que des faits analogues n'aient eu lieu en tout temps. Le contraire paraît même infiniment probable; et c'est une raison de plus de contrôler les données de la paléontologie, et de ne pas se presser d'interpréter les faits qui semblent anormaux ou exceptionnels au premier abord. On me pardonnera de revenir sur ces idées, qui trouvent naturellement leur place dans un paragraphe consacré au terrain crétacé.

**Climat du globe à l'époque crétacée.** — Le second point qui me reste à toucher est relatif au climat. Jusqu'à présent, la distribution, à la surface du globe, des animaux et des plantes, et, en même temps, la nature des genres et des familles qui composaient les faunes et les flores, indiquent, à toutes les époques précédentes, une température uniforme et élevée, point excessive à l'équateur, et au moins tropicale jusque sous le 76° degré de latitude nord. En un mot, sur tout le globe régnait le climat de la zone torride actuelle. Durant cette longue suite de siècles, il ne semble pas que la chaleur ait subi les moindres fluctuations; tout au plus a-t-on essayé d'indiquer, d'après l'aspect des sédiments, les périodes de sécheresse et d'humidité relatives. Vers le milieu de l'époque crétacée, les choses prennent une autre tournure, et l'on commence à apercevoir les premiers indices d'un refroidissement dans le nord des continents. Ces indices sont: l'absence de récifs et la rareté des coraux sur l'emplacement de l'Europe, l'absence ou la rareté des rudistes au nord du 45° degré de latitude, enfin l'apparition, dans les mêmes parages, des familles végétales des amentacées, des acérinées et de plusieurs autres, qui ne pénètrent qu'exceptionnellement dans les régions tropicales.

#### 4. — *Époque néozoïque.*

**Époque néozoïque.** — Cette époque a été ainsi dénommée parce qu'elle a vu apparaître les animaux les plus récents. Encore plus meubles et plus friables que les roches crétacées, les roches néozoïques sont aussi beaucoup plus variées. Elles ne se forment guère, d'ailleurs, par voie de sédiment, que pendant le premier tiers de la période qui correspond au terrain tertiaire, celles des terrains supérieurs (quaternaire et contemporain) ne consistant qu'en traînées de charriage et en dépôts incohérents : dunes, alluvions, cordons littoraux, etc. On peut donc affirmer, sans aucune exagération, que

toutes les roches néozoïques solides sont tertiaires. Toujours fréquents, les produits éruptifs annoncent un nouvel ordre de choses. Si l'on trouve encore quelques porphyres et même quelques granites, la plupart des roches ignées sont des trachytes, des phonolites, des basaltes et des laves. L'époque néozoïque inaugure donc l'ère des phénomènes volcaniques ; pour la première fois, les roches ignées se montrent bulleuses et boursoufflées, et surgissent accompagnées de cendres et de scories, qui témoignent d'un énorme dégagement de gaz. Vers la fin de la période apparaissent les volcans à cratères. Encore plus incessants qu'aux époques immédiatement antérieures, les mouvements d'oscillation du sol sont démontrés par les innombrables alternances d'assises d'eau douce et d'eau marine, pendant presque toute la durée de l'époque tertiaire. Au commencement de la période, les terres fermes avaient à peu près gardé leur ancienne configuration, et l'on reconnaît encore les trois bassins français, dont les isthmes seulement ont gagné en largeur ; mais bientôt les continents se trouvent définitivement exondés, et arrivent peu à peu à leur configuration actuelle. C'est pendant la période néozoïque que s'élèvent ou prennent leur dernier relief les plus hautes montagnes du globe, par exemple les Alpes, l'Himalaya et les Cordillères.

Cette période comprend trois terrains.

**TERRAIN TERTIAIRE.** — Ce terrain conservera probablement le nom fort commode, mais d'ailleurs tout à fait impropre, sous lequel on l'a désigné, parce qu'il figurait le troisième dans l'ancienne série des formations (primaire, secondaire, tertiaire), et qu'il succède aux terrains secondaires. Il est entièrement marin dans certaines contrées ; mais presque partout, et notamment dans l'Europe centrale, les couches marines et les couches d'eau douce alternent fréquemment, surtout dans les deux tiers inférieurs. Aussi les roches y sont-elles extrêmement variées. Elles consistent en sables plus ou moins purs, quelquefois cimentés de manière à fournir des grès de diverse consistance ; en marnes et en argiles ; en calcaires assez rarement compactes, mais très-habituellement grossiers, friables, poreux, tufacés ou vermiculés à la manière du travertin. Le gypse, le sel gemme, les minerais de fer, le soufre, les rognons siliceux, les lignites, y abondent, et forment quelquefois des lentilles ou des amas fort importants. Plusieurs roches proviennent directement des profondeurs du globe, d'où elles ont été injectées dans des bassins plus ou moins circonscrits : tels sont les sables, les

argiles et les fers sidérolithiques du Jura bernois, et peut-être les grès de Fontainebleau. Parfaitement horizontales et encore plus intactes que dans les formations antérieures, les assises tertiaires ne se montrent guère rompues et soulevées que dans les montagnes. C'est là seulement aussi qu'elles ont éprouvé les effets du métamorphisme ; mais alors leur transformation est aussi complète que celle des terrains beaucoup plus anciens, et l'on rencontre, dans les Alpes et ailleurs, des schistes ardoisiers et des calcaires noirs, durs et brillants, analogues à ceux du terrain silurien. Il en est de même des fossiles, qu'on distingue à peine des coquilles vivantes dans les couches intactes, et qui sont entièrement minéralisés, et souvent à l'état de moule dans les couches métamorphiques. La puissance du terrain tertiaire dépasse quelquefois 3000 mètres, mais il n'est complet peut-être nulle part.

**Faune tertiaire.** — La faune présente un grand intérêt. Absolument dépouillée des formes archaïques particulières aux époques précédentes, elle ressemble tellement à la faune actuelle, que l'on a

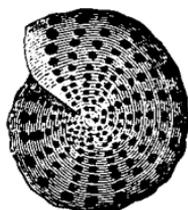
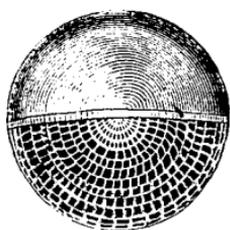


Fig. 419. — Nammulites Puschii.

Fig. 420. — Polystomella rugosa.

pu dire avec raison que nous vivons à l'époque tertiaire. En 1850, elle comptait déjà plus de 15 000 espèces ; M. Barrande en porte le nombre à 16 970, en 1872. Mais il est bon de faire observer qu'elle nous est infiniment mieux connue qu'aucune de celles des époques antérieures, et qu'elle renferme un grand nombre de types qui n'ont pas été conservés dans les terrains plus anciens, où ils existaient probablement. Elle comprend une telle quantité d'animaux à sang froid, que je dois me borner à quelques indications générales en ce qui concerne les embranchements inférieurs du règne animal. Les *spongiaires* déclinent, mais les *foraminifères* se multiplient étonnamment (fig. 419, 420, 421, 422, 423, 424), et les *polypiers* demeurent assez nombreux, ainsi que les *échinodermes* (fig. 425, 426, 427, 428). Les *crinoïdes* et les *brachiopodes* s'acheminent vers leur pénurie actuelle. Au contraire, les mollusques

*acéphales* et *gastéropodes* continuent leur marche ascendante. Pour donner une idée de leur importance, je dirai que M. Deshayes a

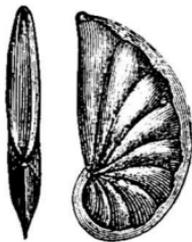


Fig. 421.  
*Cristellaria reniformis*.



Fig. 422.  
*Gaudryina siphonella*.



Fig. 423.  
*Guttulina Austriaca*.

catalogué 1041 acéphales dans le seul bassin de Paris, où le terrain n'est pas complet, et que M. Barrande en indique 3600, en 1872

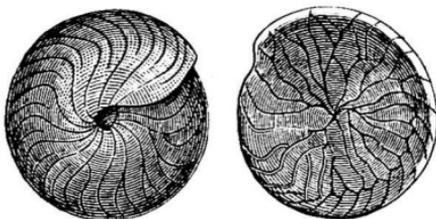


Fig. 424. — *Amphistegina mamillata*.

(fig. 429, 430, 431). Les gastéropodes s'augmentent d'un grand nombre de genres terrestres pulmonés; cette classe compte environ

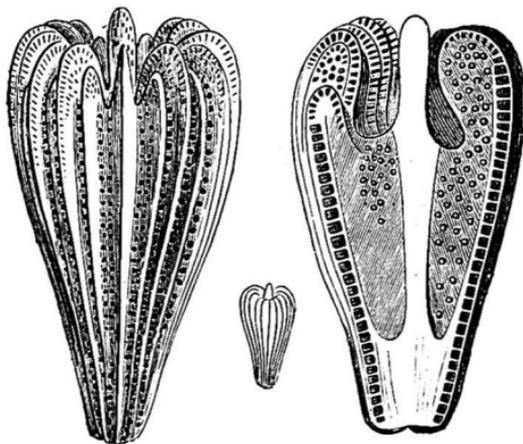


Fig. 425. — *Turbinolia Dixoni*.

6800 espèces (fig. 432, 433, 434, 435). Quelques nautilus sont les seuls représentants de l'ordre, autrefois si riche, des *céphalopodes tentaculifères*; les *acétabulifères* acquièrent plusieurs genres. Rien

d'intéressant non plus en ce qui concerne les animaux *articulés*. Toute l'importance de la faune tertiaire est, en effet, concentrée dans les mollusques et surtout les vertébrés. Parmi ces derniers, les *poissons* écailleux se multiplient beaucoup (fig. 436), tandis que les

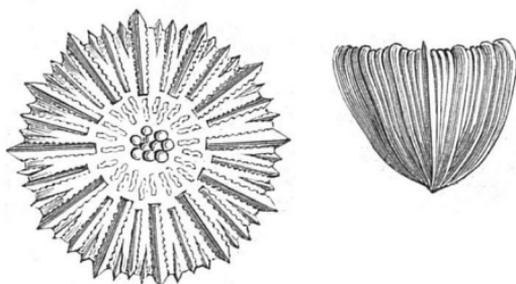


Fig. 426. — *Trochocyathus obesus*.

ganoïdes n'ont plus que de rares représentants. La faune des *reptiles* se rapproche de celle des temps actuels : on remarque de vrais *batraciens*, grenouilles et salamandres ; des tortues, des crocodiles, des lézards et des serpents, qui apparaissent les derniers, tout en étant les

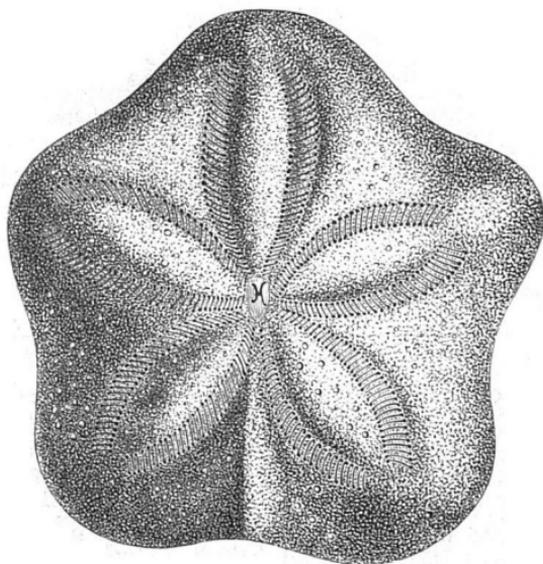


Fig. 427. — *Clypeaster scutellatus*.

plus imparfaits de leur classe (fig. 437, 438). Les *oiseaux* ont laissé des débris assez nombreux, mais assez mal étudiés jusque dans ces derniers temps, de sorte qu'il est prudent d'en ajourner la statistique. Les *mammifères*, au contraire, ont été l'objet de recherches incessantes ; leur importance devient prépondérante, et l'on peut dire que ce sont eux qui donnent à la faune tertiaire son principal

caractère. Tous les ordres y figurent. Ce sont d'abord des *pachydermes* appartenant à des genres éteints, et quelques *carnassiers*,

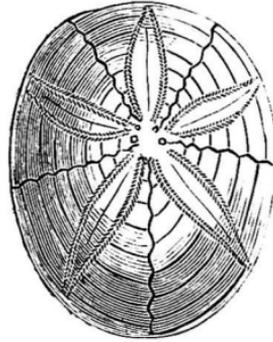


Fig. 428, — Echinolampas Escheri.

quelques *chiroptères*, quelques *rongeurs*; les *proboscidiens* apparaissent ensuite, avec les *amphibies*, les *ruminants*, les *insectivores*.

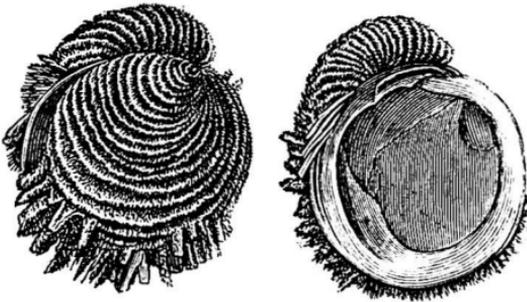


Fig. 429. — Chama lamellosa.

les *quadrumanes* et très-probablement les *binanes*, c'est-à-dire l'homme. Comme les débris des mammifères abondent partout, c'est

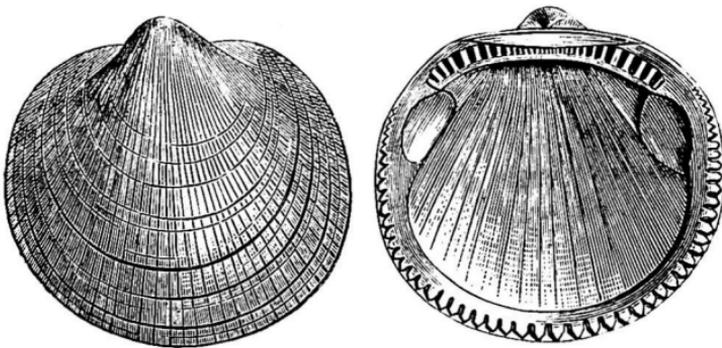


Fig. 430. — Pectunculus pulvinatus.

principalement d'après leur distribution verticale qu'on a établi les subdivisions du terrain tertiaire, et même de la période néozoïque.

Cependant, à partir de l'étage pliocène, c'est-à-dire avant la fin de l'époque, plusieurs ordres déclinent rapidement, après avoir un

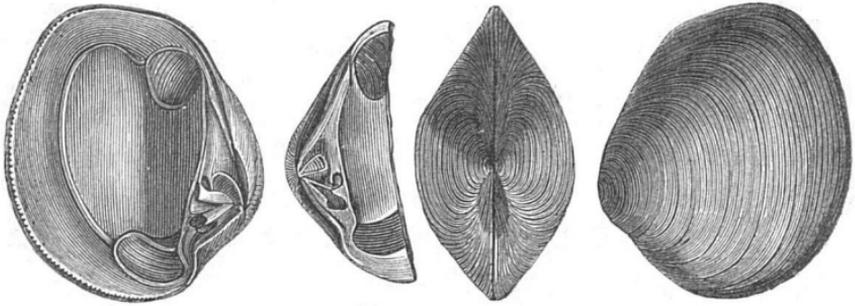


Fig. 431. — *Crassatella tumida*.

instant joui d'une grande prospérité. Ce sont surtout les pachydermes, les proboscidiens et même les carnivores ; et si ces der-



Fig. 432. — *Cerithium giganteum*

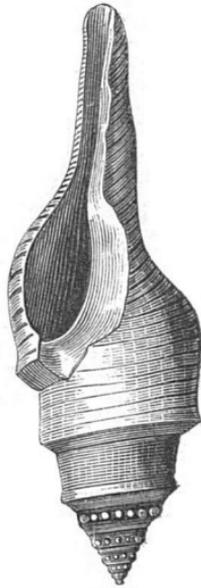


Fig. 433. — *Fusus Noe*.

niers sont aujourd'hui représentés par de plus nombreuses espèces, nous en découvrons chaque jour de nouveaux spécimens éteints.

On ne doit pas oublier non plus que les statistiques des vertébrés

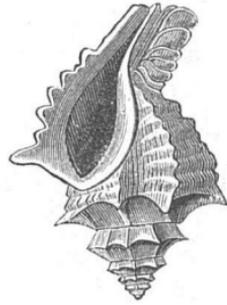


Fig. 434. — *Cerithium lapidum*.

Fig. 435. — *Murex calcitrapa*.

fossiles n'offrent rien d'arrêté, parce que ces animaux ont fré-

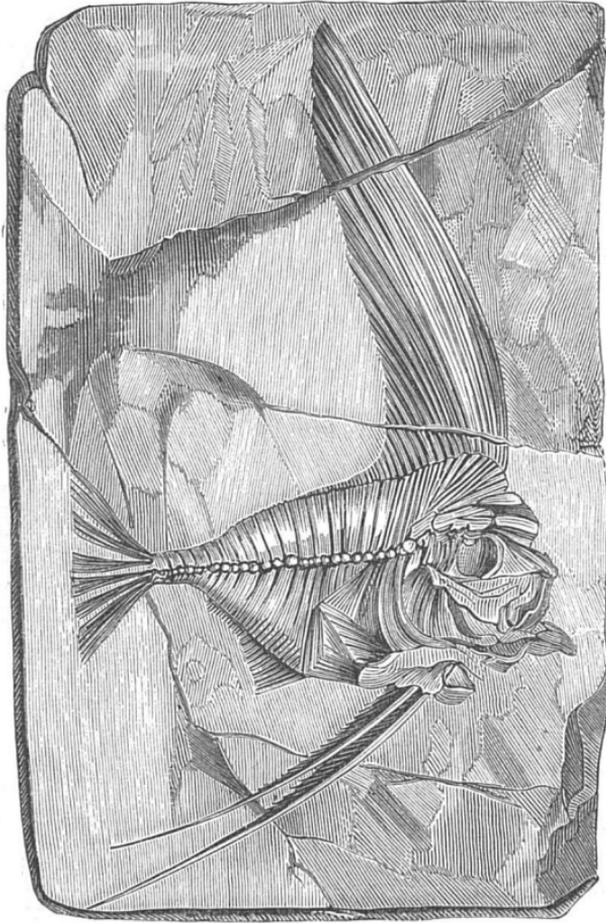


Fig. 436. — *Semiophorus velicans*.

quemment échappé à la fossilisation, ainsi qu'il a été dit, et que les chiffres indiquent toujours des minima.

**Flore tertiaire.** — Fort intéressante, la flore s'est également dépouillée de tous les types archaïques, et se compose principalement des cotylédonnées actuelles. C'étaient des fougères, des bambous, des palmiers, des bananiers, des pandanées, des liliacées, des figuiers, des lauriers, des protéacées, des magnoliers, des styracées, des térébinthacées, des légumineuses, des érables, des noyers, des saules, en un mot, des plantes semblables à celles des pays chauds ou tempérés.

**Divisions de la faune tertiaire.** — Suivant les points de vue, le terrain tertiaire a été divisé en trois ou en cinq étages; mais il importe peu, ces coupures étant aussi artificielles les unes que les autres. La division en trois étages (*éocène, miocène, pliocène*) semble prévaloir. Elle est la plus commode, mais la moins naturelle, l'étage éocène ayant souvent plus d'importance que les deux autres réunis. Plus faciles à étudier, et, partant, mieux connues que celles des terrains antérieurs, les faunes tertiaires offrent aussi plus de variété. Les horizons fossilifères deviennent innombrables, et d'une richesse excessive; mais comme on les voit changer étonnamment de contrée à contrée, il est extrêmement difficile d'en établir le nombre et le parallélisme. Chaque bassin doit être décrit séparément, et ne peut se comparer que d'une manière générale à un autre bassin, souvent fort rapproché. Pour donner une idée de l'extrême variété qui régnait à cette époque, je dirai que la partie inférieure de la



Fig. 437. — Andrias Scheuchzeri (Homo diluvii testis).

formation tertiaire est représentée, dans le bassin de Paris, par une vingtaine d'horizons parfaitement distincts, possédant tous quelque trait minéralogique ou quelques fossiles particuliers, et dont les assises sont tantôt marines et tantôt d'eau douce; au contraire, elle consiste presque uniquement, dans les Pyrénées, le Midi de l'Europe et jusque dans la Chine, en un énorme massif d'un calcaire compacte entièrement marin, d'aspect jurassique, où pullulent les foraminifères qui l'ont fait appeler *calcaire à nummulites*, et où les fossiles se trouvent différemment



Fig. 438. — *Crocodilus Hastingsiae*.

associés. Dans tous les bassins, on observe d'ailleurs des passages de fossiles entre les divers étages ou horizons, et, en général, ces passages sont d'autant plus nombreux, que le niveau dans le terrain se trouve plus élevé. Aussi, l'époque tertiaire se distingue-t-elle mieux de l'époque crétacée que des suivantes : un grand nombre d'espèces miocènes passent à l'étage pliocène, et les mers actuelles, la Méditerranée, par exemple, nourrissent encore une telle quantité de mollusques pliocènes, que la démarcation n'est pas facile à établir entre les sédiments tertiaires et ceux de notre époque. Il est bon d'ajouter que des dragages récents ont amené la découverte de beaucoup d'espèces tertiaires que l'on

croyait éteintes, et qui n'en prospéraient pas moins dans les profondeurs des mers.

**Ordre de succession des mammifères tertiaires.** — J'ai dit que les principaux horizons du terrain tertiaire se trouvent suffisamment caractérisés par les mammifères, dont les genres et les espèces varient beaucoup, suivant le niveau. Il ne sera pas sans intérêt de jeter un coup d'œil sur l'ordre de leur succession. En Europe, les

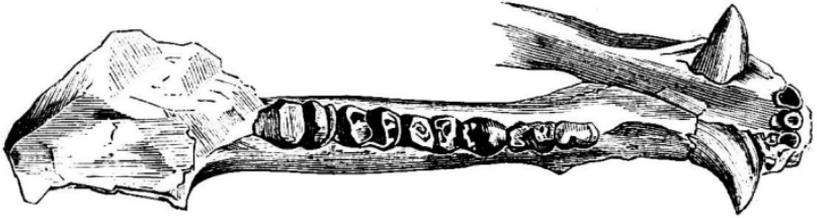


Fig. 439. — *Lophiodon parisiense*.

couches inférieures de l'étage *éocène* (*suessonien*) voient apparaître les premiers monodelphes : ce sont des pachydermes du genre *Coryphodon*, des *Arctocyon* et d'autres carnassiers du genre *Palæonictis*, voisin des genettes. Un peu plus haut, le *calcaire grossier* fournit des pachydermes (*Lophiodon*, *Palæotherium*, *Dichobune*, *Anchilopus*, etc.)

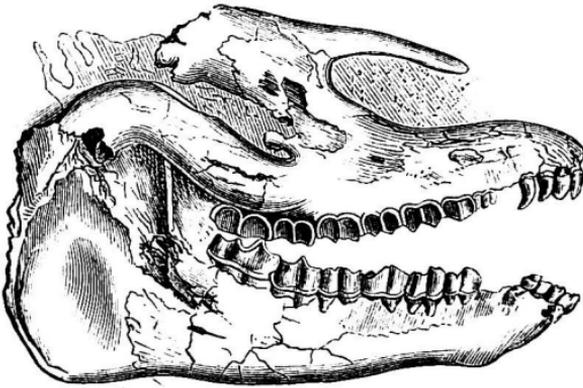


Fig. 440. — Tête du *Palæotherium medium*.

(fig. 439), des chauves-souris (*Vespertilio*), un singe (*Macacus*), un amphibie (*Halitherium*) et des sarigues (*Didelphis*). Plus haut encore, les *gypses de Montmartre* renferment la riche collection de genres créés par le génie de Cuvier. Les pachydermes dominent (*Palæotherium*, *Anoplotherium*, *Xyphodon*, *Adapis*, *Cheropotamus*, *Paloplotherium*, *Anchitherium*, etc.) (fig. 440, 441, 442, 443); cependant il se produit de nouveaux genres de carnassiers (*Chiens*, *Hyænodon*, *Tylodon*, *Amphicyon*, etc.), des rongeurs (*Écureuils*, *Loirs*, *Ade-*

*lomys*, *Theridomys*, etc.), des chiroptères (*Chauves-souris*) et des marsupiaux (*Didelphis*). Beaucoup ne durent qu'un instant; mais le terrain tertiaire moyen ou *miocène* voit apparaître de nouveaux

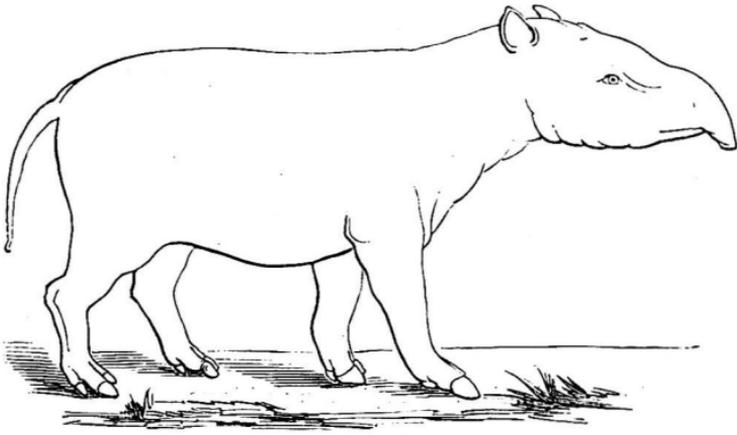


Fig. 441. — Palæotherium, d'après Cuvier.

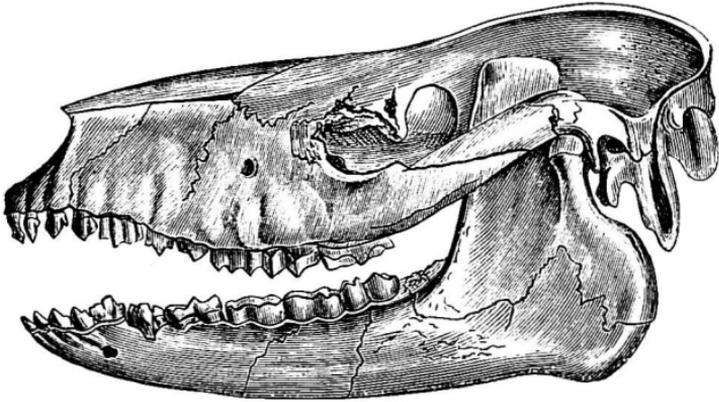


Fig. 442 — Tête de l'Anoplotherium commune.

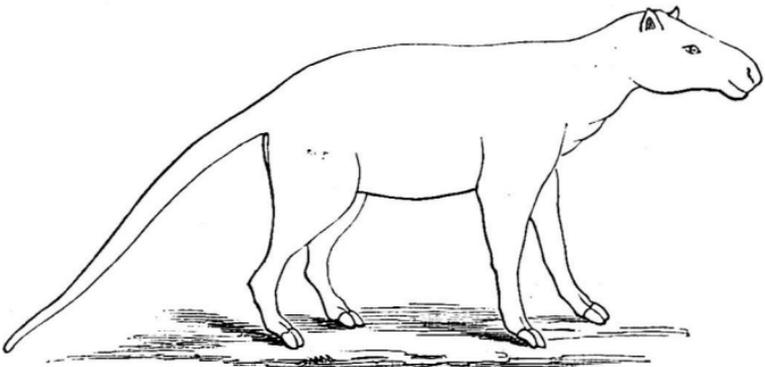


Fig 443. — Contours probables de l'animal, d'après Cuvier.

pachydermes (*Rhinocéros, Cochon, Tapir, Cheval, Hippopotame, Lистриodon, Palæochærus, Anthracotherium, Hyopotamus, Hippotherium*, etc.); des ruminants (*Cerf, Antilope, Musc, Brebis, Bœuf, Chameau, Girafe, Bramatherium, Sivatherium, Dremotherium, Helladotherium*, etc.) (fig. 444, 445); des proboscidiens (*Dinotherium*,

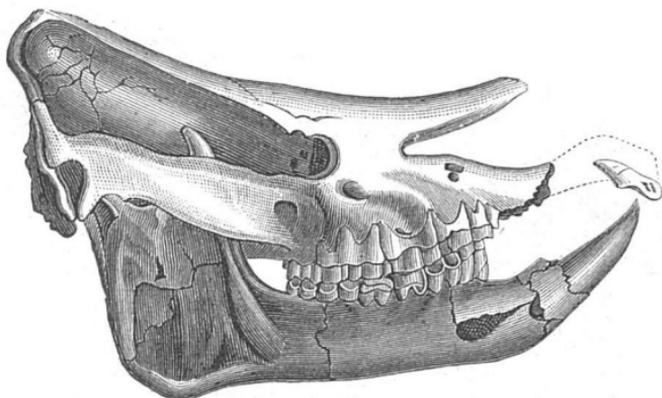


Fig. 444. — Tête du rhinocéros sans corne (*Acerotherium*).

*Mastodonte, Éléphant*) (fig. 446, 447, 448); des carnassiers (*Chat, Hyène, Loutre, Belette, Genette, Machairodus, Hyænarctos, Acanthodon*, etc.) (fig. 449, 450); de nouveaux rongeurs (*Rat, Castor, Lièvre, Porc-épic, Archæomyš, Cricetodon*); des insectivores (*Mu-*

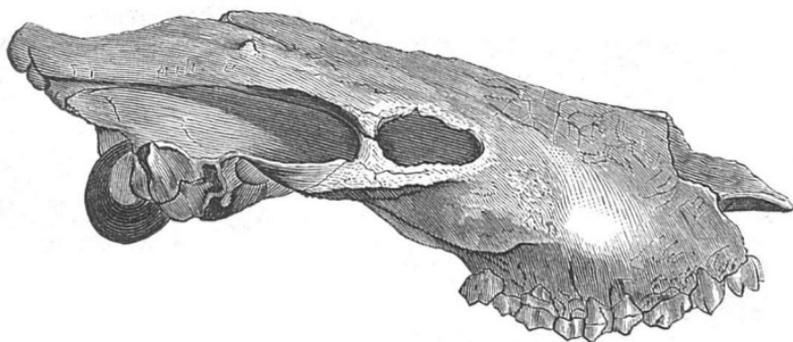


Fig. 445. — Tête de l'*Helladotherium Duvernoyi*.

*saraigne, Taupe, Hérisson, Mygale, Galerix, Echinogale*, etc.); d'autres chauves-souris; quelques singes (*Pliopithecus*, etc.) (fig. 451, 452); des lamantins et des cétacés (*Dauphin, Cachalot, Arionius*, etc.) (fig. 453, 454). Plusieurs de ces animaux (*Helladotherium, Sivatherium, Mastodon, Dinotherium*) étaient de taille

gigantesque. Les proboscidiens (*Mastodonte*, *Dinotherium*) servent

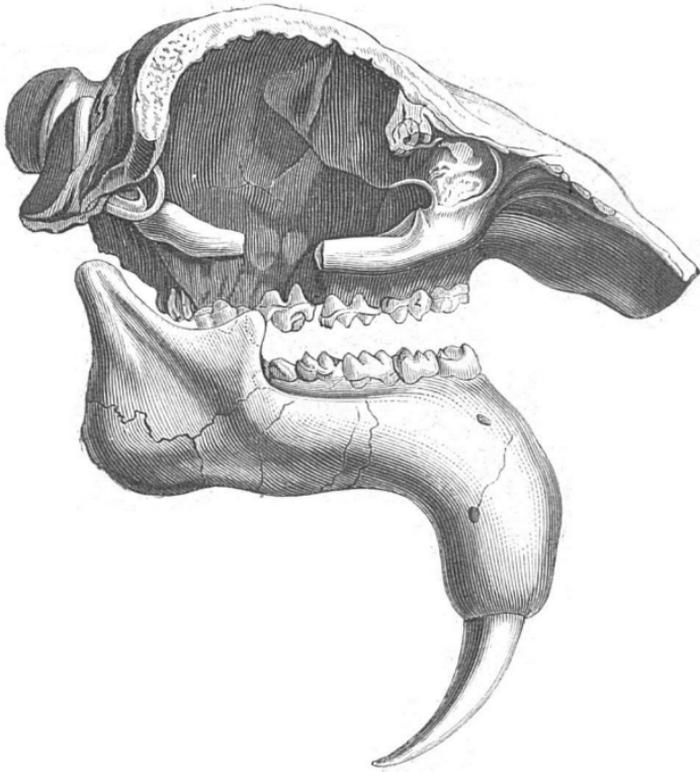


Fig. 446. — Tête du *Dinotherium* d'Eppelsheim.

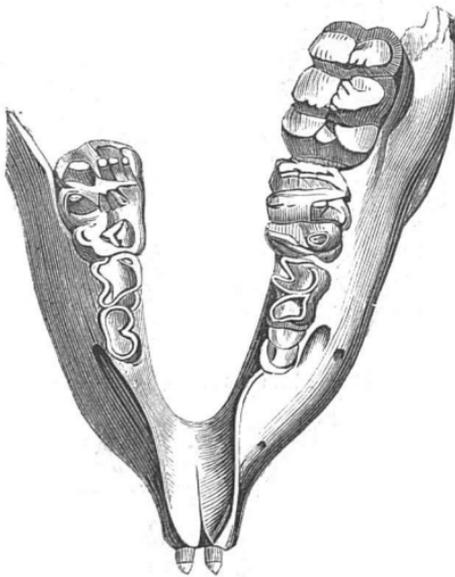


Fig. 447.

Mâchoire inférieure du *Mastodon longirostris*



Fig. 448

Dents molaires du même.

particulièrement à caractériser l'étage, car ils sont répandus partout. On comprend qu'il nous soit impossible de décrire tous ces

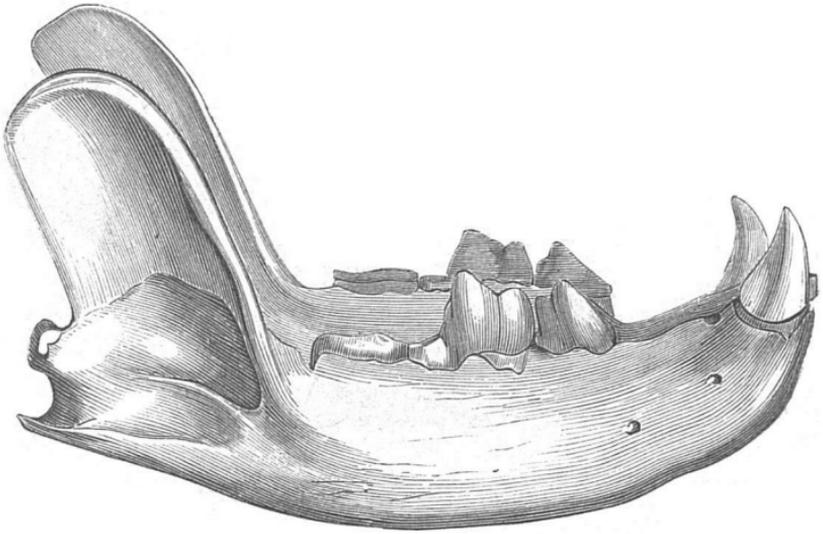


Fig. 449. — Mâchoire inférieure de *Metarctos*.

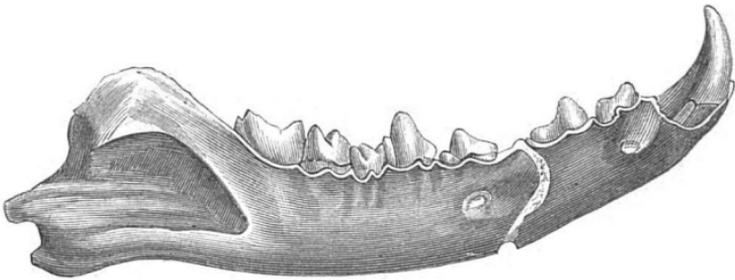


Fig. 450. — Mâchoire inférieure de *Hyænodon*.

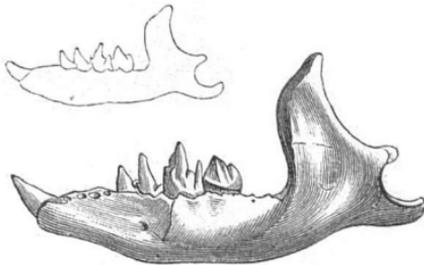


Fig. 451. — Mâchoire inférieure d'un insectivore (*Plesiosorex*).

genres, dont la plupart appartiennent d'ailleurs au domaine de la zoologie.

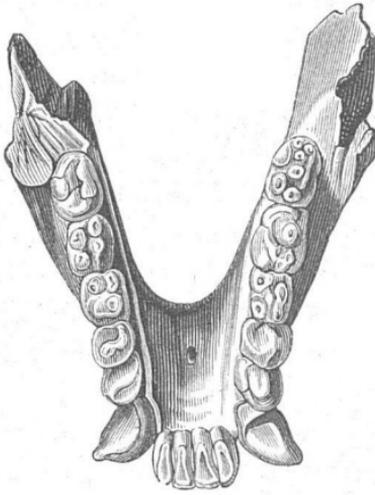


Fig 452. — Mâchoire inférieure de singe (*Propithecus*)

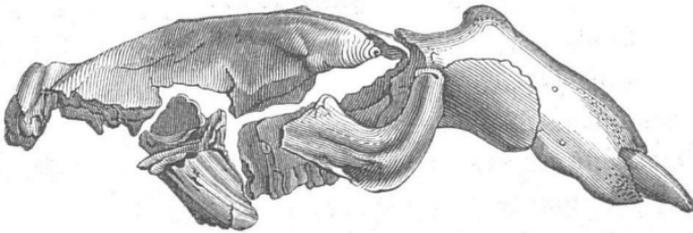


Fig. 453. — Tête d'un sirénide (*Halitherium*).

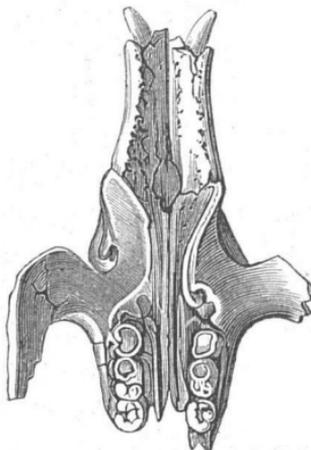


Fig 454. — Tête d'un sirénide (*Halitherium*) vue en dessous.

**Apparition de l'homme.** — D'après certains géologues, c'est pendant que se formait le terrain tertiaire moyen que l'homme fait son apparition sur le globe. Les preuves consistent dans des silex taillés recueillis par M. l'abbé Bourgeois, à divers niveaux, dans les faluns, les sables de l'Orléanais et les calcaires de la Beauce des environs de Pontlevoy (Loir-et-Cher). Je laisse de côté les os portant des entailles, M. Bourgeois ayant reconnu lui-même qu'elles doivent être attribuées à divers poissons carnassiers. Comme la question de l'origine de l'homme est d'une extrême importance, on me pardonnera d'intervenir personnellement dans le débat. J'ai voulu, en effet, visiter la belle collection de M. Bourgeois; j'en ai étudié, même à la loupe, les principaux spécimens, et je déclare que, dans ma conviction intime, tous les silex qui m'ont été soumis sont taillés et portent manifestement la trace du travail de l'homme, et quelquefois d'un long usage. Qu'il me soit permis d'affirmer, à ce propos, que je crois avoir une grande habitude des silex façonnés; que je n'ai négligé aucune occasion d'en voir et d'en rechercher, et que j'en ai étudié des milliers d'échantillons, de toutes provenances. On a reproché aux gisements de Pontlevoy d'être superficiels. Dans de pareilles stations, il peut arriver, en effet, que des objets d'âge différent finissent par se trouver fortuitement réunis dans les mêmes assises. Mais il y aurait d'abord à prouver que cette objection s'applique au cas particulier. En outre, l'argument perd une partie de sa valeur, si l'on considère que plusieurs silex ont été retirés du fond d'un puits, creusé dans des assises tertiaires bien en place, recouvertes par d'autres couches, parfaitement intactes. D'ailleurs, pour appartenir aux types ordinaires, qui se reproduisent à toutes les époques, les silex tertiaires sont plus grossièrement façonnés, et se distinguent, à leur apparence, de ceux de l'époque quaternaire. Il est donc bien difficile de se refuser à admettre l'existence de l'homme tertiaire; néanmoins, dans le débat encore pendant d'une question de cette importance, je ne veux et ne dois intervenir que pour ce que j'ai constaté moi-même, et je ne puis me porter garant que de l'authenticité des silex, évidemment taillés par une main humaine.

Le terrain tertiaire supérieur ou *pliocène* voit apparaître les *semnopithèques* et d'autres singes du genre *Pythecus*; beaucoup de *chauves-souris*, de *lièvres*, de *castors*, de *porcs-épics*; les *campagnols*, les *marmottes* et d'autres rongeurs; les *ours*, les *putois*, les *phoques* et d'autres carnivores (fig. 455); des *rhinocéros*, des *tapirs*; le genre

*Hipparion*, bien voisin des chevaux; d'autres *antilopes*; d'autres *éléphants*, de nouveaux *mastodontes*; des *dauphins*, des *cachalots*, des *baleines* et d'autres cétacés. Il est principalement caractérisé par ses *rhinocéros*, ses *hippopotames* et ses *éléphants*.

En général les faunes de même époque se ressemblent assez en Europe, et même plus loin sur le globe. L'association de quelques mammifères suffit pour déterminer un horizon géologique. La règle souffre cependant plusieurs exceptions, et l'on voit se reproduire certaines particularités, déjà signalées à l'époque silurienne, et qui ont sans doute existé en tout temps. Ainsi, les mammifères, qui apparaissent en Europe dès le commencement de la période tertiaire ne se montrent guère, dans les autres parties du monde, qu'à partir des couches moyennes ou miocènes; de sorte que les trois faunes éocènes sont généralement défectives. Par une espèce de compensation, certains genres, par exemple les chevaux, les hippopotames, les chameaux, les bœufs, les brebis, les éléphants, débent dans les assises miocènes de l'Inde, et ne commencent, partout ailleurs, que dans les strates pliocènes. Dans l'Amérique du Nord, le rhinocéros ne survit pas à la formation tertiaire, tandis que le mastodonte, qui s'y éteint en Europe, continue à se propager pendant la période suivante. Quant à la faune marine, elle se montre, comme il est naturel, plus stable et plus fixe que la faune terrestre, et ne paraît aucunement affectée des circonstances climatiques et autres qui ont quelquefois profondément modifié la première.

**Tableau de l'époque tertiaire.** — Si, maintenant, nous essayons de tracer une esquisse de l'époque tertiaire, d'après tout ce que la géologie et la paléontologie ont pu nous apprendre, nous devons nous figurer des continents assez étendus, avec des montagnes déjà élevées, mais toujours fort disséminées. En Europe, les grandes terres ressemblaient sans doute aux régions planes ou ondulées de l'intérieur de l'Afrique; elles étaient semées de lacs et de marécages, et nourrissaient une végétation luxuriante (fig. 456). D'immenses troupeaux d'herbivores parcouraient ces savanes à demi noyées sous les eaux, aussi nombreux et plus variés que les troupes d'éléphants, de zèbres et d'antilopes de l'Afrique australe. Les rhinocéros, les tapirs, divers sauriers, des antilopes, des *Anchitherium*, semblables aux chevaux, paissaient dans les mêmes régions que les *Palæotherium*, les *Anthracotheium*, les *Helladotherium*, les *Sivatherium*, les mastodontes, non moins remarquables par la bizarrerie de leur forme que par celle de leurs noms. Tous étaient dominés par le gigan-

tesque *Dinotherium*, le plus grand des animaux terrestres. De nombreux carnassiers venaient modérer ce que cette population aurait pu présenter de trop exubérant. Des oiseaux coureurs, semblables à l'autruche, traversaient les plaines arides ; de grands lézards, des serpents de diverses sortes se glissaient entre les arbres des forêts, hantées par une population assez variée de singes, et dans les profondeurs desquelles l'homme avait peut-être déjà établi son repaire. Des insectes et des oiseaux de toute espèce sillonnaient les airs. Remplis de crocodiles, les lacs et les marécages nourrissaient des poissons analogues à ceux de nos rivières. Sur les rivages des mers se traînaient des phoques et des lamantins ; et les océans, peuplés de dauphins, de baleines et de cachalots, étaient ravagés par des

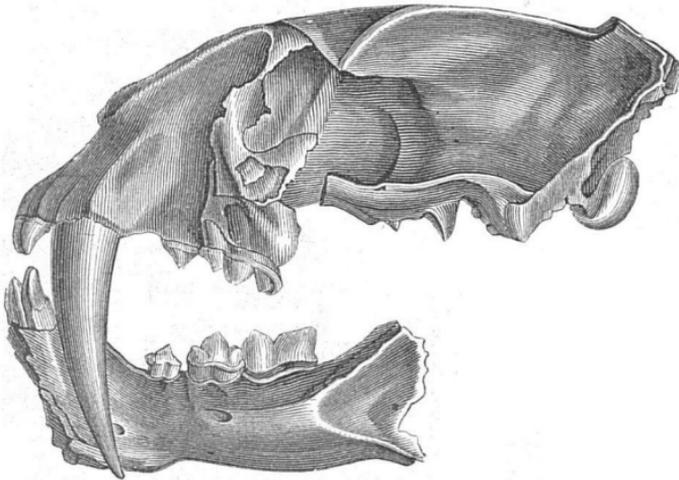


Fig. 455. — Felis (*Machairodus*) *cultridens*.

squales énormes. En un mot, tout annonce, tout prépare l'ordre de choses actuel.

**Climat de l'Europe à l'époque tertiaire.** — L'ensemble organique témoigne d'une température encore fort élevée, mais plutôt juxta-tropicale que tropicale, aux latitudes moyennes. Désormais, en effet, les climats commencent à se dessiner, et les premiers indices d'une diminution de chaleur, que nous avons recueillis à l'époque érétaquée, ne tardent pas à être confirmés par de nouvelles preuves. C'est surtout au règne végétal qu'on doit les demander, ainsi qu'à la faune marine. Si, en effet, les animaux terrestres appartiennent, pour la plupart, à des genres des pays chauds, nous ne pouvons cependant affirmer qu'il n'y ait pas eu des espèces de rhinocéros, de girafes, d'éléphants, conformées pour supporter des



Fig. 456. — Un paysage de l'époque tertiaire.

températures rigoureuses, et même nous savons qu'il en a été ainsi à l'époque diluvienne. Plus sédentaires, les animaux marins et surtout les végétaux paraissent fournir des renseignements plus précis. A l'époque crétacée, d'après M. Heer, la flore de l'Europe indique encore une température tropicale, sinon équatoriale, jusqu'au sud de la Laponie. A l'époque éocène, le climat des environs de Paris n'était plus que juxta-tropical, et la flore ressemblait à celle de la Floride ou du midi de la Chine. La chaleur se maintenait encore cependant jusque dans le voisinage des pôles, puisqu'à l'époque suivante (miocène), M. Heer estime à  $9^{\circ},7$ , et M. de Saporta à  $12^{\circ}$ , la température moyenne du Groenland, et que le premier de ces observateurs évalue à  $5^{\circ},5$ , et le second à  $8^{\circ}$ , la température moyenne du Spitzberg, qui est aujourd'hui, d'après M. Martins, de  $-8^{\circ},6$ . Vers la fin de l'époque pliocène, la chaleur avait diminué, au point que le climat de l'Europe centrale ressemblait au plus à celui des îles de la Méditerranée. Peu à peu les végétaux des contrées chaudes avaient été remplacés par d'autres, mieux appropriés aux nouvelles conditions d'existence : c'étaient les pins, les bouleaux, les saules, les chênes, les ormes, les noyers, les frênes, les érables, les figuiers, les lauriers qui formaient alors le fond de la végétation. Les coquilles marines des collines subalpines (pliocène) et celles du *crag* de l'Angleterre sont, pour la plupart, identiques avec celles qui vivent encore dans le fond de la Méditerranée et des mers britanniques. Un résultat fort important pour l'histoire du globe est donc fourni par la paléontologie, savoir, qu'à partir du milieu de la période crétacée, les climats commencent à se dessiner dans l'hémisphère boréal; que la température baisse peu à peu et uniformément en Europe, et que, vers la fin de l'époque tertiaire, elle ne dépasse guère les moyennes actuelles. Nous allons voir que cette marche, si régulière, a été singulièrement troublée à l'époque suivante.

**TERRAIN QUATERNAIRE.** — Il a pris ce nom de son numéro d'ordre dans l'ancienne série; mais on l'appelle encore *diluvien* ou *glaciaire*, à cause des phénomènes qui se sont manifestés pendant sa durée. C'est moins un terrain qu'une faune, une époque et une série de phénomènes, fort difficiles à débrouiller et à exposer dans l'ordre rigoureux de leur succession; car, il faut bien le répéter : plus nous nous rapprochons des temps actuels, moins nous voyons clair dans le passé. Aussi ne puis-je continuer que sous certaines réserves.

**Refroidissement général; ses indices.** — L'époque quaternaire a débuté par le refroidissement général qui lui a valu le nom d'époque glaciaire. Dans la péninsule scandinave, l'abaissement de la température se trahit par l'aspect des roches, qui sont striées et quelquefois polies par les anciens glaciers, jusqu'au niveau de la mer; il se reconnaît encore à des traînées de blocs erratiques accompagnés d'argiles, de sables et de graviers, qui se trouvent disséminées sur tout le pourtour méridional de la péninsule, rayonnant autour d'un point des Alpes scandinaves voisin de l'emplacement actuel de Stockholm, et ne s'arrêtant, dans l'Europe centrale, qu'à une ligne qui passerait à peu près par Nikolskoï, Toula, Cracovie, Breslau, Leipzig, Hanovre, Arnheim et le nord de l'Angleterre. Tous les matériaux

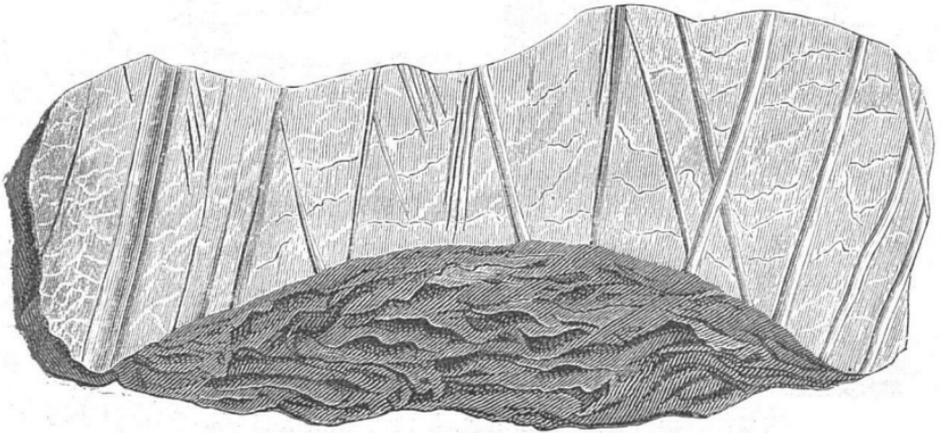


Fig. 457. — Caillou strié du drift américain.

ainsi disséminés ont traversé l'emplacement de la Baltique et de la mer du Nord, et proviennent des Alpes scandinaves; ils ont reçu des géologues étrangers le nom de *drift*. Mêmes stries, même drift sur le nouveau continent (fig. 457); seulement les marques de l'action glaciaire s'étendent beaucoup plus au sud, et s'observent jusque vers le 39° degré de latitude, dans la Pennsylvanie, l'Ohio, l'Indiana, l'Illinois et l'Iowa: ce qui montre que les lignes isothermes existaient déjà avec leurs inflexions actuelles. Dans les deux parties du monde, ces traînées glaciaires renferment des débris de mollusques qu'on ne retrouve plus que dans les contrées circumpolaires. Tels sont les premiers indices du refroidissement qui inaugure l'époque quaternaire.

**Multiplicité des indices glaciaires.** — Mais à force de chercher, les géologues ont fini par trouver des signes glaciaires à peu près

partout. On pense avoir reconnu des stries jusque dans les environs de Paris, sur les grès de Fontainebleau. La Terre-de-Feu et les îles voisines, la Patagonie et toute l'extrémité australe de l'Amérique du Sud, jusqu'au 40° degré de latitude, sont couvertes de traînées, souvent fort épaisses et fort étendues, de drift et de blocs erratiques, absolument semblables à celles du nord des continents. D'après Agassiz, les mêmes dépôts se remarquent dans la zone torride; et si les stries glaciaires y font défaut, un drift fort épais, avec blocs erratiques, a été signalé par don Pedro II dans les environs de Rio-Janeiro. D'après le même auteur, toute la vallée de l'Amazone est remplie d'un drift argilo-sableux, de 300 mètres d'épaisseur, occupant tout le bassin du fleuve, de la Bolivie au cap San Roque, et renfermant des blocs erratiques de syénite qui atteignent jusqu'à 4 mètres dans leur plus grande dimension. Ce serait bien là le drift le plus prodigieux qui existât sur le globe; mais l'origine en est-elle bien glaciaire, et ne faut-il pas reconnaître, dans cet immense dépôt, ainsi que dans tous ses analogues des contrées tropicales, où les roches ne sont jamais striées, l'effet des courants diluviens? Si l'on peut conserver quelque doute à cet égard, il n'en est pas de même en ce qui concerne les régions australes de l'Amérique. En 1872, Agassiz a reconnu les traces incontestables de l'action glaciaire dans la partie extra-tropicale de ce continent. Il a vu des blocs erratiques et des roches moutonnées jusque près de Montevideo, par 35 degrés de latitude sud. Les roches moutonnées, polies et cannelées, les galets striés, les blocs erratiques, se rencontrent partout dans le voisinage du cap Horn, et beaucoup plus au nord. A la pointe septentrionale de l'île de Chiloé, les stries et le poli glaciaires se remarquent sur les matériaux rejetés par des volcans éteints, qu'Agassiz suppose appartenir à l'époque actuelle. C'est là un fait de grande importance, qui montrerait que, dans certains lieux, les volcans à cratère sont plus anciens qu'on ne l'admet généralement. Quoi qu'il en soit, les signes d'un abaissement de température, glaciaires ou diluviens, se remarquent sur toute la surface du globe; mais c'est presque tout ce qu'on peut affirmer, dans l'état actuel de la science, car il est à craindre qu'on n'ait souvent confondu des phénomènes fort distincts et non contemporains, et qu'on n'en ait séparé d'autres, qui ont eu lieu simultanément, mais dont les manifestations ne se ressemblent point. Les méprises sont d'autant plus faciles qu'on n'a plus affaire à des couches stratifiées, dont l'ordre de superposition peut aisément se recon-

naître, mais bien à des traînées, à des accumulations incohérentes, disséminées, sans relations directes et ne se recouvrant que dans des circonstances exceptionnelles. Les débris organiques des dépôts quaternaires ne peuvent diriger que dans un certain rayon, parce que les faunes des diverses parties du monde étaient déjà assez distinctes, comme nous le verrons bientôt.

**Glaciers ; érosions diluviennes.** — Ce premier refroidissement, qui avait si énormément étendu les glaciers polaires dans les deux hémisphères, est accompagné de l'immense invasion des glaciers des montagnes, dont j'ai déjà parlé dans la 3<sup>e</sup> partie de cet ouvrage. Mais je crois avoir prouvé que la glace avait été précédée et accompagnée par des pluies diluviennes, et que l'eau s'était précipitée à l'état liquide, avant de tomber sous forme de neige. J'ai également montré qu'en présence d'une alimentation extraordinairement abondante des glaciers des pôles et des montagnes, il est à peine nécessaire de supposer un abaissement de température pour expliquer leur énorme extension ; que si le refroidissement n'était pas rendu manifeste par la nature de la faune, on pourrait presque le nier, et, qu'en tout cas, il a été assez modéré. Je crois avoir enfin prouvé que les pluies diluviennes ont creusé les *vallées d'érosion*, et éparpillé autour de tous les massifs montagneux des nappes de *diluvium* composé d'argiles, de sables, de galets roulés, plus rarement de blocs anguleux provenant de ces massifs mêmes. Toujours facile à distinguer des traînées du drift glaciaire, le manteau diluvien qui recouvre le flanc des collines et le fond des vallées se fait également remarquer par son incohérence, et par l'absence à peu près constante de tout indice de stratification. Mais il contient des débris fossiles assez nombreux ; et c'est en grande partie dans son épaisseur qu'on a trouvé les squelettes ainsi que les coquilles fluviatiles qui ont permis de reconstituer la faune quaternaire. Les charriages diluviens nous offrent donc une deuxième catégorie des terrains de l'époque, et de toutes la plus facile à étudier, en raison des fossiles qu'ils renferment.

**Brèches osseuses et limons des cavernes.** — Une troisième catégorie de dépôts consiste dans les *brèches osseuses* et les *limons des cavernes*. Les premières sont des argiles plus ou moins cimentées, qui emplissent certaines fentes de rochers, et emparent des ossements de mammifères. Les limons des cavernes sont des argiles jaunes ou rouges, abandonnées dans les grottes par les courants diluviens, alors qu'ils coulaient à plein bord, et montaient au moins

jusqu'au niveau de ces excavations. Ces limons constituent de riches ossuaires, d'où l'on a extrait des squelettes entiers de grands animaux, aujourd'hui éteints, et qui renferment souvent les débris de l'homme et les premiers vestiges de son industrie. Ils ont fourni un précieux appoint à la faune quaternaire ; cependant, comme ils ne forment que des dépôts restreints et localisés, sans aucune relation entre eux, on n'aurait pu établir la succession chronologique des espèces composant leur faune, si l'on n'avait comparé celle-ci à la faune des dépôts diluviens, où les âges relatifs sont moins difficiles à déterminer. De cette manière, on a pu s'assurer que les cavernes remontent à des époques assez diverses, et n'ont pas toutes été remplies en même temps, durant la période quaternaire.

**Dépôts lacustres et marins, etc.** — On connaît enfin des *dépôts lacustres*, je n'ose dire des *dépôts marins*, appartenant à la même période. Toujours assez rares, et quelquefois un peu douteux, les premiers se déterminent par les coquilles terrestres qu'ils renferment. Quant aux assises quaternaires marines, il en existe certainement, mais je ne crois pas qu'on puisse les indiquer avec précision. Quoique l'action sédimentaire n'ait jamais été interrompue, les dépôts chimiques provenant de sources minérales, s'arrêtent presque absolument à partir de la fin de l'époque tertiaire, et désormais il ne se forme plus guère que des récifs coralliens, de la craie et de minces couches limoneuses ou arénacées. Le peu d'épaisseur des strates quaternaires et des strates contemporaines est déjà un obstacle ; d'un autre côté, la faune marine tertiaire passe par des gradations tellement insensibles à la faune actuelle, qu'il est presque impossible de faire la part de l'époque quaternaire, puisque les couches marines ne renferment aucun des vertébrés qui servent à caractériser cette dernière à la surface des continents. A tort ou à raison, on attribue encore à l'époque quaternaire certaines *plages soulevées*, couvertes ou non de banes de coquillages ; mais je crois que, le plus souvent, il est bien difficile de distinguer les soulèvements anciens de ceux qui ont eu lieu dans les temps modernes, et dont plusieurs continuent à s'effectuer, comme nous l'avons vu précédemment.

**Opinion commune sur la succession des phénomènes quaternaires.** — Telles sont les principales manières d'être des terrains quaternaires. Il est bon de répéter que l'extrême diversité de ces derniers, leur incohérence, leur faible épaisseur et l'absence de relations directes entre eux opposent de très-grandes difficultés à la reconsti-

tution de l'histoire de la période. Pour achever en quelques mots, j'ajouterai que les géologues admettent généralement qu'après une première époque de froid, à laquelle correspondent le polissage des roches du nord des continents, le drift, la première extension des glaciers et peut-être les alluvions de la Bresse et de la Crau, il y eut un exhaussement de température, marqué par un premier retrait des glaciers, par la dissémination des blocs erratiques du Jura et par le diluvium de la vallée du Rhône. Bientôt arrive un maximum de chaleur, suivi d'une recrudescence de froid, qui amène la réapparition des glaciers. C'est à cette deuxième période glaciaire qu'on rapporte le limon de la vallée du Rhin et du nord de la France. La température se relève ensuite peu à peu, et dès qu'elle ne diffère plus de celle qui règne aujourd'hui, l'époque quaternaire prend fin et cède la place à l'époque actuelle. Telle est la doctrine la plus généralement admise : inutile d'ajouter qu'elle ne peut être présentée que comme provisoire.

**Objections.** — Je dois avouer que le doute est fortement enraciné dans mon esprit à l'endroit de cette succession d'événements, et que les choses me paraissent infiniment plus compliquées. Pendant la durée, sans doute fort longue, de l'époque quaternaire, on observe des oscillations de température beaucoup plus nombreuses, mais dont il est difficile d'apprécier l'amplitude. Ces oscillations sont décelées, comme je l'ai fait remarquer dans la 3<sup>e</sup> partie de cet ouvrage, par le retrait saccadé des eaux diluviennes, indiqué par les terrasses d'érosion et d'atterrissement et par la diminution successive de la section des lits des cours d'eau. Elles sont également rendues manifestes par des alternances ou des changements dans la nature des matériaux de certains dépôts diluviens, de toutes couleurs, où l'on a vu, bien à tort, à mon avis, plusieurs diluviums distincts superposés. Elles sont révélées encore plus nettement par le retrait, également saccadé, des anciens glaciers. J'ai dit que ceux des Vosges ont laissé derrière eux un assez grand nombre de moraines frontales, plus ou moins distantes entre elles. On en compte sept dans la vallée de Giromagny. Évidemment, chacune marque une époque de froid ou de grandes neiges, pendant laquelle le glacier demeurait longtemps stationnaire, s'il ne progressait pas en avant; et l'intervalle entre deux moraines consécutives correspond à une époque de chaleur ou de faible alimentation, pendant laquelle le glacier diminuait beaucoup par la fusion. Ces moraines reposent sur des alluvions à cailloux roulés; ce qui prouve que, dans la

localité, les grandes inondations ont précédé les grandes neiges, quelle que soit d'ailleurs la date réelle de ces dernières. Les observations de M. Bourguignat l'ont également conduit à admettre un assez grand nombre d'époques de froid et de chaleur. Les premières étaient caractérisées par les types à caractère boréal, et les secondes, par les types plus méridionaux des mollusques terrestres et fluviatiles.

**Tableau de l'époque quaternaire.** — Il semble donc que nous puissions nous représenter l'époque quaternaire comme un moment de grandes perturbations climatiques. Des pluies, d'une violence et d'une continuité extraordinaires, inondaient les terres fermes de véritables déluges. Elles recouvraient tout le sol émergé de nappes d'eau qui s'écoulaient vers les lieux bas en suivant les pentes, creusant peu à peu les vallées d'érosion, et charriant en même temps les matériaux diluviens abandonnés sur le pourtour des massifs montagneux. Ces eaux retombaient en neiges dans le voisinage des pôles, aussi bien que sur les cimes élevées. Grâce à une alimentation extraordinairement abondante, au moins autant qu'à l'abaissement de la température, ces glaciers envahissent bientôt les montagnes, et forment autour des pôles de vastes bordures qui vont sans cesse en s'élargissant. Pendant les débâcles, des radeaux de glace flottante transportent au loin des blocs erratiques, qu'il n'est pas toujours facile de distinguer de ceux qu'ont abandonnés les glaciers. Les torrents courent à plein bord, leur lit se creuse de plus en plus. Réfugiés dans les lieux élevés et dans les cavernes, les animaux continuent néanmoins à se propager. Beaucoup sont victimes de la fureur des éléments ; cependant leurs espèces se succèdent et se remplacent comme aux époques antérieures. Insensibles à toutes les catastrophes, les animaux marins continuent au fond des eaux leur tranquille existence. Après un grand nombre d'alternances de froid et de chaud, de pluies et de débâcles, dont on arrivera sans doute à déterminer le nombre et la durée relative, les climats finissent par demeurer stationnaires et les temps actuels commencent. Mais les phénomènes dont il a été question ne sont pas les seuls qui aient marqué l'époque quaternaire. Le désordre de la nature se trouvait compliqué par de violents mouvements du sol. C'est, en effet, à cette époque, que des montagnes énormes, telles que les Cordillères, prennent leur dernier relief ; et il est évident qu'un pareil exhaussement, en le supposant aussi lent que possible, n'a pu s'effectuer sans amener de grandes perturbations sur d'im-

menses surfaces. En même temps, beaucoup de plages s'affaissent ou se soulèvent, la Baltique et la Méditerranée prennent leur assiette définitive, le canal de la Manche s'ouvre et les îles Britanniques se séparent du continent. Vers la fin de l'époque, les terres fermes avaient, à très-peu de chose près, leurs contours et leur relief actuels, toutes les montagnes du globe étaient soulevées et les volcaus allaient faire leur apparition.

**Faune quaternaire.** — La faune quaternaire est surtout remarquable par ses mammifères. Les genres, et souvent les espèces sont les mêmes que de nos jours. Une grande quantité des animaux terrestres actuels existaient dès le commencement de la période, pendant la durée de laquelle beaucoup de types nouveaux se for-

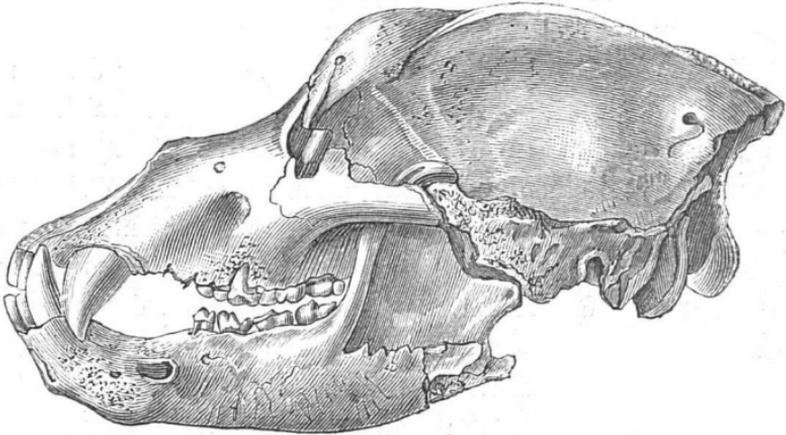


Fig. 458. — Tête de l'ours des cavernes.

mèrent. Il y a donc un passage tout à fait insensible de la faune quaternaire à la faune contemporaine; aussi les deux époques sont-elles plutôt séparées par la cessation des phénomènes physiques et climatiques de la période glaciaire et diluvienne, et par l'inauguration de la tranquillité actuelle, que par une différence dans la faune et dans la flore. Cela est d'autant plus manifeste, que si les animaux contemporains remontent souvent à l'époque quaternaire, et même à l'époque tertiaire, plusieurs espèces quaternaires n'ont pris fin que dans les temps modernes. Le mammouth a survécu aux dernières catastrophes, l'urus existait encore, il n'y a pas fort longtemps, dans les forêts de la Gaule et de la Germanie, et l'aurochs n'a pas tout à fait disparu de celles de la Lithuanie et du Caucase.

**Mammifères de l'Europe.** — En Europe, les mammifères qua-

ternaires étaient des ours, des lions, des hyènes, des rhinocéros,

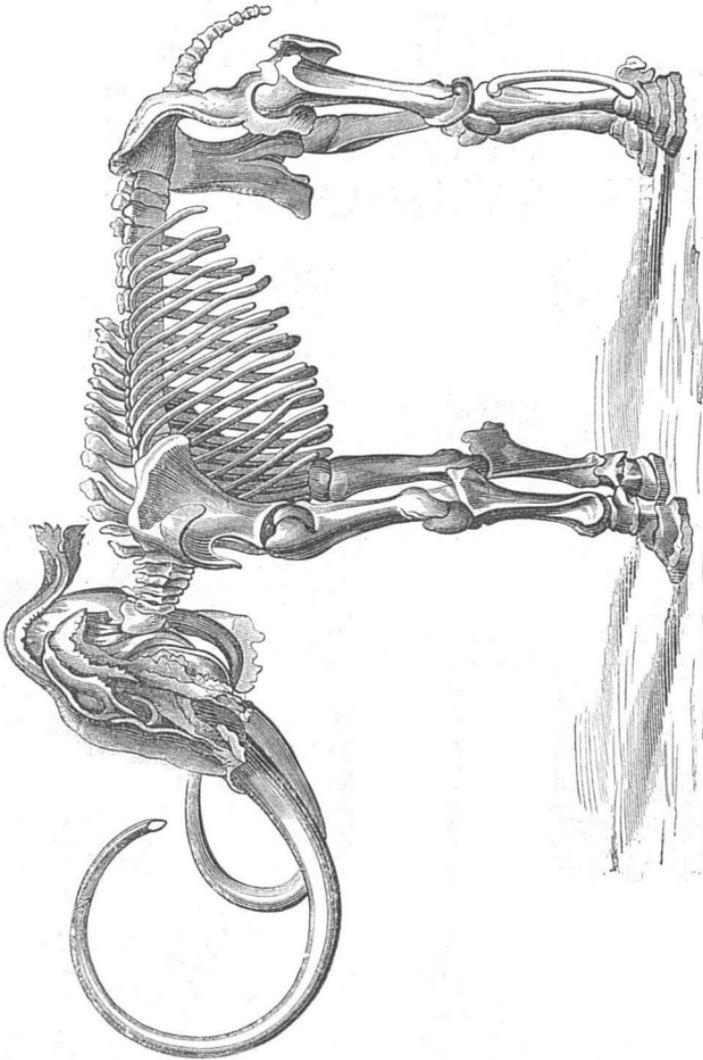


Fig. 459. — Squelette restauré de Mammoth.

des éléphants, des cerfs, des bœufs, presque tous de taille gigan-

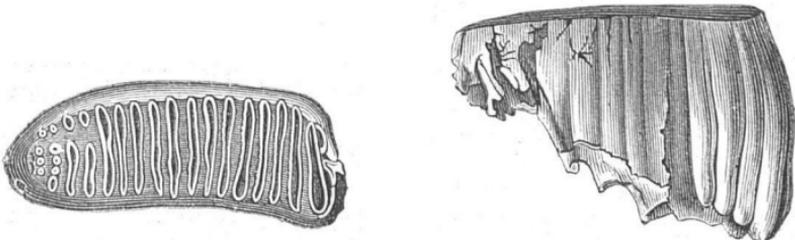


Fig. 460. — Dent molaire du même.

tesque; puis des insectivores, des rongeurs, des carnassiers, des

ruminants, des chevaux, des sangliers, etc., dont la plupart subsistent encore. L'ours des cavernes était grand comme un cheval (fig. 458); l'éléphant laineux ou mammoth dépassait de beaucoup ses congénères actuels, il portait des défenses énormes recourbées un peu en spirale (fig. 459, 460); le cerf des tourbières, aux bois palmés, avait au moins la stature de nos bœufs, et certaines espèces de bœufs atteignaient des dimensions extraordinaires. Ce

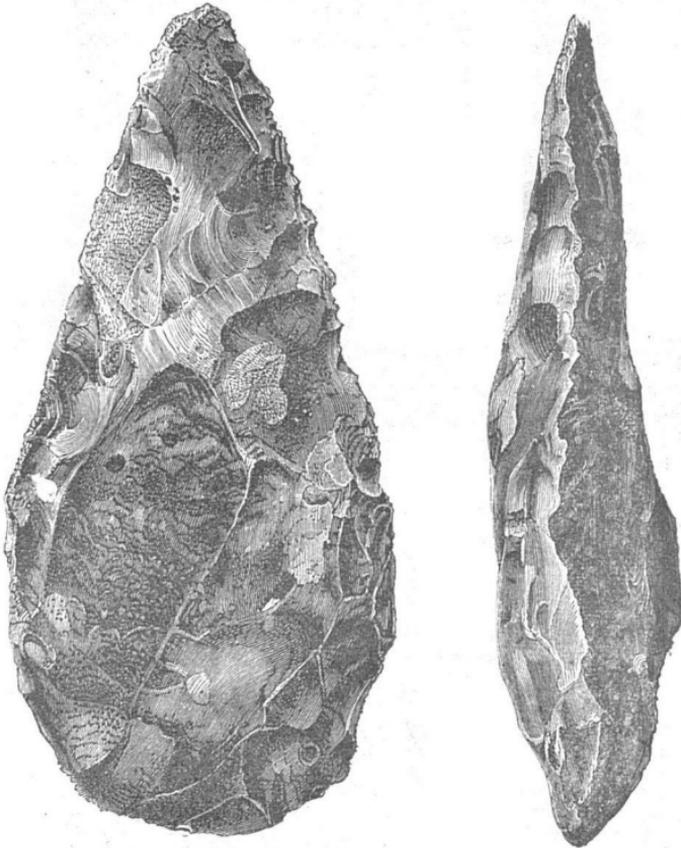


Fig. 461. — Silex taillé : type de Saint-Acheul.

mélange d'animaux des contrées froides et tempérées avec d'autres que nous sommes habitués à regarder comme habitants des pays chauds, n'a plus rien d'étonnant, depuis que l'on sait que le mammoth et le rhinocéros à narines cloisonnées étaient revêtus d'une épaisse fourrure de laine et de crins, ainsi que le témoignent les spécimens trouvés dans le nord de la Sibérie. Il est donc naturel de rencontrer à la fois, dans le midi de la France, les débris des ours et des hyènes des cavernes, du rhinocéros, du mammoth, de

l'aurochs, du cheval, du renne, du glouton, et même du bœuf musqué des régions arctiques.



Fig. 462. — Silex taillé : type de Solutré.

**L'homme quaternaire.** — Si nous pouvons encore douter que l'homme ait vécu à l'époque tertiaire, nous savons qu'il existait

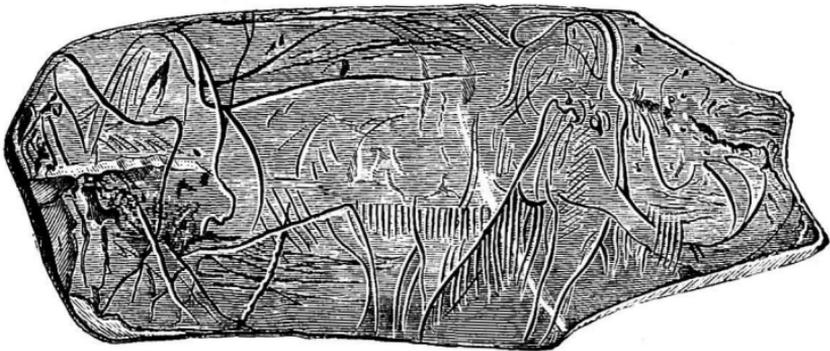


Fig. 463. — Plaque d'ivoire sur laquelle a été tracé le croquis d'un Mammouth, de la station de la Madeleine.

incontestablement à l'époque quaternaire. Non-seulement on a recueilli dans le diluvium et dans les cavernes de toutes les époques

des silex taillés (fig. 461, 462), des os façonnés, des croquis d'animaux (fig. 463), et une foule de vestiges de l'industrie grossière des premiers âges, mais on a fini par trouver les restes de l'homme lui-même. Il a donc assisté aux phénomènes si étonnants qui ont marqué l'époque quaternaire ; il a contemplé les inondations diluviennes, auxquelles son adresse l'a fait échapper ; il a été le témoin de la prodigieuse extension des glaciers ; il a vu s'élever des chaînes de montagnes ; il a pu observer la première apparition ou la formation d'un grand nombre d'espèces animales. Mais a-t-il beaucoup profité de cette facilité d'études si enviable ? Tout ce qui s'est conservé dans sa mémoire, c'est un vague souvenir des périls auxquels il était en butte, et des animaux qui menaçaient son existence. Les monstres et les géants abondent dans les premiers récits, et les traditions de tous les peuples mentionnent des inondations et des déluges, singulièrement travestis par la fable. Ce n'est pas ici le lieu de chercher à débrouiller l'histoire encore si obscure des premiers âges de l'humanité : je dirai seulement qu'on a trouvé les vestiges de races diverses ; que les plus anciennes paraissent se rapprocher des populations les plus dégradées de l'Afrique du sud et de l'Australie, et que plusieurs étaient anthropophages. Ce n'est que lentement, et à la suite des siècles, que l'humanité s'est peu à peu élevée de la sauvagerie à la barbarie, puis à la civilisation. Il faut donc absolument renoncer au rêve si séduisant d'un *édénisme*, pendant lequel notre espèce, sortie parfaite des mains du Créateur, a joui d'une félicité sans égale.

**Subdivisions de l'époque quaternaire.** — On a essayé de constituer une sorte de chronologie de l'époque quaternaire, au moyen des animaux qu'elle a vus se produire, et l'on est arrivé à des résultats sans doute encore provisoires, mais qui offrent déjà de l'intérêt. En Europe, Lartet établit quatre époques principales, caractérisées : la première par l'ours des cavernes, la seconde par le mammoth et le rhinocéros à narines cloisonnées, la troisième par le renne, la quatrième par l'aurochs. Ces âges ou époques sont marqués par l'apparition, mais nullement par la durée des types, dont les uns vivent encore et dont les autres se sont éteints à divers moments.

**Animaux de l'Amérique du Nord.** — Mais ce qui se passait en Europe ne peut servir de règle pour les autres contrées. Dans l'Amérique du Nord, les grands carnassiers des cavernes font presque absolument défaut, et le genre hyène paraît manquer. Les

rhinocéros avaient disparu dès la fin de l'époque tertiaire. Deux espèces d'éléphants, dont l'un est peut-être identique avec le mammoth, des chevaux de grande taille et plusieurs autres types de l'ancien continent habitaient alors le nouveau, où ils se sont éteints vers la fin de la période. Le mastodonte, qui ne dépasse pas, en Europe, le terrain tertiaire, est, au contraire, un des animaux les plus répandus en Amérique à l'époque quaternaire, et ses restes y sont ordinairement mêlés à ceux des éléphants et des chevaux. Le renne, l'élan, le bœuf musqué, existent simultanément sur les deux

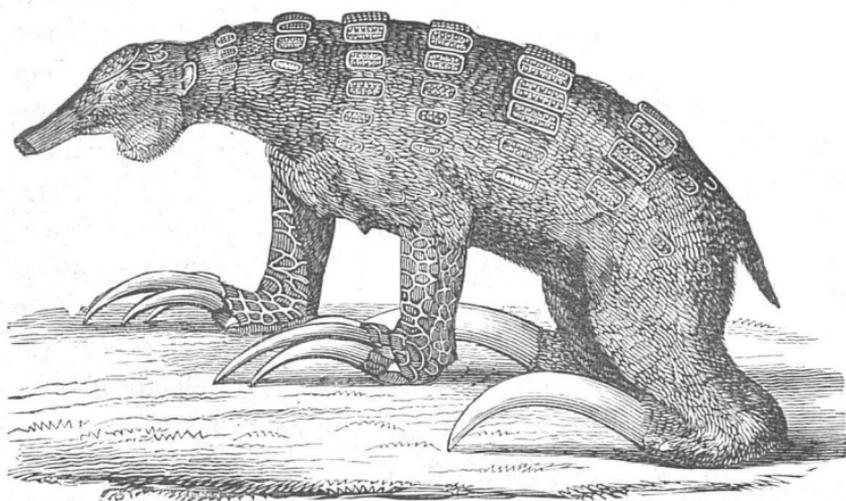


Fig. 464. — Restauration d'un *Megalonyx*.

continents; mais le nouveau n'a pas encore fourni de vestiges de l'aurochs, non plus que du grand cerf des tourbières, qui était remplacé par une espèce encore plus gigantesque. Enfin, d'énormes animaux édentés, des genres *Megatherium*, *Megalonyx*, *Myloodon*, achèvent de caractériser la faune quaternaire de l'Amérique du Nord (fig. 464, 465, 466). On peut voir que les causes qui président à l'extinction des espèces sont aussi mystérieuses que celles de leur apparition. Nous ne pouvons comprendre, en effet, pourquoi les rhinocéros, les chevaux, les éléphants, ont cessé de faire partie de la faune du nouveau monde, puisque le cheval, importé dans les temps modernes, s'y est étonnamment multiplié, et que tous les animaux de l'ancien continent trouveraient quelque part, dans le nouveau, les conditions d'une existence prospère.

**Animaux de l'Amérique méridionale.** — Le diluvium des pampas de l'Amérique du Sud et les cavernes du Brésil renfer-

ment une faune extrêmement remarquable, caractérisée surtout par des édentés. On y a trouvé des carnassiers, des rongeurs, des sarigues, des mastodontes, des chevaux, des lamas, des singes de la tribu des cébiens, enfin des tatous énormes et d'autres édentés gigantesques, appartenant au moins à une quinzaine de genres

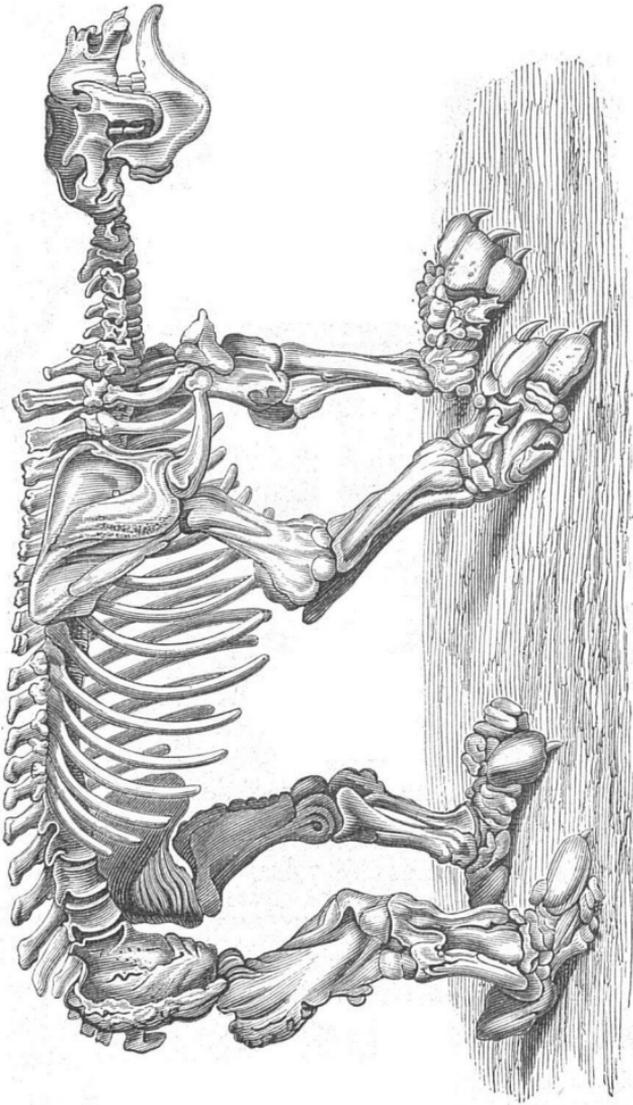


Fig. 465. — [Squelette restauré du *Megatherium Cuvieri*.

différents (fig. 467). Cet ensemble organique est tout à fait analogue à la population actuelle de la même partie du monde, patrie exclusive des cébiens, des lamas, des tatous et de la plupart des édentés. Dès l'époque quaternaire, on commence donc à voir se dessiner les centres de dispersion actuels. C'est ce que rendra plus

manifeste l'examen rapide de la faune de quelques autres contrées.

**Animaux de l'Australie, de la Nouvelle-Zélande et de Madagascar.** — La Nouvelle-Hollande et les terres voisines, qui ne renferment aujourd'hui que des mammifères marsupiaux, étaient exclusivement peuplées de didelphes ; seulement les espèces y attei-

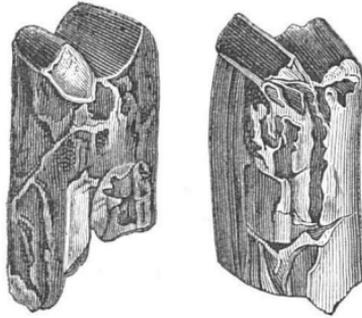


Fig. 466. — Dents du Megatherium.

gnaient les énormes dimensions habituelles aux animaux de l'époque quaternaire. Parmi les carnassiers, le *Thylacoleo carnifex* arrivait à la taille du lion ; il y avait des marsupiaux rongeurs de la grosseur du tapir, et des herbivores de la stature du bœuf et de l'hippopotame. Le crâne du *Diprotodon* mesurait 1 mètre de longueur. Uni-

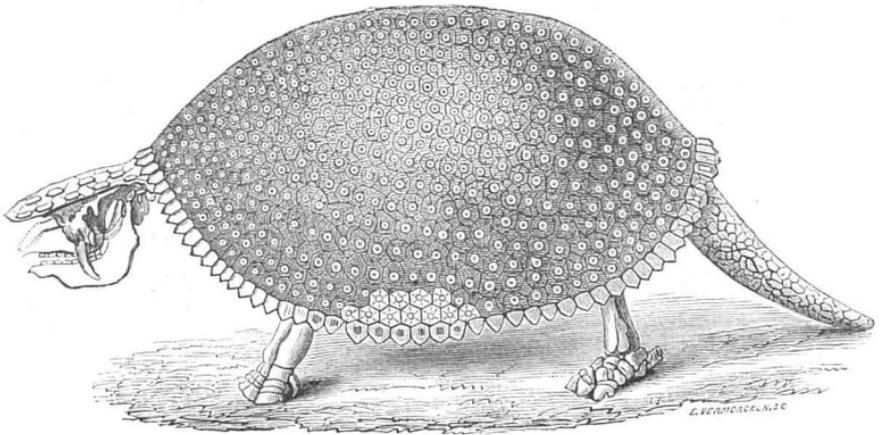


Fig. 467. — Squelette restauré d'un Glyptodon.

quement composée, de nos jours, d'oiseaux coureurs à ailes rudimentaires, la faune des animaux à sang chaud de la Nouvelle-Zélande ne renfermait également, à l'époque quaternaire, que des oiseaux analogues, de très-grande taille. Elle a fourni les *Palæopteryx*, les *Apterornis*, les *Notornis* et dix espèces de *Dinornis*, dont l'une,

appelée *moa* par les indigènes, subsiste peut-être encore dans l'intérieur du pays. Madagascar est de même caractérisée par ses oiseaux coureurs. On y a trouvé des *Dinornis* et le gigantesque *Æpyornis*, qui mesurait au moins 4 mètres de hauteur, et dont les œufs avaient une coque de 8 millimètres d'épaisseur, une longueur de 32 à 34 centimètres et une capacité de près de 9 litres.

**Anciens climats du globe.** — Si, maintenant, nous essayons de jeter un coup d'œil d'ensemble sur l'époque quaternaire, nous demeurons frappés, moins de la variété et des grandes dimensions des animaux terrestres, que des phénomènes physiques et climatiques qui ont marqué cette période. Une légitime curiosité nous invite à en rechercher les causes. C'est donc ici le lieu de nous occuper de l'important problème des anciens climats; mais, auparavant, je crois utile de retracer, en peu de lignes, la marche de la température à toutes les époques géologiques.

**Marche de la température aux différentes époques géologiques.** — D'abord incandescente, la terre se refroidit par le rayonnement; bientôt la planète naissante se recouvre d'une pellicule rocheuse, qui augmente sans cesse en épaisseur et devient l'écorce solide; les océans se constituent. Jusqu'à l'époque laurentienne, la température était trop élevée, et sans doute aussi l'atmosphère trop lourde et trop impure pour que la vie pût exister. A partir de l'époque silurienne, ou à peu près, le climat était uniformément tropical sur toute la planète, point excessif à l'équateur, nullement refroidi dans le voisinage des pôles. Cet état de choses persiste, sans le moindre changement, jusque vers le milieu de l'époque crétacée: tout au plus ose-t-on indiquer des périodes de sécheresse et d'humidité relatives. Il est cependant infiniment probable que l'atmosphère s'est épurée de plus en plus, et que la végétation de l'époque houillère a contribué à la débarrasser d'une énorme quantité d'acide carbonique. Vers la fin de l'époque crétacée commencent à se manifester les premiers signes d'inégalité dans les climats et de refroidissement dans le nord des continents. Ces signes se marquent davantage pendant la période suivante. A l'époque éocène, la température des environs de Paris n'était plus que juxta-tropicale; à la fin de l'époque tertiaire, elle différait à peine de ce qu'elle est aujourd'hui. Le refroidissement avait commencé par les régions circumpolaires, et désormais les lignes isothermes se dessinent à la surface du globe. Bientôt se produisent les phénomènes qui rendent tout à fait remarquable et exceptionnelle la période quaternaire:

de véritables déluges inondent et ravagent les terres fermes, les glaciers des pôles et ceux des montagnes prennent une énorme extension, et après de nombreuses oscillations la température finit par demeurer stationnaire, et les temps actuels commencent. Il y a donc, en somme, une première période d'un refroidissement continu, à laquelle succède une longue période d'une chaleur égale et uniforme, suivie d'une troisième époque de refroidissement lent et régulier; puis se manifestent les oscillations de la période glaciaire, laquelle fait place à l'état de choses actuel.

**Causes du premier refroidissement.** — Le premier refroidissement s'explique d'une manière naturelle par le rayonnement de la planète, désormais isolée dans l'espace, et ne trouvant plus d'aliment en elle-même pour entretenir sa chaleur originelle; mais la période de stabilité qui lui succède est loin d'avoir donné lieu à des hypothèses aussi satisfaisantes.

**Les phénomènes extraordinaires ne peuvent être invoqués.** — Avant toute discussion, il y a un point sur lequel je dois beaucoup insister : c'est que les phénomènes astronomiques extraordinaires ne peuvent être invoqués. Abandonnée à elle-même, la terre a continué et continuera de décrire dans l'espace ses ellipses éternelles, uniquement modifiées par les causes perturbatrices signalées par les astronomes. Rien ne peut, en effet, justifier les théories contraires, les lois de la mécanique démontrant que le mouvement communiqué ne change jamais de nature et ne varie jamais. Je ne me préoccuperais donc point du renversement de l'axe de rotation, non plus que de l'accélération ou du ralentissement du mouvement diurne ou du mouvement annuel, et de phénomènes analogues, qui ont été gratuitement imaginés. J'écarterai également les suppositions de chocs de comètes ou de bolides, de variation dans la température de la portion de l'espace que parcourt le système planétaire, d'augmentation ou de diminution passagère dans la chaleur et l'éclat du soleil, de réchauffement par un astre vagabond, de refroidissement par un essaim d'astéroïdes interposé entre la terre et le soleil, et autres conceptions de même ordre qui, sans être toutes improbables, ne se trouvent absolument justifiées par quoi que ce soit. En un mot, je ne m'occuperai pas des systèmes de pure imagination. Toutes ces hypothèses éliminées, il ne reste que la chaleur centrale et celle du soleil auxquelles on puisse attribuer l'élévation, sinon l'uniformité de température, si caractéristique de la deuxième période climatérique.

**Influence de la chaleur centrale.** — En ce qui concerne la chaleur centrale, il est de la dernière évidence qu'elle a beaucoup contribué à élever autrefois la température extérieure du globe. N'oublions pas que son influence actuelle a été estimée par Fourier à un trentième de degré, environ, et que, dans les pays équatoriaux, l'augmentation de la chaleur interne commence à partir d'une profondeur de 2 ou 3 décimètres. Quelques milliers de siècles auparavant, cette chaleur arrivait jusqu'à la surface du sol; et en remontant dans les âges, elle s'étendait de plus en plus de part et d'autre de l'équateur, et augmentait proportionnellement en intensité. Cependant, cette hypothèse est absolument inconciliable avec l'état actuel des choses, et notamment avec l'existence d'un soleil doué de la même chaleur qu'aujourd'hui. En effet, comme l'inclinaison de l'axe terrestre sur le plan de l'écliptique n'a jamais varié que d'une quantité peu importante, l'équateur a reçu en tout temps beaucoup plus de chaleur solaire que les pôles, et le rapport entre l'échauffement équatorial et l'échauffement polaire n'a jamais pu changer sensiblement. Si donc les pôles avaient autrefois possédé une température moyenne de 30 degrés, par le fait seul de la chaleur centrale, celle de l'équateur se serait élevée à un tel point, que les êtres vivants n'auraient pu subsister dans la zone torride. Tout au moins, leurs espèces auraient énormément différé de celles des régions polaires. On a dit, et j'ai répété (*Revue scientifique* du 8 juillet 1871) que cette élévation de la température équatoriale aurait eu pour cause l'addition de la chaleur solaire à la chaleur centrale. Exposée en pareils termes, l'assertion est inexacte. Si, en effet, nous imaginons un corps matériel placé entre deux foyers d'une égale intensité, et fournissant, par exemple, 30 degrés chacun, ce corps arrive à se mettre en équilibre avec les foyers et ne prend que 30 degrés. Or, l'atmosphère terrestre est précisément un corps matériel placé entre le soleil et le feu central, et recevant de chacun de ces foyers, d'après l'hypothèse, une chaleur à peu près égale. Dans ces conditions, la température équatoriale ne dépasserait point celle des foyers. Mais, en frappant verticalement la zone torride, le soleil la maintient dans un milieu infiniment plus chaud que celui où se trouvent les zones glaciales, exposées presque sans protection au froid de l'espace. Il en résulte que, pour porter à 30 degrés la température moyenne des régions circumpolaires, le feu central, dont la puissance est, pour ainsi dire, illimitée, devait leur fournir une chaleur beaucoup plus grande; et cet excès de chaleur élevait

d'autant la moyenne des régions équatoriales. Or, comme ces contrées nourrissaient, pendant la période paléozoïque et la presque totalité de la période mésozoïque, les mêmes animaux et les mêmes végétaux que les régions circumpolaires, on est forcé d'admettre que leur température moyenne n'excédait pas sensiblement celle qui existe de nos jours entre les tropiques. Il en résulte que si le soleil avait alors possédé sa chaleur actuelle, le feu central aurait rendu inhabitables les régions équatoriales, et que si l'influence de ce dernier avait cessé de se manifester au dehors, le soleil aurait produit les mêmes résultats, puisque, pour entretenir au Spitzberg, dont la moyenne actuelle est de  $-8^{\circ},6$ , une flore et une faune tropicales, il aurait dû élever énormément celle de la zone torride. Considérée isolément, la chaleur centrale a toujours exercé son action d'une manière uniforme à la surface terrestre ; elle aurait parfaitement suffi pour produire et entretenir l'état climatérique du globe, pendant la période qui nous occupe. Comme il n'en est pas de même du soleil, nous sommes inévitablement conduit à attribuer au feu central la cause principale, sinon la cause unique de l'uniformité de la température de cette période. Cependant on ne peut supprimer le soleil. Force est donc de chercher une hypothèse expliquant, soit l'affaiblissement, sinon l'annihilation de l'influence de cet astre, soit l'uniformité de son action à toutes les latitudes.

**Hypothèse de M. Blandet.** — M. Blandet paraît entrer dans ce dernier ordre d'idées. Prenant pour point de départ le système de Laplace, il suppose que, pendant tout le temps qu'a régné l'uniformité de température, le soleil, beaucoup moins condensé, et presque nébuleux, occupait dans le ciel un espace considérable, 20 ou 30 degrés peut-être, et que les planètes inférieures, Mercure, par exemple, faisaient encore partie de sa masse. Plus faible et plus égale, puisqu'elle provenait d'une surface infiniment plus étendue, la chaleur solaire tombait moins obliquement sur les pôles terrestres, et échauffait uniformément la planète, qui jouissait ainsi d'une température constante et modérément élevée. Je ne suis pas assez compétent pour oser discuter cette hypothèse au point de vue de la physique mathématique ; elle me paraît cependant inconciliable avec l'intervention, qui a eu lieu en tout temps, de certains phénomènes astronomiques dont il sera question ci-après ; et je crois qu'on peut lui reprocher, en outre, d'offrir les inconvénients de tous les systèmes exclusifs, qui attribuent à une cause unique des

résultats auxquels ont souvent part une infinité de facteurs, comme c'est certainement ici le cas.

**Facteurs dont il faut tenir compte dans tous les systèmes. —**

Si, en effet, renonçant pour le moment aux grandes théories, nous essayons de dégager les inconnues du problème si compliqué des climats d'autrefois, nous trouvons, dans la composition de l'ancienne atmosphère et dans la distribution des terres et des mers, quelques indications utiles. Comme les terres fermes ont sans cesse gagné en superficie, les eaux marines occupaient jadis beaucoup plus d'espace sur le globe, et contribuaient, dans une certaine mesure, à entretenir un climat marin, c'est-à-dire uniforme. L'atmosphère était certainement plus étendue, plus lourde, plus humide, plus riche en acide carbonique que de nos jours; elle s'opposait donc beaucoup plus énergiquement à la perte de la chaleur obscure, tout en se laissant traverser par la chaleur lumineuse du soleil. A ce propos, je rappellerai que M. Tyndall estime que quelques centièmes d'acide carbonique dans l'air empêchent presque absolument le rayonnement de la chaleur obscure, sans mettre obstacle à la chaleur lumineuse. La terre se trouvait donc comme en serre chaude, et l'énorme quantité de vapeur aqueuse atmosphérique entretenait dans les zones équatoriales, plus encore que de nos jours, ces épais rideaux de nuages qui modèrent l'ardeur d'un soleil vertical. Je suis loin de prétendre que là soient toutes les causes de l'égalité de température d'autrefois, mais je crois que toutes les théories sont obligées de tenir compte de l'ancienne composition de l'atmosphère.

**Nouvelle hypothèse proposée par l'auteur. —** En combinant le système de M. Blandet avec l'hypothèse du réchauffement par le feu central, et en prenant en considération les aperçus qui précèdent, on arrive presque à quelque chose de satisfaisant. Il suffit d'admettre que, pendant toute la période à température uniforme, la terre recevait du feu central la plus grande partie de sa chaleur externe, et que le soleil, encore un peu nébuleux, ne l'échauffait que faiblement. Protégées par leurs nuages, les régions équatoriales ne pouvaient prendre de cet astre un excès de chaleur, et, d'un autre côté, la pression, l'acide carbonique et la vapeur aqueuse mettaient obstacle au refroidissement. L'influence solaire étant pour ainsi dire annihilée, restait seulement le feu central, qui exerçait également son action sur toutes les parties de la terre. Il est bien entendu que je ne donne cette théorie que pour ce qu'elle vaut, c'est-à-dire

comme une pure hypothèse, elle-même issue d'une autre hypothèse, puisqu'elle s'appuie sur la doctrine d'Herschell et de Laplace. On pourrait aussi bien accepter toute autre supposition aboutissant aux mêmes fins, et qui ne s'écarterait pas trop des limites du probable.

**Troisième période climatérique : refroidissement régulier.** —

La troisième période climatérique, marquée par le refroidissement lent et régulier qui commence vers la fin de l'époque crétacée, s'explique assez naturellement au moyen de l'hypothèse que je viens d'exposer. On admettrait alors que la température a baissé, et que les climats se sont peu à peu dessinés, parce que l'influence du feu central a cessé pendant cette période, que le soleil s'est condensé pour devenir notre unique source de chaleur et que l'atmosphère s'est épurée. A tout autre point de vue, et en supposant la terre refroidie et le soleil condensé depuis longtemps, on ne devine pas pourquoi la chaleur aurait diminué.

**Quatrième période : oscillations climatériques de l'époque quaternaire.** — La quatrième époque climatérique est caractérisée par les alternances de froid et de chaud qui ont amené les pluies diluviennes et les glaces de l'époque quaternaire. Ici le problème se complique singulièrement. Si, en effet, on peut aisément concevoir, sauf à l'expliquer plus tard, un refroidissement lent et progressif, comment se rendre compte des oscillations de température de l'époque? Qu'elle soit tombée à l'état solide ou à l'état liquide, il faut expliquer l'origine de l'énorme quantité d'eau précipitée de l'atmosphère pour entretenir les anciens glaciers et pour creuser les vallées d'érosion. Ce n'est pas sérieusement qu'on pourrait soutenir aujourd'hui que les seuls auxiliaires des glaciers ont été la longueur du temps et l'intensité du refroidissement, et que les vallées d'érosion furent creusées par les eaux provenant de la fonte des neiges. Ces vallées sont antérieures aux glaciers, qui les remplissent; et, d'un autre côté, on en voit commencer un nombre immense à des niveaux et dans des contrées où les glaciers n'ont jamais existé. A quelque point de vue que l'on se place, force est donc d'admettre que l'époque glaciaire a été marquée par des chutes d'eau d'une abondance et d'une continuité extraordinaires. Mais l'hypothèse d'un refroidissement subit et longtemps prolongé expliquerait au plus la possibilité d'une première averse. Il ne faut pas oublier que, pendant l'époque tertiaire, la température avait baissé graduellement, au point que vers la fin de cette période elle différerait

à peine de ce qu'elle est aujourd'hui. Dans de telles conditions, l'atmosphère ne pourrait plus renfermer une quantité extraordinaire de vapeur d'eau. Une fois précipitée, à la suite d'un refroidissement que nous supposons aussi intense que l'on voudra, cette eau devait retourner à l'atmosphère, afin de continuer à alimenter les pluies et les neiges incessantes de l'époque, ce qui indiquerait une élévation subite et considérable de température. Mais pour creuser si profondément les vallées d'érosion, il a fallu bien des siècles, bien des averses, bien des débâcles. Par conséquent, les pluies diluviennes ont duré fort longtemps. Quelle que soit la quantité de vapeur d'eau que renfermât alors l'atmosphère, elle devait se trouver épuisée en peu de jours, en quelques semaines au plus ; et il devient fort difficile de comprendre où des pluies aussi intenses et aussi prolongées pouvaient trouver leur aliment, car on est obligé d'imaginer des alternances de refroidissements et de réchauffements à courte échéance, se reproduisant des centaines et des milliers de fois à l'époque quaternaire.

L'hypothèse d'une grande augmentation dans l'inclinaison de l'axe terrestre sur l'écliptique se présente tout d'abord à l'esprit. Si notre globe s'est trouvé momentanément dans les conditions actuelles de la planète Vénus, on comprend que chacun de ses hémisphères ait été extraordinairement échauffé, puis refroidi, dans le cours d'une année. Mais c'est là une théorie que rien ne peut justifier, et qui se trouve en opposition avec les lois de la mécanique céleste.

**Hypothèses géologiques.** — Je ne rapporterai que pour mémoire d'autres opinions, qu'on pourrait qualifier de géologiques, et qui ne sont, à mon avis, que de pures hypothèses, quelquefois infiniment invraisemblables. Telle est, par exemple, l'idée émise par un savant allemand de l'échauffement des régions boréales par les roches éruptives anciennes. Plusieurs auteurs, qui admettent un refroidissement glaciaire intense et prolongé, l'attribuent à un exhaussement général des terres fermes. D'autres ont expliqué le retrait des glaciers de l'Europe par un réchauffement provenant de l'émergence subite du désert du Sahara, à la suite de laquelle les vents brûlants de cette partie de l'Afrique ont pu exercer leur influence sur les contrées septentrionales. Mais ils ne disent pas comment ont disparu les glaciers des deux Amériques. On a également fait intervenir le Gulf-stream et les courants marins ; mais le moyen d'en déterminer la direction, et même d'en prouver l'existence, quand

on ne sait pas exactement quelle était, à tous les instants du passé, la configuration précise des terres et des mers ?

**Causes astronomiques.** — Pour la solution de ces problèmes compliqués, dont je viens d'exposer les données principales, on a enfin invoqué les causes astronomiques ordinaires. Elles se présentent comme une dernière ressource, dont on userait d'autant plus volontiers, que nous nous sentons naturellement portés à en admettre l'intervention. Il importe donc de savoir à quoi nous en tenir à cet égard.

**Précession des équinoxes et nutation.** — En ce qui concerne la précession des équinoxes et la nutation, je crois avoir prouvé que ces deux phénomènes, considérés isolément, n'exercent qu'une influence presque inappréciable sur les climats, puisqu'ils se bornent à modifier la direction de l'astre terrestre, dont l'inclinaison demeure à peu près constante. Si les temps historiques sont trop courts pour que nous puissions apprécier les effets de la précession, et constater s'il y a ou non déluge périodique et déplacement du centre de gravité du globe tous les 10 500 ans, comme le veut M. Adhémar, au moins savons-nous fort bien, par l'expérience, que l'influence du mouvement de nutation, lequel s'achève en un peu moins de 19 ans, est complètement nulle. La précession des équinoxes a néanmoins contribué, si je ne me trompe, à augmenter la variété des phénomènes climatériques de l'époque quaternaire.

**Insuffisance apparente des causes astronomiques.** — D'un autre côté, il semble que l'hypothèse des causes astronomiques doive être complètement éliminée, puisque leurs effets ne se sont point manifestés pendant les périodes de stabilité puis de refroidissement régulier qui séparent l'époque laurentienne de l'époque quaternaire. En effet, durant cette incalculable suite de siècles, on ne découvre aucun indice certain de refroidissement ou de réchauffement. Et comme il est impossible de supposer que les causes astronomiques n'aient commencé à agir qu'à partir des temps diluviens, il semble qu'on doive tenir pour suspectes les explications qui les prennent pour point de départ. Ce n'est que dans le cas où l'hypothèse imaginée par l'auteur, ou toute autre analogue, serait une réalité, c'est-à-dire en supposant que l'influence du soleil ait été annihilée pendant la longue période de stabilité qui a précédé l'époque tertiaire, que l'on pourrait comprendre l'intervention presque subite de ces causes.

**Excentricité de l'ellipse.** — Il est vrai que l'une d'elles expliquerait suffisamment les phénomènes quaternaires : je veux parler de l'excentricité de l'ellipse. Préalablement je dois déclarer que mon attention a été attirée sur ce point par M. Bourguignat, dont je ne connais cependant pas le système, et avec qui je ne puis me rencontrer que fortuitement, et à mon insu, si rencontre il y a. L'idée première me paraît d'ailleurs appartenir à M. Croll. Voici ce que l'on pourrait dire :

Comme le globe terrestre ne perd aucun atome de sa matière, et n'en reçoit du monde extérieur que par les chutes d'aérolithes, il est de la dernière évidence que les pluies diluviennes ont été produites par les eaux terrestres seulement. Par conséquent, ces eaux ont été vaporisées puis condensées des milliers de fois. Chaque vaporisation suppose un échauffement, et chaque condensation, un refroidissement. S'il est prouvé que l'excentricité de l'ellipse ait pu varier au point que, dans sa révolution annuelle, la terre se soit trouvée sensiblement plus rapprochée du soleil à son périhélie, et plus éloignée à son aphélie, on a une explication aussi simple que naturelle de l'ensemble des phénomènes quaternaires. Chaque année la grande chaleur du périhélie augmentait l'évaporation, et, par conséquent, l'alimentation des pluies, et le froid rigoureux de l'aphélie précipitait, à la surface du sol, d'énormes quantités de neiges et d'eaux pluviales. Ainsi furent ouvertes les vallées d'érosion, ainsi purent s'étendre les anciens glaciers. Les effets de la précession des équinoxes, combinés avec ceux de l'excentricité de l'ellipse et de l'obliquité de l'écliptique, donnaient lieu, d'ailleurs, à un déplacement incessant des saisons, qui pouvait amener des complications suffisant à toutes les exigences, chaque hémisphère arrivant au périhélie ou à l'aphélie tantôt en hiver, tantôt en été, tantôt à un autre moment de l'année, et recevant plus ou moins obliquement les rayons du soleil. Le retour à un état de choses moins extrême avait pour conséquence les instants de calme, dits de réchauffement, pendant lesquels les glaciers opéraient leur retrait ; puis il survenait une nouvelle période diluvienne, quand les foyers de l'ellipse s'étaient suffisamment éloignés du centre. L'époque actuelle n'est qu'un des moments d'équilibre relatif de la température au périhélie et à l'aphélie ; elle sera infailliblement suivie d'une nouvelle période diluvienne et glaciaire. Si l'hypothèse est exacte, je n'ai pas besoin de dire que les écarts extrêmes de la température n'ont jamais été excessifs, puisque la vie n'a cessé d'exister un seul

instant. Il appartient d'ailleurs à l'astronomie et à la physique de nous apprendre à quel point sont fondées les conjectures que je viens d'exprimer, et d'indiquer le moment et la durée de toutes les périodes glaciaires passées et futures.

Déjà l'astronomie s'est, en partie, acquittée de sa tâche, les calculs de M. Croll et ceux de M. Carrick Moore montrant que, dans une période d'un million d'années avant notre ère, l'excentricité a varié de 0,0102 à 0,0575 de la distance moyenne au soleil; que la différence entre les plus grandes et les plus petites distances de la terre au soleil a été comprise entre 2 et 21 millions  $1\frac{1}{2}$  de kilomètres; enfin, que le nombre des jours d'hiver en excès a oscillé entre 4, 9 et 36, 4.

**Résumé.** — Je terminerai en résumant brièvement l'ensemble de mes hypothèses.

Abandonnée à elle-même dans les espaces célestes, la terre incandescente se refroidit par le rayonnement, et se revêt bientôt d'une enveloppe solide. Un peu plus tard, l'eau put subsister à l'état liquide; puis apparurent les végétaux et les animaux. Mais le soleil, encore à demi nébuleux, n'échauffait que faiblement la jeune planète, qui recevait du feu central presque toute sa chaleur. La composition particulière de l'atmosphère, plus lourde, plus épaisse, plus riche en acide carbonique et en vapeur d'eau, contribuait beaucoup à maintenir, sur tout le globe, une température uniforme et élevée. L'influence de l'excentricité de l'ellipse ne pouvait alors se faire sentir que faiblement, puisque l'action solaire se trouvait presque annihilée; tout au plus faut-il attribuer aux causes astronomiques les alternances de sécheresse et d'humidité qu'on a cru remarquer à diverses époques géologiques. Vers la fin de la période crétacée commencent à se montrer les effets de la condensation incessante du soleil. En même temps, la chaleur centrale cesse peu à peu de réagir à l'extérieur, et l'atmosphère achève de s'épurer. Alors se refroidissent les pôles terrestres, les isothermes se dessinent insensiblement et l'action des causes astronomiques devient prépondérante. La phase principale de la condensation solaire, la seule qui intéresse notre globe, se produit pendant la durée de la période tertiaire, à la fin de laquelle le soleil était arrivé à son état présent. Il faut également supposer que la terre se trouvait alors à peu près à sa distance actuelle du soleil au périhélie et à l'aphélie, puisque les effets de l'excentricité de l'ellipse ne se font sentir qu'à partir de l'époque suivante,

dont ils expliquent les allures climatériques extraordinaires. Aujourd'hui, notre planète se trouve dans une telle position, par rapport à l'astre central, que l'influence de l'excentricité de l'ellipse est presque insensible ; mais cette influence augmentera peu à peu, et, à l'avenir, le globe traversera une alternance de périodes diluviennes et de périodes ordinaires, tant que le soleil conservera sa chaleur, et que subsisteront les mers et l'atmosphère. L'absorption et la disparition probable de ces dernières fera définitivement passer la terre à l'état de lune.

**ÉPOQUE CONTEMPORAINE.** — Elle est marquée par l'inauguration de l'ordre de choses actuel. Les pluies diluviennes ont cessé, les neiges et les glaces se sont retirées, les isothermes prennent leurs inflexions définitives, les terres et les mers acquièrent le relief et la configuration que nous leur connaissons, les sédiments continuent à se déposer au sein des eaux, les deltas et les dunes s'établissent le long des rivages, les volcans à cratère rejettent au dehors leurs laves et leurs scories et l'homme règne en maître sur les êtres qui l'entourent. En un mot, les phénomènes actuels succèdent aux phénomènes anciens. Ainsi ramené à mon point de départ, après avoir parcouru toute la série des événements géologiques, il ne me reste plus qu'à prendre congé du lecteur.

F I N

# TABLE ALPHABÉTIQUE

## DES AUTEURS CITÉS

- A**
- Abbadie (d'), 72, 110, 111.  
 Abich, 175.  
 Acosta, 339.  
 Adhémar, 715.  
 Agassiz, 184, 241, 275, 471, 562, 695.  
 Airy, 48.  
 Alembert (d'), 41, 42.  
 Anaxagore, 103.  
 Angelin, 553.  
 Arago, 1, 44, 119.  
 Arcliac (d'), 619, 616.  
 Armstrong, 51.  
 Aubuisson (d'), 80, 109, 110, 309.  
 Austen, 577.
- B**
- Babinet, 258.  
 Baille, 20, 48.  
 Baily, 48.  
 Baroulier, 423.  
 Barral, 64.  
 Barrande, 404, 453, 469, 533, 550, 551, 553, 554, 555, 577, 617, 620, 675, 676.  
 Baur, 429.  
 Bayle, 651.  
 Beaumont (Élie de), 62, 77, 115, 309, 333, 420, 486, 491, 493, 499, 502 à 522.  
 Becquerel, 66, 108.  
 Beechey, 254.  
 Berghaus, 72.  
 Berthelot, 338.  
 Berthier, 495.  
 Bertin, 181.  
 Berton (de), 152.  
 Bertrand, 336.  
 Berzelius, 347.  
 Bessel, 45.  
 Beudant, 115.  
 Beyrich, 577.  
 Biot, 1, 44, 45, 65.  
 Bischof, 52, 53, 107, 116, 491, 495.
- Bixio, 64.  
 Blainville (de), 633.  
 Blandet, 711, 712.  
 Boblaye, 275.  
 Boccardo, 79, 82, 118, 202.  
 Bonpland, 26.  
 Bory Saint-Vincent, 309, 311.  
 Boucher de Perthes, 529.  
 Bouguer, 44.  
 Bourgeois, 529, 689.  
 Bourguignat, 639, 716.  
 Boussingault, 88, 107, 112, 166, 209.  
 Bradley, 42.  
 Bravais, 274.  
 Breislak, 325, 483.  
 Brodd, 274.  
 Brongniart (Ad.), 405, 579.  
 Brongniart (Al.), 274.  
 Bronn, 533, 577, 591, 597, 617, 620.  
 Buch (Léopold de), 491.  
 Buffon, 20, 80, 113, 116.  
 Burke, 123.
- C**
- Camus, 44.  
 Carlini, 44, 48.  
 Caron, 495.  
 Carpenter, 91, 92, 93, 260, 403, 470.  
 Carrick Moore, 717.  
 Cassini, 42, 44.  
 Cavendish, 48.  
 Celsius, 44, 273.  
 Chamisso, 362, 363.  
 Clairault, 44.  
 Collomb, 241.  
 Cooper, 122.  
 Copernic, 42.  
 Coquand, 165.  
 Corda, 580.  
 Cordier, 78, 83, 98, 106, 109, 118, 205, 206, 215, 228, 248, 272, 275, 331, 348, 349, 392, 394, 395, 401, 405, 413, 455.  
 Cornu, 48.
- Couppvent-Desbois, 90, 91, 156, 157, 253.  
 Coxwell, 64.  
 Croll, 258, 716, 717.  
 Cuvier, 529, 683.
- D**
- Dana, 80, 315, 357.  
 Darwin, 359, 362, 378.  
 Daubrée, 28, 161, 216, 328, 329, 344, 406, 423, 429, 484, 491, 493, 495.  
 Dausse, 227.  
 Davidson, 577.  
 Davy, 113, 315, 328.  
 Dawson, 403.  
 Deane, 614.  
 Degoussé et Laurent, 282.  
 Delambre, 44, 65.  
 Delaunay, 38.  
 Delcros, 152.  
 Delesse, 115, 484, 491.  
 Deluc, 103.  
 Denham, 81.  
 Denza, 161.  
 Descartes, 113.  
 Descloizeaux, 386.  
 Deshayes, 676.  
 Des Moulins (Ch.), 242.  
 Desnoyers, 529.  
 Desor, 189.  
 Despretz, 90.  
 Deville (Ch. Sainte-Claire), 278, 333, 335, 495.  
 Deville (H. Sainte-Claire), 495.  
 Dixon, 44.  
 Dolomieu, 275, 283, 313.  
 Domeyko, 274.  
 Donati, 24.  
 Dufrenoy, 493.  
 Durocher, 82, 391, 483, 490, 491, 495, 513, 522.
- E**
- Ebelmen, 52, 430, 495.



Saigey, 1, 66.	Studer, 491.	Verneuil (de), 119, 316, 568
Saporia (de), 603.	Symond, 152.	Vertch, 275.
Sauroth, 603.		Vézian, 79, 108, 333, 514, 515
Saussure (de), 109, 182, 184.		à 517, 519.
Savy (B.), 84.	<b>T</b>	Violette, 423.
Schiaparelli, 27.	Tate, 647.	Virlet, 338.
Schimper, 580.		
Schmidt (J.), 19.	Thomassy, 243.	<b>W</b>
Schoerer, 483.	Thurmann, 67, 177, 214, 427,	Waagen, 609.
Schroeter, 19.	428, 439, 446.	Wallich, 372.
Scott-Roussel, 258.	Torell, 93.	Warren de la Rue, 10.
Secchi, 14.	Trève, 97.	Weber, 253.
Senarmont (de), 484, 491, 495.	Tuld, 82.	Werner, 400, 482, 486.
Shallow, 603.	Tycho-Brahé, 42.	Wisse, 353.
Sharpe, 429.	Tyndall, 61, 62, 63, 89, 183,	Wrangel, 45.
Shortland, 91.	184, 241, 429, 712.	Wyville-Thomson, 93.
Sismonda, 404, 405.		
Sorby, 429, 483, 484, 491.	<b>U</b>	<b>X</b>
Spallanzani, 309, 311, 315, 316.		Young, 80,
Speake, 422.	Ulloa, 44.	Yvon-Villarceau, 45.
Stannyan, 11.		
Sterry-Hunt, 98, 114.	<b>V</b>	
Stocke, 48.		
Struve (O.), 8, 152.	Vauvert, 339, 340,	
Struve (W.), 45.		

FIN DE LA TABLE DES AUTEURS CITÉS.

## TABLE DES FIGURES

<p>1. Nébuleuse d'Orion..... 3</p> <p>2. Nébuleuse des Chiens de chasse..... 4</p> <p>3. Nébuleuse spirale de la Vierge. 5</p> <p>4. Nébuleuse du Lion..... 5</p> <p>5. Nébuleuse planétaire des Pois- sons..... 5</p> <p>6. Étoile nébuleuse de Persée. 5</p> <p>7. Lactée d'Hercule..... 7</p> <p>8. Taches du soleil le 2 sep- tembre 1839, d'après Warren de la Rue et A. Guillemin... 10</p> <p>9. Taches et facules..... 10</p> <p>10 à 12. Protubérances roses, d'a- près M. Secchi..... 11</p> <p>13 à 15. Protubérances roses, d'a- près M. Secchi..... 12</p> <p>16. Couronne et protubérances roses pendant l'éclipse totale du 18 juillet 1860..... 13</p> <p>17. Anneau de Saturne... 16</p> <p>18. Montagnes lunaires, d'après Nasmyth..... 17</p> <p>19. Grande comète de 1811... 21</p> <p>20. Comète de Donati, le 6 dé- cembre 1858..... 22</p> <p>21. Comète de Biéla, le 19 février 1846..... 24</p> <p>22. Vue de Mars, d'après Warren de la Rue et A. Guillemin. 33</p> <p>23. Cercles de la sphère terrestre. 36</p> <p>24. Lignes isothermes, isothères et isochimènes en Europe.. 71</p> <p>25. Hémisphère terrestre et héli- sphère marin..... 78</p> <p>26. Coupe théorique de l'écorce solide..... 95</p> <p>27. Coupe théorique d'une mon- tagne prismatique de sou- lèvement..... 126</p>	<p>28. Coupe théorique de la mon- tagne de la Chaux, près de Montbéliard..... 126</p> <p>29. Pyramide du mont Cervin... 127</p> <p>30. Cône du Cotopaxi..... 127</p> <p>31. Cratères éguculés de l'Au- vergne..... 128</p> <p>32. Mont Mézenc, vu des Estables. 128</p> <p>33. Dômes de l'Auvergne..... 129</p> <p>34. Ballons des Vosges..... 129</p> <p>35. Kayserstuhl, vu de Fribourg en Brisgau..... 130</p> <p>36. Tables et plateaux basaltiques. 130</p> <p>37. Coupe idéale de la falaise sous-vosgienne, au nord de Montbéliard..... 131</p> <p>38. Volcans d'Auvergne, vus de la route des monts Dore... 133</p> <p>39. Profil des Alpes (dents et ai- guilles)..... 141</p> <p>40. Profil des Pyrénées vues de Toulouse, d'après de Char- pentier..... 140</p> <p>41. Chaîne de Lomont (Jura), vue de Porrentruy..... 142</p> <p>42. Le Valais, à Saint-Maurice.. 144</p> <p>43. Coupe théorique des vallées de ploiement du Jura..... 145</p> <p>44. Soulèvements et plissements du Jura..... 145</p> <p>45. <i>Cañones</i> du Colorado..... 146</p> <p>46. Vallée d'érosion..... 147</p> <p>47. Débris remaniés..... 170</p> <p>48. Roches cannelées dans le Jura..... 171</p> <p>49. Falaise maritime..... 172</p> <p>50. Blocs du Sidobre..... 173</p> <p>51. Glacier de Zermatt à son ori- gine..... 179</p> <p>52. Crevasses marginales du gla-</p>
---	---

cier de Zernatt et moraines superficielles . . . . .	185	88. La craie au microscope . . . . .	373
53. Crevasses transversales de la mer de glace, près de Chamouix . . . . .	187	89. Exemple de sédimentation mécanique et de sédimentation chimique . . . . .	411
54. Glacier de l'Arveyron au mauvais pas du Chapeau . . . . .	191	90. Rognons siliceux de la craie . . . . .	426
55. Moraines et affluents du glacier du mont Cervin . . . . .	193	91. Fissures de retrait (diaclines) dans une carrière du Jura . . . . .	427
56. Montagnes de glace . . . . .	201	92. Carrière de dalle nacrée, près de Montbéliard . . . . .	428
57. Coupe théorique d'un puits artésien . . . . .	212	93. Carrière de schistes ardoisiers . . . . .	429
58. Stalactites et stalagmites . . . . .	217	94. Stratification irrégulière . . . . .	434
59. Embouchures du Mississipi . . . . .	244	95. Couches redressées verticalement . . . . .	437
60. Courants marins, d'après Maury . . . . .	262	96. Couches ondulées . . . . .	437
61. Coupe théorique des ablations du rivage jurassique sous-vosgien . . . . .	266	97. Couches en zigzag . . . . .	438
62. Coupe théorique d'une plage et d'un cordon littoral . . . . .	268	98. Couches en éventail . . . . .	438
63. Temple de Sérapis . . . . .	276	99. Stratification concordante . . . . .	438
64. Distribution géographique des volcans . . . . .	296	100. Exemple de stratification discordante et transgressive . . . . .	438
65. Coupe théorique d'un volcan sans cratère . . . . .	298	101. Exemple de failles . . . . .	439
66. Lac Pavin . . . . .	299	102. Tête et pied de faille . . . . .	440
67. Coupe théorique d'un cratère de soulèvement . . . . .	300	103. Fossile complet (huitre) . . . . .	442
68. Coupe théorique d'un volcan à cône et à cratère . . . . .	300	104. Fossile incomplet (bêlemnite) . . . . .	443
69. Coupe théorique du Vésuve . . . . .	302	105. Moule extérieur (pholadomye) . . . . .	443
70. Volcans d'Auvergne, vus du sommet du puy de Dôme, côté nord . . . . .	303	106. Empreinte extérieure . . . . .	444
71. Une éruption volcanique : première phase . . . . .	305	107. Moule intérieur (cératite) . . . . .	444
72. Une coulée de laves du Vésuve . . . . .	314	108. Empreintes de pas de reptiles . . . . .	445
73. Cratère du Kilauea . . . . .	324	109. Empreintes de gouttes de pluie à côté d'une empreinte de pas d'oiseau . . . . .	446
74. Salses de Turbaco . . . . .	339	110. Cololithes . . . . .	447
75. Geysers de l'Islande . . . . .	341	111. Coprolithe . . . . .	448
76. Coprolite de reptile . . . . .	352	112. Calcaire à entroques . . . . .	449
77. Polypier massif . . . . .	355	113. Empreinte de feuille de fougère . . . . .	450
78. Polypier branchu . . . . .	355	114. Enclave transversal granitique . . . . .	476
79. Récif barrière de la côte de Pernambuco . . . . .	359	115. Massif porphyrique . . . . .	476
80. Atoll des Cocos . . . . .	361	116. Dyke . . . . .	476
81. Carte des îles et des récifs de polypiers dans l'océan Pacifique . . . . .	364	117. Structure d'une roche éruptive . . . . .	477
82. Carte des îles et des récifs de polypiers dans l'océan Indien et les mers de la Chine . . . . .	365	118. Colonnes basaltiques . . . . .	477
83. Éponge . . . . .	369	119. Écueil basaltique de Trezza . . . . .	478
84. Foraminifères . . . . .	370	120. Surface d'une coulée basaltique divisée en prismes . . . . .	478
85. Foraminifères et microzoaires . . . . .	371	121. Roche éruptive injectée dans une roche sédimentaire . . . . .	479
86. Diatomées . . . . .	372	122. Filons croiseurs, croisés, rejetés, interceptés . . . . .	486
87. Microzoaires et microphytes de la boue à globigérines . . . . .	373	123. Halysites agglomerata . . . . .	534
		124. Le même en section transversale grossie . . . . .	534
		125. Halysites agglomerata . . . . .	535
		126. Omphyma turbinata . . . . .	535
		127. Stauria astreiformis . . . . .	535
		128. Graptolithus turriculatus . . . . .	536

129. Graptolithus priodon.....	536	182. Murchisonia intermedia...	560
130. Diprion pristis.....	536	183. Cirrus spinosus.....	560
131. Apioocrinus Royssianus....	537	184. Solarium trigonale.....	561
132. Ichthyocrinus laevis.....	538	185. Conularia ornata.....	561
133. Cyathocrinus pyriformis...	538	186. Orthoceras subannulare...	561
134. Palaeaster niagarensis.....	538	187. Clymenia Sedgwickii.....	561
135. Fenestella tenuiceps.....	540	188. Gyroceras ornatum.....	562
136. Fragment grossi, du même.	540	189. Goniatites lamellosus.....	562
137. Atrypa velox.....	542	190. Phacops latifrons.....	562
138. Pentamerus galeatus.....	542	191. Dalmania punctata.....	563
139. Orthis rustica.....	542	192. Pterygotus anglicus.....	563
140. Strophomæna rhumboidalis.	543	193. Cypridina striato-serrata...	563
141. Crania divaricata.....	543	194. Ichthyodorulite.....	564
142. Lingula ovata.....	543	195 et 196. Écailles de ganôide	
143. Ambonychia bellistriata...	544	rhombifère.....	565
144. Avicula demissa.....	544	197. Écailles de ganôide cycli-	
145. Avicula emacerata.....	544	fère.....	565
146. Orthoconque intégropalléale		198. Pterichthys Milleri.....	565
(Lucina).....	544	199. Cephalaspis Lyellii.....	565
147. Orthoconque sinupalléale		200. Restauration d'un poisson	
(Cytherea).....	544	ganôide rhombifère.....	566
148. Ctenodonta nasuta.....	545	201. Holoptychus Andersonii...	566
149. Modiolopsis modiolaris....	545	202. Fusulina cylindrica.....	571
150. Grammysia cingulata.....	545	203. Chladoconus crassus.....	571
151. Euomphalus profundus....	546	204. Syringopora geniculata....	571
152. Scalites angulatus.....	546	205. Beaumontia Egertoni.....	571
153. Bellerophon bilobatus....	546	206. Cyathoxonia cornu.....	572
154. Platyceras angulatum.....	546	207. Pentremites pyriformis...	572
155. Anatomie du Nautile.....	547	208. Atocrinus Milleri.....	572
156. Tronçon d'Ammonite mon-		209. Palechinus elegans.....	572
trant les lobes et les selles,		210. Archæocidaris Wortheni...	572
vu du côté du dos.....	548	211. Spirifer striatus.....	573
157. Tronçon d'Ammonite mon-		212. Chonetes sarcinulata.....	573
trant les lobes et les selles,		213. Productus longispinus....	573
vu de profil.....	548	214. Productus scabriculus....	573
158. Orthoceras regulare.....	550	215. Arca Lacordaireana.....	574
159. Actinoceras cochleatum....	550	216. Conocardium aliforme.....	574
160. Gomphoceras ellipticum....	550	217. Bellerophon cornu-arictis..	574
161. Hortolus perfectus.....	550	218. Capulus vetustus.....	574
162. Lituites Odini.....	550	219. Euomphalus pugilus.....	575
163. Sao hirsuta, à différents états		220. Nautiloceras aigoceras....	575
de développement.....	552	221. Nautilus Levellianus.....	575
164. Calymene Blumenbachii....	552	222. Nautilus Konninckii.....	576
165. Trinucleus Pongerardi....	553	223. Écailles de Palæoniscus car-	
166. Illænus Davisii.....	553	bonifère.....	576
167 et 168. Chætetes Trigeri..	556	224. Écailles de Palæoniscus per-	
169 et 170. Cyathophyllum he-		mien.....	576
terophyllum.....	557	225. Vertèbres de l'Eosaurus aca-	
171. Acervularia pentagona....	557	dianus.....	576
172. Ctenocrinus stellaris.....	557	226. Cyclophthalmus de Bohême.	578
173. Haplocrinus mespiliformis..	558	227. Aile de Blattina.....	578
174. Strigocephalus Burtini....	558	228. Raniceps Lyellii.....	579
175. Coupe longitudinale du		229. Tête d'Archegosaurus....	579
même.....	558	230. Equisetum arvense muni de	
176. Spirifer macropterus.....	558	son rhizome et de sa fruc-	
177. Spirigera concentrica....	559	tification.....	581
178. Calceola sandalina.....	559	231. Equisetum palustre.....	582
179. Orthis striatula.....	559	232. Coupe transversale grossie	
180. Pterinea laevis.....	560	de l'Equisetum eburneum.	582
181. Avicula flabella.....	560	233. Calamites Suckowii.....	583

234. Calamites cannaeformis . . . . .	583	273. Ammonites globosus . . . . .	611
235. Base d'une tige de calamites cannaeformis . . . . .	584	274. Pemphix Seuerii . . . . .	612
236. Sphenopteris acutiloba . . . . .	584	275. Estheria ovata . . . . .	612
237. Sphenopteris Hœninghausii . . . . .	585	276. Estheria ovalis . . . . .	612
238. Callipteris conferta . . . . .	586	277. Larve d'Ephémère . . . . .	612
239 et 240. Tiges de fougères ar- borescentes du Brésil et section transversale de ces tiges . . . . .	587	278. Fragment grossi de la sec- tion transversale d'une dent de labyrinthodonte . . . . .	613
241. Section transversale d'un Psa- ronius de grès rouge . . . . .	588	279. Tête du Mastodonsaurus læ- geri, vue en dessus . . . . .	613
242. Lepidodendron aculeatum . . . . .	589	280. Tête du même, vue en des- sous . . . . .	613
243. Le même, après la chute des cousinets foliaires . . . . .	589	281. Tronc du Telerpeton Elgi- nense . . . . .	614
244. Lepidodendron quadratum . . . . .	589	282. Empreintes de pas d'oiseaux (ornithichnites), et de gout- tes de pluie sur le grès du trias des États-Unis . . . . .	615
245. Fragment de tige de Cala- modendrée . . . . .	590	283, 284, 285. Empreintes de pas d'oiseaux (ornithichni- tes), sur le même grès . . . . .	615
246. Moelle minéralisée d'une ca- lamodendrée . . . . .	590	286. Empreintes de pas de rep- tiles (Chirotherium) . . . . .	616
247. Asterophyllites equisetifor- mis . . . . .	591	287. Mâchoire inférieure du Dro- matherium silvestre . . . . .	616
248. Sigillaria tessellata . . . . .	592	288. Voltzia heterophylla . . . . .	617
249. Sigallaria Davreuxii . . . . .	592	289. Branche et cône du même . . . . .	618
250. Stigmaria munie de ses ra- dicelles . . . . .	593	290. Pterophyllum lægeri . . . . .	619
251. Stigmaire en place, d'après M. Schimper . . . . .	594	291. Montlivaltia trochoides . . . . .	621
252. Coupe transversale du tronc d'un Cycas . . . . .	594	292. Latomeandra Davidsoni . . . . .	621
253. Sphenophyllum angustifo- lium . . . . .	595	293. Comoseris vermicularis . . . . .	621
254. Le même restauré, d'après M. Schimper . . . . .	595	294. Loboœnia obeliscus . . . . .	621
255. Annularia sphenophylloides . . . . .	596	295. Pentacrinus fasciculosus . . . . .	623
256. Anthelites . . . . .	596	296. Saccocoma pectinata . . . . .	623
257. Un paysage de l'époque houillère . . . . .	599	297. Tropicaster pectinatus . . . . .	623
258. Fenestella retiformis, avec fragment grossi . . . . .	602	298. Hemicidaris crenularis . . . . .	624
259. Productus horridus . . . . .	602	299. Pedina sublævis . . . . .	624
260. Camarophoria Schlotheimii . . . . .	602	300. Baguette du Rhabdocidaris maxima . . . . .	625
261. Coupe verticale d'un cama- rophoria . . . . .	602	301. Baguette du Cidaris Blumen- bachii . . . . .	625
262. Schizodus truncatus . . . . .	602	302. Clypeus Hugii . . . . .	625
263. Palæoniscus Freslebeni . . . . .	603	303. Collyrites ellipticus . . . . .	625
264. La France et l'Angleterre à la fin de l'époque jurassi- que . . . . .	606	304. Entalophora cellarioides . . . . .	626
265. Ecerinus liliiformis . . . . .	608	305. Diastopora foliacea . . . . .	626
266. Aspidura loricata . . . . .	608	306. Lichenopora Phillipii . . . . .	626
267. Mytilus eduliformis . . . . .	609	307. Terebratula numismalis . . . . .	626
268. Myophoria (Trigonion) vulga- ris . . . . .	609	308. Terebratula digona . . . . .	627
269. Perna vetusta . . . . .	609	309. Rhynchonella spinosa . . . . .	627
270. Ceratites (ammonites) nodo- sus . . . . .	610	310. Spirifer Walcotii . . . . .	627
271. Ceratites (ammonites) semi- partitus . . . . .	610	311. Ostrea deltoidea . . . . .	627
272. Ammonites Aon . . . . .	611	312. Ostrea (exogyra) virgula . . . . .	628
		313. Ostrea (gryphæa) arcuata . . . . .	628
		314. Gervilia Hartmanni . . . . .	628
		315. Dicerias Sanctæ Verenæ . . . . .	628
		316. Trigonion clavellata . . . . .	628
		317. Astarte detrita . . . . .	629
		318. Corbis subdecussata . . . . .	629
		319. Geromya excentrica . . . . .	629
		320. Anatina versicostata . . . . .	630

321. <i>Pholadomya acuticosta</i> ....	630	366. <i>Micraster cor-anguinum</i> ...	652
322. <i>Pleurotomaria conoidea</i> ....	631	367. <i>Lichenopora organisans</i> ...	652
323. <i>Nerinea dilatata</i> .....	631	368. <i>Eschariflora flabellata</i> ....	653
324. <i>Turbo subduplicatus</i> .....	631	369. <i>Semityps rugosa</i> .....	653
325. <i>Chemnitzia Heddingtonensis</i>	631	370. Le même, portion grossie.	654
326. <i>Ammonites bisulcatus</i> ....	632	371, 372. <i>Lanulites regularis</i> ..	654
327. <i>Ammonites margaritatus</i> ...	632	373. <i>Terebratula prælonga</i> ....	655
328. <i>Ammonites Jason</i> .....	633	374. <i>Terebratula diphyoides</i> ...	655
329. <i>Nautilus lineatus</i> .....	633	375. <i>Terebrirostra neocomiensis</i> .	655
330. Calmar commun et son os- selet.....	634	376. <i>Rhynchonella Vespertilio</i> ..	655
331. Section longitudinale d'un rostre de Bélemnite muni de son cône alvéolaire...	635	377. Valve inférieure d' <i>Hippurites</i> <i>radiosus</i> , laissant voir les piliers.....	656
332. Section transversale du même.....	635	378. Jeune individu vu en dessus, et montrant toute la sur- face de la valve supé- rieure.....	656
333. Restauration d'une Bélem- nite, d'après d'Orbigny..	635	379. Valve supérieure, munie de ses dents cardinales.....	657
334. <i>Belemnites clavatus</i> .....	636	380. Section d'une <i>Hippurite</i> , montrant les deux valves en place.....	657
335. <i>Belemnites tripartitus</i> ....	636	381. Groupe d' <i>Hippurites Touca-</i> <i>sianus</i> à différents âges..	658
336. <i>Belemnites unicanaliculatus</i>	636	382. <i>Radiolites mamillaris</i> ....	658
337. Squelette restauré d'un ga- noïde homocerque à corde dorsale, d'après Agassiz.	637	383. <i>Radiolites agariciformis</i> ...	659
338. <i>Teleosaurus Cadomensis</i> ....	638	384. <i>Caprina adversa</i> .....	659
339. Dent d' <i>Ichthyosaure</i> .....	638	385. <i>Caprinella triangularis</i> ....	659
340. Dent de <i>Plésiosaure</i> .....	638	386. <i>Ostrea (exogyra) columba</i> ..	660
341. Vertèbres d' <i>Ichthyosaure</i> ..	638	387. <i>Spondylus truncatus</i> .....	660
342. Vertèbres de <i>Plésiosaure</i> ..	638	388. <i>Pecten (janira) quinquecos-</i> <i>tatus</i> .....	661
343. Tête d' <i>Ichthyosaure</i> .....	639	389. <i>Plicatula radiola</i> .....	661
344. Squelette restauré de <i>Plésio-</i> <i>saure</i> .....	640	390. Charnière de <i>Trigonic</i> ....	661
345. Squelette du <i>Plesiosaurus</i> <i>macrocephalus</i> .....	641	391. <i>Trigonia aliformis</i> .....	662
346. Squelette de <i>Ptérodactyle</i> , d'après Pictet.....	642	392. <i>Opis Hugardiana</i> et son moule intérieur.....	662
347. Restauration d'un <i>Ptéro dact-</i> <i>yle</i> .....	643	393. <i>Panopæa plicata</i> .....	662
348. Fémur de <i>Mégalosaure</i> ....	643	394. <i>Cerithium aptiense</i> .....	663
349. Dent d' <i>Iguanodon</i> .....	643	395. <i>Fusus Renauxianus</i> .....	663
350. Queue d' <i>Archæopteryx</i> ....	644	396. <i>Turbo Gresslyanus</i> .....	663
351. Mâchoire de l' <i>Amphitherium</i> <i>Broderipii</i> .....	644	397. <i>Pterocera (rostellaria) or-</i> <i>nata</i> .....	663
352. Mâchoire du <i>Thylacotherium</i> <i>Prevostii</i> .....	644	398. <i>Conus tuberculatus</i> .....	663
353. Mâchoire du <i>Plagiaulax Bec-</i> <i>klesii</i> .....	644	399. <i>Crioceras</i> .....	664
354. <i>Pterozamites incomptus</i> ...	645	400. <i>Scaphites Yvanii</i> .....	664
355. <i>Androstrobus zamioides</i> ...	645	401. <i>Ancylloceras Matheronia-</i> <i>num</i> .....	664
356. <i>Cycadoidea megalophylla</i> ..	646	402. <i>Toxoceras Emericianum</i> ...	665
357. <i>Siphonia ficus</i> .....	649	403. <i>Hamites rotundus</i> .....	665
358. <i>Coscinopora cupuliformis</i> ..	649	404. <i>Ptychoceras Pusozianum</i> ...	666
359. <i>Hallirhoa costata</i> .....	649	405. <i>Turrilites catenatus</i> .....	666
360. <i>Cephalites campanulatus</i> ..	649	406. <i>Baculites anceps</i> .....	666
361. <i>Cyclolites ellipticus</i> .....	650	407. <i>Helicoceras Robertianum</i> ..	666
362. <i>Meandrina pyrenaica</i> .....	650	408. <i>Heteroceras Emericianum</i> ..	667
363. <i>Cyathina lævigata</i> .....	651	409. <i>Ammonites inflatus</i> .....	667
364. <i>Cidaris clavigera</i> , muni de ses baguettes.....	651	410. <i>Ammonites radiatus</i> .....	668
365. <i>Galerites albogalerus</i> .....	652	411. <i>Ammonites Beaumontianus</i> .	668
		412. <i>Ammonites Mayorianus</i> ...	669
		413. <i>Belemnites dilatatus</i> .....	669

414, 415. <i>Belemnites latus</i> . . . . .	670	446. Tête du <i>Dinotherium</i> d'Ep-	
416. <i>Belemnites</i> ( <i>Belemnitella</i> )		pelsheim . . . . .	686
<i>mucronatus</i> . . . . .	671	447. Mâchoire inférieure du <i>Mas-</i>	
417. Mâchoire inférieure d' <i>Igua-</i>		<i>tondon longirostris</i> . . . . .	686
<i>nodon Mantellii</i> . . . . .	671	448. Dents molaires du même . . .	686
418. Tête du <i>Mosasaurus Cam-</i>		449. Mâchoire inférieure de <i>Me-</i>	
<i>peri</i> . . . . .	672	<i>tarctos</i> . . . . .	687
419. <i>Nummulites Puschii</i> . . . . .	675	450. Mâchoire inférieure de <i>Hyæ-</i>	
420. <i>Polystomella rugosa</i> . . . . .	675	<i>nodon</i> . . . . .	687
421. <i>Cristellaria reniformis</i> . . . . .	676	451. Mâchoire inférieure d'un	
422. <i>Gaudryina siphonella</i> . . . . .	676	insectivore ( <i>Plesiosorex</i> ) . . . . .	687
423. <i>Guttulina austriaca</i> . . . . .	676	452. Mâchoire inférieure d'un	
424. <i>Amphistegina mamillata</i> . . . . .	676	singe ( <i>Propithecus</i> ) . . . . .	688
425. <i>Turbinolia Dixoni</i> . . . . .	676	453, 454. Tête d'un sirénide	
426. <i>Trochocyathus obesus</i> . . . . .	677	( <i>Halitherium</i> ) . . . . .	688
427. <i>Clypeaster scutellatus</i> . . . . .	677	455. <i>Felis</i> ( <i>Machairodus</i> ) <i>cultri-</i>	
428. <i>Echinolampas Escheri</i> . . . . .	678	<i>dens</i> . . . . .	691
429. <i>Chama lamellosa</i> . . . . .	678	456. Un paysage de l'époque ter-	
430. <i>Pectunculus pulvinatus</i> . . . . .	678	tiaire . . . . .	692
431. <i>Crassatella tumida</i> . . . . .	679	457. Caillou strié du drift améri-	
432. <i>Cerithium giganteum</i> . . . . .	679	cain . . . . .	694
433. <i>Fusus Noe</i> . . . . .	679	458. Tête de l'Ours des ca-	
434. <i>Cerithium lapidum</i> . . . . .	680	vernes . . . . .	700
435. <i>Murex calcitrata</i> . . . . .	680	459. Squelette restauré de <i>Mam-</i>	
436. <i>Semiophorus velicans</i> . . . . .	680	<i>mouth</i> . . . . .	701
437. <i>Andrias Scheuchzeri</i> ( <i>Homo</i>		460. Dent molaire du même . . . . .	701
<i>diluvii testis</i> ) . . . . .	681	461. Silex taillé : type de Saint-	
438. <i>Crocodylus Hastingsiae</i> . . . . .	682	Acheul . . . . .	702
439. <i>Lophiodon parisiense</i> . . . . .	683	462. Silex taillé : type de Solu-	
440. Tête du <i>Palæotherium me-</i>		<i>tré</i> . . . . .	703
<i>dium</i> . . . . .	683	463. Plaque d'ivoire sur laquelle	
441. <i>Palæotherium</i> , d'après Cu-		a été tracé le croquis d'un	
<i>vier</i> . . . . .	684	<i>Mammouth</i> ; de la station	
442. Tête de l' <i>Anoplotherium</i>		de la Madeleine . . . . .	703
<i>commune</i> . . . . .	684	464. Restauration d'un <i>Megalonyx</i>	
443. Contours probables de l'ani-		<i>nyx</i> . . . . .	705
<i>mal</i> , d'après Cuvier . . . . .	684	465. Squelette restauré du <i>Mega-</i>	
444. Tête du rhinocéros sans		<i>therium Cuvier</i> . . . . .	706
<i>corne</i> ( <i>Acerotherium</i> ) . . . . .	685	466. Dents du <i>Megatherium</i> . . . . .	707
445. Tête de l' <i>Helladotherium</i>		467. Squelette restauré d'un	
<i>Duvernoyi</i> . . . . .	685	<i>Glyptodon</i> . . . . .	707

FIN DE LA TABLE DES FIGURES.

## TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

### A

- Abîmes, 150.  
 Ablations, 235, 265.  
 Absorbants (puits), 213.  
 Accores, 254.  
 Acéphales, 542  
   — orthoconques, 543  
   — pleuroconques, 543.  
 Acétabulifères, 630.  
   — décapodes, 631.  
   — octopodes, 630.  
 Acide chlorhydrique, 60.  
   — sulfhydrique, 60.  
   — sulfureux, 60.  
   — sulfurique, 165.  
 Actinocrinides, 572.  
 Actinote, 386.  
*Ægilops speltæformis*, 462.  
 Aérolites, 25, 28.  
 Affaissements, 441.  
 Affluents, 221.  
 Agate, 384.  
 Age relatif des filons, 486.  
   — des fossiles, 529.  
   — des montagnes, 500, 522.  
   — des roches basaltiques, 481.  
   — des roches dioritiques, 480.  
   — des roches éruptives, 480.  
   — des roches granitiques, 480.  
   — des roches laviques, 481.  
   — des roches porphyriques, 480.  
   — des roches trachytiques, 480.  
   — des roches trappéennes, 480.  
 Agents du métamorphisme, 489.  
   — minéralisateurs, 487.  
 Aigle (pierre d'), 426.  
 Aiguilles, 125.  
 Aimant (pierre d'), 390  
 Air, 49.
- Albâtre, 398.  
 Albérèse, 397.  
 Albite, 384.  
 Albitophyre, 392.  
*Album græcum*, 352.  
 Alcalines (roches), 397.  
 Alizés (vents), 156.  
 Alléges, 487.  
 Alluvions, 241.  
   — fluviales, 241.  
 Alpes (âge), 523.  
   — scandinaves (âge), 522.  
 Altitude, 66.  
 Ammonites, 609, 629, 661.  
 Ammonitides, 609, 628, 660.  
 Ampélite, 396.  
 Amphibole, 386,  
   — actinote, 386.  
   — hornblende, 386.  
   — tremolite, 386.  
 Amphiboliques (roches), 393.  
 Amphibolite, 393.  
 Amphigène, 388.  
 Amphigénite, 394.  
 Anagénite, 395.  
 Angiospermes, 595.  
 Anhydrite, 389.  
 Animalcules, 85.  
 Animaux côtiers, 456  
   — des hautes mers, 456.  
   — des récifs, 456.  
   — des rochers, 456.  
   — des sables et des vases, 457.  
   — marius (station), 456.  
 Anneau de Saturne, 16  
 Anneaux, 15.  
 Année, 14, 39.  
   — ordinaire, 40.  
   — sidérale, 40.  
   — tropique, 40.

- Annelés, 358.  
 — fossiles, 448.  
 Annularia, 590.  
 Annulariées, 594.  
 Anorthite, 385.  
 Antarctique, 35.  
 Anthracite, 399.  
 Antholites, 596.  
 Anticlinale (ligne), 124, 437.  
 Anticlinales (couches), 437.  
 Aphélie, 39.  
 Appareil littoral, 267.  
 Apsides (révolution des), 41.  
 Aptychus, 449.  
 Arachnides, 578.  
 Aragonite, 389.  
 Aral (mer d'), 87, 151.  
 Archæocidaris, 572.  
 Archæopteryx, 641.  
 Archipels, 116.  
 Arctique, 35.  
 Ardentes (fontaines), 335.  
 Ardoises, 396.  
 Arénacée (texture), 425.  
 Arête des montagnes, 124.  
 Argent métallique, 452.  
 Argile, 389, 397, 417.  
 — plastique, 397.  
 — smectique, 397.  
 Argileuses (roches), 396.  
 Argillifère (calcaire), 397.  
 Arkose, 395.  
 Artésiens (puits), 211.  
 Articulés, 353, 550.  
 Artisia, 593.  
 Aspects géologiques, 457.  
 Asphalte, 336, 399.  
 Assises, 431, 472, 473.  
 Astartes (faune des marnes à), 453.  
 Astérides, 537.  
 Astéroïdes, 14, 15.  
 Astres, 2.  
 Atmosphère, 35, 49, 155, 175.  
 — hydrogénée du soleil, 13.  
 Atténuation des roches, 264.  
 Atterrissements, 206.  
 — des rivières, 241.  
 — marins, 266.  
 — par les pluies, 206.  
 Atolls, 360.  
 — composés, 363.  
 Augite, 387.  
 Austral, 35.  
 Autan, 158.  
 Avalanches, 177.  
 Axe, 35, 37.  
 — des chaînes de montagnes, 135.  
 — du monde, 37.  
 — géographique, 135.  
 — orographique, 135.  
 Axe stratigraphique, 135.  
 Azoïque (époque), 527.  
 — (terrain), 406.  
 Azote, 49.  
 Azurite, 442.
- B**
- Ballons, 128.  
 Bancs, 431.  
 Banquises, 198.  
 Barégine, 347.  
 Barrages, 225.  
*Barrancas*, 145.  
 Barres, 248, 257.  
 Baryte sulfatée, 388, 451.  
 Barytine, 388.  
 Basalte, 393.  
 Basaltiques (cendres), 394.  
 — (prismes), 477.  
 — (scories), 394.  
 Basanite, 394.  
 Base des montagnes, 124.  
 Bas-fonds, 267.  
 Bassins hydrographiques, 221.  
 Batraciens, 578.  
 Bayous, 226, 243.  
 Bélemnites, 632.  
 Bigarré (grès), 395, 605.  
 Bise, 159.  
 Bitume, 336, 399, 451.  
 — de Judée, 399.  
 Bitumineuses (sources), 335.  
 Bitumineux (calcaire), 397.  
 Blastoides, 571.  
 Blende, 452.  
 Blocs arrondis, 170.  
 — charriés, 242.  
 — erratiques, 195.  
 — précipités, 171.  
 Bois enfouis, 375.  
 — flottés, 375.  
 — fossiles, 375, 399.  
 Bolides, 25, 27.  
 Bombes volcaniques, 306.  
*Bore*, 257.  
 Boréal, 35.  
 Boue à globigérines, 372, 470, 672.  
 Boues, 242.  
 — (courants de), 308.  
*Bouranes*, 159.  
 Bourrasques, 156.  
 Bouts-du-monde, 147.  
 Brachiopodes, 539.  
 Brèches, 250, 396.  
 Brèches osseuses, 352, 696.  
 Bréchiforme (calcaire), 397.  
 Brises, 156.  
 — de montagne, 157.

- Brocatelle, 397.  
 Bronzite, 387.  
 Brouillards, 56.  
 — secs, 161.  
 Bruckmannia, 595.  
 Bryozoaires, 449, 539.  
 Bustamite, 387.
- C**
- Cacholong, 396.  
 Cailloux impressionnés, 429.  
 — roulés, 242.  
 Calamine, 452.  
 Calamites, 581.  
 Calamodendrées, 588.  
 Calamophyllites, 590.  
 Calcaire, 389, 397, 411.  
 — argilifère, 397.  
 — bitumineux, 397.  
 — bréchiiforme, 397.  
 — brocatelle, 397.  
 — compacte, 397.  
 — couchylien, 605.  
 — concrétionné, 397.  
 — coquillier, 397.  
 — crayeux, 397.  
 — cristallin, 397.  
 — encrinétique, 397.  
 — glauconieux, 397.  
 — grossier, 397.  
 — lamellaire, 397.  
 — lithographique, 397.  
 — lumachelle, 397.  
 — nummulitique, 682.  
 — oolitique, 397.  
 — (origine du), 411.  
 — ruiniforme, 397.  
 — sableux, 397.  
 — saccharoïde, 397.  
 — siliceux, 397.  
 — travertin, 397.  
 — vacuolaire, 397.  
 Calcarifères (sources), 346.  
 Calcédoine, 384.  
 Calcéolides, 541.  
 Calmes, 157.  
 Cambrien (terrain), 530.  
 Cancer (tropical du), 36.  
 Cannelures des roches, 170.  
*Cañones*, 145.  
 Capricorne (tropical du), 36.  
 Carbonatée (chaux), 389, 450.  
 Carbonaté (fer), 390, 399, 451.  
 Carbone atmosphérique, 51.  
 — (oxyde de), 60.  
 Carboné (hydrogène), 60.  
 Carbonifère (faune), 570.  
 — (flore), 577.
- Carbonifère (terrain), 568.  
 Carbonique (acide), 51.  
 Carbonisation, 423, 493.  
 Cariées (roches), 427.  
 Carrières (fente de), 440, 427.  
 Cascades, 225.  
 Caspienne, 87, 151.  
 Cassure, 424.  
 Cataractes, 225.  
 — (recul des), 229.  
 Caulopteris, 585.  
 Causses, 149, 168.  
 Cavernes, 119, 150, 264.  
 — (limon des), 696.  
 Célestine, 388, 452.  
 Cendres basaltiques, 394.  
 — trachytiques, 393.  
 — (transport des), 307.  
 — volcaniques, 306.  
 Central (feu), 109, 112.  
 Centrale (chaleur), 109.  
 Centres de dispersion, 469.  
 Céphalopodes acétabulifères, 630.  
 — tentaculifères, 547.  
 Cératites, 609.  
 Cercles auxiliaires, 503.  
 — de comparaison, 503.  
 — polaires, 36.  
 — principaux, 502.  
 Chaîlles, 426.  
 Chaînes de montagnes, 123, 133.  
 Chaînon, 134.  
 Chaleur centrale, 109, 710.  
 — de l'air, 72, 73.  
 — de la mer, 90.  
 — de l'écorce solide, 106.  
 — lunaire, 20.  
 — maximum, 72.  
 — solaire, 106.  
 Chara (graines de), 450.  
 Charbon de terre, 399.  
 — minéral, 399.  
 — (sacs à), 31.  
 Charveyrons, 426.  
 Chasse-neige, 159.  
 Chaudières, 230.  
 Chaussées glaciaires, 196.  
 Chaux carbonatée, 389, 450.  
 — fluatée, 388, 451.  
 — sulfatée, 388.  
 Cheires, 317.  
 Chirotherium, 444.  
 Chéloniens, 637.  
 Cheminées volcaniques, 300.  
*Cherts*, 426.  
 Chevelures des comètes, 20.  
 Chlorhydrique (acide), 60.  
 Chlorite, 386.  
 Chromosphère, 13.  
 Chronologie géologique, 432.

- Chrysolite, 388  
 Cidarides, 622.  
 Cimentation des roches, 219.  
 Cinérite, 394.  
 Cinnabre, 452.  
 Cipolin, 397.  
 Circulation profonde des eaux, 207, 243.  
 Circulation superficielle des eaux, 207, 213.  
 Cirques, 147, 439.  
 Classification des roches, 383, 391.  
 — des terrains, 459.  
 Climat, 74.  
 — constant, 75.  
 — continental, 75.  
 — excessif, 75.  
 — insulaire, 75.  
 — marin, 75.  
 — uniforme, 75.  
 — variable, 75.  
 Climats anciens, 708.  
 Clinomètre, 437.  
 Cluses, 145, 439.  
 Clyménides, 549.  
 Clypeastroïdes, 622.  
 Coke, 496.  
 Colmatage, 242.  
 Cololites, 446.  
 Colonies, 553.  
*Colorados*, 475.  
 Coloration des roches, 430.  
 Cols, 125.  
 Comatulides, 622.  
 Combes, 145, 439.  
 Combustibles fossiles, 374.  
 — (roches), 399.  
 Comète (chevelure), 20.  
 — de 1811, 21.  
 — de Biéla, 23, 24.  
 — de Donati, 22.  
 — d'Encke, 23, 24.  
 — de Wincke, 24.  
 — (noyau), 21.  
 — (queue), 21.  
 — (tête), 21.  
 Comètes, 20.  
 — périodiques, 22.  
 — sporadiques, 22.  
 Compacte (texture), 424, 493.  
 Comparaison (cercle de), 503.  
 Conchoïdale (cassure), 424.  
 Conchylien (calcaire), 605.  
 Concordante (stratification), 438.  
 Concrétionné (calcaire), 397.  
 Concrétions, 216.  
 Cônes adventifs, 302.  
 — de déjection, 127, 242, 475.  
 — parasites, 302.  
 — volcaniques, 127.  
 Conglomérats, 250, 395.  
 Conglomérats de frottement, 487.  
 Conifères, 594.  
 Coniques (montagnes), 127.  
 Constellations, 6.  
 Continentales (dépressions), 119, 151.  
 Continents, 116.  
 Contre-alizés, 157.  
 Contre-courants, 259.  
 Contreforts, 134.  
 Coquillier (calcaire), 397.  
 Coprolithes, 352, 448.  
 Corallien (aspect), 458.  
 Coralliennes (roches), 458.  
 Coralligènes (régions), 363.  
 Coraux, 354.  
 Cordaïtes, 592.  
 Cordon littoral, 267.  
 Cornaline, 384.  
 Cornes, 125.  
 Corps simples, 383.  
 Corpuscules organiques, 61.  
 Corrosion des roches, 168, 206.  
 Cosmiques (phénomènes), 379.  
 Côtes, 145.  
 — du Doubs, 145, 149.  
 Couche à température constante, 107.  
 Couches, 431.  
 Couffées, 434.  
 Coulées de laves, 312.  
 — des roches éruptives, 475.  
 Couleur de l'air, 62.  
 — de la mer, 89.  
 Coups de vent, 156.  
 Courants, 258.  
 — constants, 259.  
 — de communication, 259.  
 — fluvio-marins, 259.  
 — généraux, 259.  
 — marins, 69, 258.  
 — périodiques, 259.  
 — temporaires, 259.  
 Couronne solaire, 12.  
 Cours d'eau, 220, 221.  
 — des fleuves, 225.  
*Crag*, 693.  
 Craie, 93, 373, 397, 672.  
 Crains, 434.  
 Cranides, 541.  
 Gratères, 295, 300.  
 — de soulèvement, 298.  
 — d'explosion, 298.  
 — éguculés, 128.  
 Crayeuse (texture), 424.  
 Crayeux (calcaire), 397.  
 Créations successives, 465.  
 Crétacé (terrain), 647.  
 Crétacée (faune), 648.  
 — (flore), 667.  
 Crête des montagnes, 124.  
 Crêts, 125, 439.

Creux, 150.  
 — de glace, 178.  
 — de neige, 178.  
 Crevasses, 150.  
 — des glaciers, 184.  
 Crinoïdes, 536.  
 — blastoïdes, 571.  
 — cystidés, 537.  
 — fossiles, 449.  
 — vrais, 537.  
 Crioceras, 660.  
 Cristal de roche, 383.  
 Cristalline (texture), 424, 492.  
 Cristallines (veines), 426.  
 Cristallins (schistes), 401.  
 Cristallisations, 216, 426.  
 Cristaux (formation des), 426, 494.  
 Crocodiles, 665.  
 Crocodiliens, 637.  
 Crustacés, 550.  
 — décapodes, 609.  
*Cuica*, 353.  
 Cuivre carbonaté, 452.  
 — et fer sulfurés, 451.  
 Cambrien (terrain), 530.  
 Cyathocrinides, 537.  
 Cycadés, 592.  
 Cyclones, 156.  
 Cylindres, 125.  
 Cypridines, 561, 563.  
 Cystidés, 537.

## D

Dalle naçrée, 428, 492.  
 Dalles, 428, 492.  
 Débâcles, 177.  
 Débris des pentes, 170.  
 — erratiques, 194.  
 — remaniés, 170.  
 Décapodes (acétabulifères), 631.  
 — (crustacés), 609.  
 Déchirures des roches, 427.  
 Décomposition des roches, 165.  
 Dégradations du sol, 167.  
 — par les pluies, 206.  
 Déjection (cônes de), 242.  
 Deltas, 226, 243.  
 — à distance, 245.  
 Démantèlement des falaises, 229.  
 Dendrites, 430.  
 Dents, 125.  
 Dépressions continentales, 119, 151.  
 Désagrégation des roches, 166, 408.  
 Déserts, 121.  
*Despoblados*, 123.  
 Devonien (terrain), 555.  
 Devonienne (faune), 556, 567.

Devonienne (flore), 566.  
 Diaclines, 427.  
 Diallage, 387.  
 — bronzite, 387.  
 — hyperstène, 387.  
 Diatomées, 369, 370.  
 Dicynodon, 612.  
 Didelphes, 614.  
 Diluviennes (pluies), 236.  
 Diluviens (terrains), 237, 693.  
 Diluvium, 237, 696.  
 Dinosauriens, 640.  
 Diopside, 387.  
 Diorite, 393.  
 — orbiculaire, 393.  
 Direction des couches, 437.  
 — des filons, 486.  
 Directions épigéniques, 504.  
 — récurrentes, 504.  
 Discordante (stratification), 438.  
 Dissolutions par les eaux souterraines,  
 215.  
 — par les pluies, 205.  
 Distincte (stratification), 431.  
 Diurne (mouvement), 37.  
 Dolérite, 393.  
 Dolomie, 389, 398, 415, 450.  
 Dômes, 128, 295.  
 Domite, 393.  
 Dragées de Tivoli, 218.  
*Drift*, 694.  
 Druses, 426.  
 Dunes, 132, 162.  
 Durée géologique, 432.  
 Dykes, 475, 485.

## E

Eau calcaire, 214.  
 — (cours d'), 220, 221.  
 — (circulation profonde), 343.  
 — (circulation superficielle), 213.  
 — granitique, 214.  
 — liquide, 201.  
 — solide, 176, 200.  
 — (vapeur d'), 55.  
 Eaux courantes, 220.  
 — fluviales, 220.  
 — lacustres, 249.  
 —, marines, 82, 252.  
 — minérales, 214, 243.  
 — (partage des), 221.  
 — pluviales, 201.  
 — profondes, 343.  
 — salées, 82.  
 — saumâtres, 214.  
 — séléniteuses, 214.  
 — souterraines, 206.

- Eaux superficielles, 207.  
 — thermales, 343.  
 Éboulements, 174.  
 Éboulis, 170.  
 Échinides, 537.  
 Échinodermes, 449, 536.  
 Écliptique, 39.  
 — (obliquité de l'), 42.  
 Écorce solide du globe, 35, 94.  
 — massive, 101.  
 — stratifiée, 101.  
 Édification des roches, 351.  
 — par les articulés, 353.  
 — par les crinoïdes, 354.  
 — par les microphytes, 370.  
 — par les microzoaires, 370.  
 — par les mollusques, 353.  
 — par les polypiers, 354.  
 — par les végétaux, 374.  
 — par les vertébrés, 351.  
 Effondrements, 150.  
 Égueulés (cratères), 128.  
 Électriques (phénomènes), 175.  
 Élie de Beaumont (Théorie de M.), 502.  
 Ellipse (excentricité de l'), 43, 716.  
 Emanations  
 — carbonées, 333.  
 — gazeuses, 335.  
 — sèches, 333.  
 — sulfurées, 333.  
 — volcaniques, 333.  
 Émeri, 398.  
 Empreintes, 443, 444, 613.  
 — extérieures, 443.  
 — physiques, 445.  
 Énalisauriens, 576, 637.  
 Enclaves transversaux, 475.  
 Encrinides, 608.  
 Encrinitique (calcaire), 397.  
 Endomorphisme, 489.  
 Entonnoirs, 151.  
 Entroques, 397, 449, 536, 622.  
 Éocène (étage), 681.  
*Eozoon canadense*, 403, 529, 530.  
 Épaisseur de l'atmosphère, 65.  
 — de l'écorce solide, 104.  
 — des strates, 431.  
 Épigénie, 495.  
 Éponges, 368.  
 Épontes, 485.  
 Époque azoïque, 527.  
 — contemporaine, 718.  
 — de transition, 528.  
 — mésozoïque, 604.  
 — néozoïque, 673.  
 — paléozoïque, 528.  
 — secondaire, 604.  
 Époques géologiques, 473, 524.  
 Équateur, 35.  
 Équateur thermal, 72.  
 Équinoxes, 40, 74.  
 — (ligne des), 40.  
 — (précession des), 37, 40, 715.  
 Équinoxiale (ligne), 35.  
 Équisétacées, 580.  
 Equisetum, 581.  
*Equisetum Sismondæ*, 405, 530.  
 Ère des dunes, 164.  
 Érosion (vallées d'), 232, 696.  
 Érosions, 147.  
 — diluviennes, 232.  
 — marines, 263.  
 — par les eaux courantes, 147, 228.  
 — souterraines, 215.  
 Erratique (terrain), 194.  
 Erratiques (blocs), 195.  
 — (débris), 194.  
 Éruptifs (cônes), 298, 475.  
 — (dykes), 475.  
 — (enclaves), 100, 475.  
 — (filons), 100, 475.  
 — (massifs), 101, 475.  
 — (phénomènes), 295.  
 — (terrains), 475.  
 Éruptions sous-marines, 327.  
 — volcaniques, 295.  
 Éruptives (coulées), 475.  
 — (roches), 475.  
 Espace, 1.  
 Espèce, 460.  
 — (apparition et extinction), 464.  
 — (durée), 464.  
 — (fossile), 460.  
 — (origine), 465.  
 Espèces sociales, 468.  
 Estheria, 610.  
 Estuaires, 226, 247.  
 Étages, 472, 473.  
 Étendue de la surface terrestre, 47.  
 — de l'écorce solide, 47.  
 — des mers, 77.  
 — des terres fermes, 78.  
 Éternels (feux), 335.  
 Éther, 1.  
 Éthésiens (vents), 156.  
 Étoiles, 4, 6.  
 — (analyse spectrale des), 8.  
 — filantes, 24.  
 — filantes périodiques, 26.  
 — fixes, 8.  
 — (grandeur des), 6.  
 — nébuleuses, 4.  
 — sporadiques, 26.  
 Euphotide, 394.  
 Eurite, 392.  
 Éventail (couches en), 437, 439.  
 Excavations, 170.  
 Excentricité de l'ellipse, 43, 716.

Exhaussements, 371, 373, 441.  
Exposition, 70

## F

Faciès géologiques, 457.  
Facules, 11.  
Failles, 101, 439.  
— (dimensions), 440  
— -filon, 440.  
— (lèvres de), 440.  
— (ligne de), 440.  
— (miroirs de), 440.  
— (pied de), 440.  
— (tête de), 440.  
Faîte (ligne de), 124.  
Falaises, 130, 172.  
— (démantèlement des), 229.  
— (recul des), 264.  
Farine fossile, 220.  
Faune carbonifère, 570.  
— crétacée, 648, 668.  
— devonienne, 556, 567.  
— du trias, 607.  
— houillère, 577.  
— jurassique, 620.  
— permienne, 601.  
— quaternaire, 700.  
— silurienne, 533.  
— tertiaire, 675.  
Fausses turquoises, 451.  
Feldspath, 384.  
— albite, 384.  
— anorthite, 385.  
— labrador, 385.  
— oligoclase, 385.  
— orthose, 384.  
— ryacolite, 384.  
Feldspathiques (roches), 391.  
Fendillement des roches, 168.  
Fentes de carrière, 440.  
Fer carbonaté, 390, 399, 451  
— des marais, 399.  
— en grains, 399.  
— hydroxydé, 390, 419, 451.  
— magnétique, 389.  
— oligiste, 390, 398, 419, 451.  
— oolitique, 398.  
— oxydulé, 389, 398.  
— phosphaté, 451.  
— spéculaire, 398.  
— sublimé des volcans, 398.  
— sulfuré, 390, 451.  
— titané, 390.  
*Ferilli*, 305.  
Feu central, 109, 112.  
Feuilles de saule, 9.  
Feuillets des roches, 473.  
Feux éternels, 335

Fibreuse (texture), 424.  
Filons, 100, 485.  
— affleurements, 485.  
— (âge), 486.  
— aurifères, 488.  
— concrétionnés, 486.  
— croisés, 486.  
— croiseurs, 486.  
— en chapelet, 485.  
— failles, 440.  
— (gangue), 487.  
— injectés, 486.  
— interceptés, 486.  
— (lisières des), 485.  
— métallifères, 488.  
— (nature des), 488.  
— pierreux, 488.  
— plombifères, 488.  
— pourris, 487.  
— (richesse), 487  
— rocheux, 488.  
— stannifères, 488.  
— terreux, 487.  
— (traces des), 485.  
Fissures, 101, 150, 476.  
— de dislocation, 101, 476.  
— de retrait, 101, 427, 476  
Flabellaria, 593.  
Flammes des volcans, 309  
Flanc des montagnes, 124  
Fleuves, 221.  
Flore carbonifère, 577.  
— crétacée, 667.  
— devonienne, 566.  
— du trias, 616.  
— houillère, 579.  
— jurassique, 644.  
— permienne, 602.  
— silurienne, 533, 551.  
— tertiaire, 681.  
Flot, 256.  
Flots de fond, 254.  
Flottés (bois), 375.  
Fluatée (chaux), 388, 451.  
Fluorine, 388.  
Fluvio-marins (terrains), 269.  
Flux, 256.  
Fond (flots de), 254.  
Fonds (bas), 267.  
— (hauts), 267.  
Fontaines ardentes, 335.  
Foraminifères, 369.  
— fossiles, 449.  
Formations géologiques, 472, 473.  
— lacustres, 250.  
— marines, 269.  
— volcaniques, 310.  
Forme des montagnes, 124, 131,  
Fortifications lunaires, 19.  
Fossile (farine), 220.

- Fossiles (bois), 375.  
 Fossiles, 352.  
 — (ivoire), 441.  
 — (âge relatif), 529.  
 — (annelés), 448.  
 — (bryozoaires et zoophytes), 449.  
 — combustibles, 374.  
 — complets, 442.  
 — (conservation des), 445.  
 — (distribution dans les assises), 455.  
 — échinodermes et crinoïdes, 449.  
 — en place, 452.  
 — (état des), 442.  
 — fondus, 446.  
 — (foraminifères et infusoires), 449.  
 — (gisement dans les bassins), 455.  
 — (gisement dans les roches), 452.  
 — incomplets, 443.  
 — (influence du milieu minéral), 453.  
 — mollusques, 449.  
 — (parties conservées), 447.  
 — remaniés, 452.  
 — végétaux, 449.  
 — (vertébrés), 447.  
 Fougères, 582.  
 Foulon (terre à), 397.  
 Fraidronite, 394.  
 Froid (maximum du), 72.  
 — (pôles du), 72.  
 Frottement (conglomérats de), 487.  
 — (stries de), 427.  
 Fucoïdes, 431.  
 Fulgurites, 175.  
 Fumerolles, 316.  
 — sèches, 333.  
 Fusil (pierre à), 384, 396, 426.
- G**
- Galène, 442.  
 Galéosaure, 612.  
 Galets, 242, 264.  
 Gallinace, 394.  
 Gangue, 487.  
 Ganocéphales (reptiles), 578.  
 Ganoïdes (poissons), 563.  
 Gastéropodes, 545.  
 Gelée (influence de la), 174.  
 Gelives (pierres), 168.  
 Gemme (sel), 388, 398, 416.  
 Genre, 461.  
 Géodes, 216, 426.  
 Géodésie, 35.  
 Géogénie, v.  
 Géognosie, v.  
 Géologie, v.  
 — descriptive, 406.  
 Géologie générale, 406.  
 — systématique, 406.  
 Geysér (éruption du grand), 341.  
 Geysérite, 396.  
 Geysers, 340.  
 Glace, 178, 180.  
 — bulleuse, 180.  
 — (champ de), 199.  
 Glace (creux de), 178.  
 — (îles de), 199.  
 — (montagnes de), 198.  
 Glaces flottantes, 199.  
 — polaires, 198.  
 Glaciaire (terrain), 693.  
 Glaciaires (chaussées), 196.  
 — (pavés), 198.  
 — (stries), 194.  
 — (voies), 196.  
 Glaciales (zones), 36.  
 Glacières, 178, 696.  
 Glaciers, 178.  
 — alpins, 178.  
 — anciens, 195.  
 — des pentes, 197.  
 — des vallées, 197.  
 — polaires, 197.  
 — (tables des), 181.  
 Glairine, 347.  
 Globigérines (boue à), 372, 470, 672.  
 Gneiss, 392.  
 Golfes, 226.  
 Gomphocératides, 549.  
 Goniatides, 549.  
 Gorges, 145.  
 Gouffres, 119, 150.  
 Cours, 150.  
 Grandeur des étoiles, 6.  
 Granite, 391.  
 — (origine du), 482.  
 — porphyroïde, 391.  
 Graphite, 399.  
 Graptolites, 534.  
 Grauwacke, 396.  
 Greisen, 391.  
 Grès, 220, 250, 395.  
 — bigarré, 395, 605.  
 — rouge, 600.  
 — — (nouveau), 600.  
 — — (vieux), 556.  
 Grisou, 60.  
 Groises, 170.  
 Grossier (calcaire), 397.  
 Grossière (texture), 425.  
 Grottes, 171, 264.  
 Groupes, 473.  
 — (sous), 473.  
 Guano, 352.  
 Gulf-Stream, 57.  
 Gypse, 389, 398, 445, 452.  
 Gyrogonites, 450.

## H

- Haplocrinides, 557.  
 Harmattan, 158.  
 Harmophanite, 391.  
 Hauteur des montagnes, 137.  
 Hauts-fonds, 267.  
 Hédenbergite, 387.  
 Hématite brune, 399.  
 — rouge, 398.  
 Hémisphères, 35, 36.  
 Hétérocerques (poissons), 563.  
 Hétéropodes, 545.  
 Homme, 689, 703.  
 Homocerques (poissons), 564.  
 Horizons géologiques, 469.  
 — minéralogiques, 472.  
 — paléontologiques, 469.  
 — pétrographiques, 472.  
 Hornblende, 386.  
*Hornitos*, 285.  
 Houille, 399, 419.  
 Houiller (climat), 597.  
 — (terrain), 569.  
 Houillère (faune), 577.  
 — (flore), 579.  
 Huile minérale, 336.  
 Humus, 167.  
 Hyalin (quartz), 383.  
 Hyalomicté, 391.  
 Hyberno-estivale (différence), 75.  
 Hybrides, 462.  
 Hydrogène, 60.  
 — carboné, 60.  
 — sulfuré, 60.  
 Hydrographique (bassin), 221.  
 — (système), 221.  
 Hydroxydé (fer), 390, 399, 419, 451.  
 Hyperstène, 387.

## I

- Ichthyodorulites, 447, 563  
 Ichthyornis, 665.  
 Ichthyosaures, 639.  
 Ignés (terrains), 102.  
 Iles, 116.  
 — Lagouns, 360.  
 Impressionnés (cailloux), 429.  
 Inclinaison des montagnes, 135.  
 — des strates, 437.  
 Incrustantes (sources), 218.  
 Incrustations, 216, 218.  
 Indistincte (stratification), 431.  
 Inflammables (sources), 335.  
 Infusoires fossiles, 449.  
 Intarissables (puits), 211.  
 Intermittentes (sources), 211.  
 Insectes, 578.

- Insectes du succin, 448.  
 Intégropalléales, 544.  
 Irisées (marnes), 605.  
 Isochimènes (lignes), 71.  
 Isothères (lignes), 71.  
 Isothermes (lignes), 71.  
 — (surfaces), 108.  
 Itabirite, 399.  
 Ivoire fossile, 352.

## J

- Jade oriental, 393.  
 Jaillissantes (sources), 211.  
 Jaspe, 384, 396.  
 Jayet, 399.  
 Jorullo, 285.  
 Jour 14, 37.  
 — sidéral, 37.  
 — solaire, 37.  
 — vrai, 37.  
 Judée (bitume de), 399.  
 Julia (île), 326.  
 Jupiter, 15.  
 Jurassique (faune), 620.  
 — (flore), 644.  
 — terrain), 620.

## K

- Kaolin, 166, 397.  
 Kaolinisation, 166.  
 Karsténite, 389.  
 Kersanton, 394.  
 Keuper, 605.  
 Khamzin, 158.

## L

- Labradophyre, 2.  
 Labrador, 385.  
 Labyrinthodontes, 578, 610.  
 Lacertiens, 579.  
 Lacs, 249.  
 — avec et sans écoulement, 249.  
 — d'Aral, 87.  
 — de l'Utah, 88.  
 — de Natron, 89.  
 — d'Ourmiah, 88.  
 — du Thibet, 89.  
 — salés, 87.  
 Lactée (voie), 8.  
 Lactées, 2, 7.  
 Lacustre (calcaire), 250.  
 Lacustres (formations), 250.  
 — (terrains), 250.  
*Lagoni*, 340.

Lagouns (îles), 360.  
 Lagunes, 226, 268.  
 Laisses, 229.  
 Lamellaire (calcaire), 397.  
 Lamellibranches, 542.  
*Lapilli*, 306.  
 Latitude, 36, 68.  
 Laurentien (terrain), 529.  
 Lave, 428.  
 Laves, 332.  
 — anciennes, 481.  
 — (coulées de), 312.  
 Lepidodendron, 588.  
 Lepidostrobos, 588.  
 Leptinite, 394.  
 Leucite, 388.  
 Lherzolite, 394.  
 Libration, 18.  
 Ligne, 35.  
 — anticlinale, 124, 437.  
 — de faite, 124.  
 — de partage des eaux, 221.  
 — des équinoxes, 40.  
 — équinoxiale, 35.  
 — synclinale, 437.  
 Lignes isochimènes, 71.  
 — isothères, 71.  
 — isothermes, 71.  
 — naturelles, 505.  
 Lignite, 399.  
 Liman du Dniéper, 247.  
 Limon des cavernes, 696.  
 Limonite, 399.  
 Lingulides, 541.  
 Lisières des filons, 485.  
 Lithographique (calcaire), 397.  
 Lits, 431.  
 Littoral (appareil), 267.  
 — (cordon), 267.  
*Llanos*, 123.  
 Lois stratigraphiques, 439, 479.  
 Longitude, 36, 69.  
 Lueurs volcaniques, 309.  
 Lumachelle, 397.  
 Lunaisons, 18.  
 Lune, 16.  
 Lycopodiacées, 588.

■

*Macigno*, 395.  
 Macroures (crustacés), 609.  
 Magnésiennes (roches), 394.  
 Magnétique (fer), 389.  
 Magnétisme terrestre, 97.  
 Magnétite, 398.  
 Malachite, 452.  
 Malthé, 399.  
 Mamelons, 129.

Mammifères, 614, 644, 677, 683, 700.  
 Marbre, 397.  
 Marées, 256.  
 — atmosphériques, 159.  
 — équinoxiales, 256.  
 — grandes, 256.  
 — intérieures, 290.  
 — (raz-de-), 254.  
 Marigots, 226.  
 Marines (formations), 269.  
 Marins (terrains), 269.  
 Marne, 397.  
 Marnes irisées, 605.  
 Mars, 14, 33.  
 Marsupiaux, 614, 641.  
 Mascaret, 257.  
 Massif, 431.  
 Massifs émousés, 129.  
 — éruptifs, 475.  
 — (terrains), 104, 382  
 Matière, 1.  
 — organique, 85.  
 Méditerranées, 83.  
 Méléphyre, 392.  
 Ménilite, 396.  
 Mer, 35, 77.  
 — des Sargasses, 261.  
 — (haute et basse), 256.  
 — Morte, 88, 152.  
 Mercure, 14, 33.  
 — sulfuré, 452  
 Méridien, 36.  
 Méridional, 35.  
 Mers intérieures, 83.  
 Mésotype, 388.  
 Mésozoïque (époque), 604.  
 Métalliques (roches), 398.  
 Métamorphisme, 489.  
 — (agents du), 489.  
 Métamorphisme de composition, 489.  
 — de contact, 490.  
 — de structure, 489.  
 — de texture, 489.  
 — mécanique, 490.  
 — physique, 490.  
 — régional, 490.  
 — spontané, 490.  
 Métaux (sympathies et antipathies), 487.  
 Métaxite, 395.  
 Météores, 25.  
 Météorites, 25.  
 Mètre, 47.  
 Meulier (grès), 569.  
 Meulière, 396.  
 Miasmes, 61.  
 Mica, 385.  
 — alumineux, 385.  
 — magnésien, 385.  
 Micacées (roches), 394.

Micacite, 395.  
 Microlestes, 614.  
 Microphytes, 367.  
 Microzaires, 367.  
*Milstone grit*, 569.  
 Mimosite, 393.  
 Minerai, 487.  
 Minéral, 383.  
 — (charbon), 399.  
 Minérales (eaux), 114, 343.  
 — (espèces), 383.  
 — (huiles), 336.  
 — (sources), 343.  
 Minéralisateurs (agents), 487.  
 Minéralisation des fossiles, 215.  
 Minette, 394.  
 Miocène (étage), 681.  
 Miroirs des failles, 440.  
 — des filons, 485.  
 Mistral, 158.  
 Mofettes, 335.  
 Molasse, 395.  
 Mollusques, 539.  
 — acéphales, 542.  
 — brachiopodes, 539.  
 — bryozoaires, 539.  
 — céphalopodes, 546.  
 — fossiles, 449.  
 — gastéropodes, 545.  
 — hétéropodes, 544.  
 — lamellibranches, 542.  
 — ordinaires, 539.  
 — ptéropodes, 544.  
 Monde (axe du), 37.  
 — (parties du), 117.  
 — (sidéral), 1, 2.  
 Monocotylédones, 595.  
 Montagnes, 119.  
 — (âge relatif), 500.  
 — (chaînes de), 123, 133.  
 — (forme des), 124, 131.  
 — groupées, 132.  
 — (hauteur des), 137.  
 — isolées, 133.  
 — mixtes, 131, 133.  
 — (orientation des), 134, 501.  
 — (physionomie des), 140.  
 — (systèmes de), 133, 503.  
*Monte-Nuovo*, 276.  
 Moraines, 190.  
 — frontales, 192.  
 — latérales, 192.  
 — marginales, 192.  
 — médianes, 192.  
 — profondes, 192.  
 — superficielles, 192.  
 — terminales, 192.  
 Morcellement des roches, 168.  
 Morte (mer), 88, 152.  
 Mortes, 229.

Mosasaure, 655.  
 Moule, 443.  
 — extérieur, 443.  
 — intérieur, 443.  
 Moussons, 156.  
 Moutonnées (roches), 194.  
 Mouvement annuel, 39.  
 — de l'atmosphère, 155.  
 — des eaux lacustres, 249.  
 — des eaux marines, 252.  
 — diurne, 37.  
 — du sol, 271, 497.  
 — orogéniques, 272, 498.  
 — séculaires, 273, 497.  
 — séismiques, 277.  
 Moya, 310.  
 Murs des filons, 485.  
*Muschelkalk*, 605.

## N

Nacrée (dalle), 428.  
 Naphte, 336, 399.  
 Nautilides, 549.  
 Nébuleuses, 2.  
 — planétaires, 4.  
 Nectique (silix), 396  
 Neige, 176.  
 — (creux de), 178.  
 Neiges perpétuelles, 67.  
 Néozoïque (époque), 673.  
 Neptune, 15.  
 Névé, 180.  
 Nitrification, 165  
*Næggerathia*, 592.  
 Nomenclature géologique, 472  
 Nord, 35.  
 Nouveau grès rouge, 600.  
 Novaculite, 397.  
 Noyau des comètes, 21.  
 — des taches solaires, 9.  
 — solide, 96.  
 Nummulites (calcaire à), 682.  
*Nuovo (Monte)*, 276.  
 Nutation, 37, 41, 715.

## O

Oasis, 122.  
 Obliquité de l'écliptique, 42.  
 Obsidienne, 384, 393.  
 Occidentale, 36.  
 Ocre jaune, 399.  
 — rouge, 398.  
 Octopodes (acétabulifères), 631.  
 Odontopteris, 584.  
 Oolites, 426.  
 Oiseaux, 614, 641.

- Oligiste (fer), 390, 398, 419, 451.  
 Oligoclase, 385.  
 Olivine, 387.  
 Oolithes, 218.  
 Oolitique (terrain), 620  
 — (texture), 425.  
 Opale, 396.  
 Ophidiens, 677.  
 Ophite, 392.  
 Ophiurides, 622.  
 Orbicules, 451.  
 Orbiculides, 541.  
 Orbite terrestre, 39.  
 Organique (matière), 85.  
 Oriental, 36.  
 Orientation des montagnes, 501.  
 — des strates, 437.  
 Origine de l'argile, 417.  
 — de la dolomie, 415.  
 — de la houille, 419.  
 — de la silice, 419.  
 — des filons, 100, 486.  
 — des roches éruptives, 99, 481.  
 — des sables, 419.  
 — du calcaire, 411.  
 — du fer hydroxydé, 419.  
 — du fer oligiste, 419.  
 — du granite, 482.  
 — du gypse, 415.  
 — du sel gemme, 416.  
*Ornithichnites*, 444, 614.  
 Orographiques (formes), 124.  
 — (systèmes), 503.  
 Orthisides, 541.  
 Orthoconques, 543.  
 — intégropalléales, 544  
 — sinupalléales, 544.  
 Orthophyre, 392.  
 Orthose, 384.  
 Osseuses (brèches), 352, 696.  
 Oursins, 537.  
 Oxydations, 165.  
 Oxyde de carbone, 60.  
 Oxydulé (fer), 389.  
 Oxygène, 50.
- P**
- Pacos*, 475.  
 Paléontologie, v.  
 Paléozoïque (époque), 528.  
*Pampas*, 123.  
*Pampero*, 159.  
*Panchina*, 219. ]  
 Parallèles, 36.  
 Partage des eaux, 221.  
 Parties du monde, 117.  
 Passages, 125.  
 Passes, 268.
- Pavés glaciaires, 198  
 Pegmatite, 391.  
 Pendage des strates, 437.  
 Pénéen (terrain), 601.  
 Pénombre des taches solaires, 9.  
 Pentagonal (quinconce), 506.  
 — (réseau), 502.  
 Pentes (débris des), 170.  
 Pentes des montagnes, 136.  
 — des strates, 437.  
 Pentremitides, 571  
*Peperino*, 310, 394  
 Pépérite, 310.  
 Perforation des roches, 427.  
 Perforées (roches), 427.  
 Péridot, 387.  
 Périhélic, 39  
 Périodes géologiques, 473.  
 Permien (terrain), 598.  
 Permienne (faune), 601.  
 — (flore), 602.  
 Perpétuelles (neiges), 67.  
 Pertes des fleuves, 225.  
 Pesant (spath), 388.  
 Pétrifications, 442.  
 — (fausses), 218.  
 Pétrole, 336, 399.  
 Pétrosilex, 384, 392.  
 Pétrospongides, 648.  
 Phénomènes actuels, 154  
 — anciens, 381.  
 — aquatiques, 176.  
 — atmosphériques, 155.  
 — cosmiques, 379.  
 — électriques, 175.  
 — éruptifs, 295, 350.  
 — organiques, 351.  
 — terrestres, 270.  
 Phonolite, 393.  
 Phosphaté (fer), 451.  
 Phosphorescence des mers, 85  
 Photosphère, 13.  
 Phyllade, 396.  
 Pics, 125.  
 Pierre à fusil, 384, 396, 426.  
 — à plâtre, 398.  
 — à rasoir, 397.  
 — d'aigle, 426.  
 — d'aimant, 390.  
 Pierres branlantes, 174.  
 — gélives, 168.  
 — ponces, 306  
 — tombées du ciel, 25.  
 Pissasphalte, 336, 399.  
 Pitons, 128, 295.  
 Placages, 218.  
 Placoides (poissons), 562.  
 Plages, 267.  
 — soulevées, 273, 697.  
 Plagiostomes, 576.

- Plaines, 119.  
 Planètes, 14.  
 — (grandes), 15.  
 — (petites), 14.  
 — principales 14.  
 Plastique (argile), 397.  
 Plateaux, 119, 130.  
 Plâtre, 398.  
 — (pierre à), 398.  
 Plésiosaures, 639.  
 Pleuroconques (acéphales), 543.  
 Pliocène (étage), 681.  
 Plissements, 143, 441.  
 Plomb sulfuré, 452.  
 Plombagine, 399.  
 Pluie, 201.  
 Pluies (action des), 205.  
 — d'automne, 204.  
 — de printemps, 204.  
 — de soufre, 61.  
 — d'été, 204.  
 — d'hiver, 204.  
 — diluviennes, 236.  
 — (régime des), 202.  
 Pointes, 125.  
 Points principaux, 503.  
 Poissons, 562.  
 — cténoïdes, 564.  
 — cycloïdes, 564.  
 — ganoïdes, 563.  
 — ganoïdes cuirassés, 564.  
 — ganoïdes cyclifères, 564.  
 — ganoïdes rhombifères, 564.  
 — placoïdes, 562.  
 — téléostéens, 564.  
 Polaires (cercles), 36.  
 Pôles, 35.  
 — du froid, 72.  
 Polissage des roches, 168.  
 Polycistiné, 369.  
 Polypiers, 533.  
 — zoanthaires, 534.  
 — zoanthaires rugueux, 534.  
 — zoanthaires tabulés, 534.  
 — zoanthaires tubuleux, 570.  
 Ponces, 306, 393.  
 Porcelaine (terre à), 397.  
 Porcelanite, 493.  
 Porogs, 225.  
 Pororoca, 257.  
 Porphyre, 392.  
 — proprement dit, 392.  
 — rouge antique, 392.  
 — vert antique, 392.  
 Portages, 225.  
 Ports, 125.  
 Pothocites, 596.  
 Poudingue, 395.  
 Poussières, 61.  
 — (transport des), 161.  
 Pouzzolane, 394.  
 Prairies, 122.  
 Précession des équinoxes, 37, 40, 715.  
 Primordial (sol), 400.  
 — (terrain), 400.  
 Prismatiques (montagnes), 124.  
 — (roches), 477, 491.  
 Productides, 541.  
 Produits volcaniques, 332.  
 Promontoires, 130.  
 Protogine, 392.  
 Protubérences solaires, 11.  
 Provinces organiques, 469.  
 Psammite, 395.  
 Psaronius, 586.  
 Pséphite, 396.  
 Pseudomorphisme, 495.  
 Ptérodactyles, 612, 639.  
 Ptéropodes, 544.  
 Puits absorbants, 213.  
 — artésiens, 211.  
 — intarissables, 211.  
 — naturels, 150.  
 Puisards, 150.  
 Pulvérisation des roches, 264.  
 Pulvérulente (texture), 425.  
 Pumite, 393.  
 Purbeck (étage de), 620.  
 Puys, 128.  
 Pycnocrinides, 622.  
 Pyramidales (montagnes), 126.  
 Pyrite, 390.  
 — blanche, 390.  
 — jaune, 390.  
 Pyrognomiques (substances), 483.  
 Pyromaque (silex), 384, 396.  
 Pyroméride, 392.  
 Pyrosphère, 35, 153.  
 Pyroxène, 387.  
 — augite, 387.  
 — bustamite, 387.  
 — diopside, 387.  
 — hédénbergite, 387.  
 Pyroxéniques (roches), 393.
- 
- Quartz, 383.  
 — hyalin, 383.  
 — vitreux, 383.  
 Quartzieuses (roches), 395.  
 Quartzite, 395.  
 Quaternaire (faune), 700.  
 — (terrain), 693.  
 Queue des comètes, 21.  
 Quinconce pentagonal, 506.

## R

- Rainures lunaires, 19.  
 Rapides, 225.  
*Rapilli*, 306.  
 Rasoir (pierre à), 397.  
 Rayonnés, 533.  
 Raz-de-marée, 254.  
 Récifs, 357.  
 — annulaires, 360  
 — barrières, 358.  
 — côtiers, 358.  
 — frangés, 358.  
 Recul des falaises, 264.  
 Redans, 130.  
 Reflux, 256.  
 Refoulements, 441.  
 Régime des fleuves, 227.  
 — des sources minérales, 349.  
 Régions coralligènes, 363.  
 — des volcans et des tremblements de terre, 291.  
 Remaniés (débris), 170.  
 Reptiles, 576.  
 Réseau pentagonal, 502.  
 Résinite, 384, 393, 396.  
 Rétinite, 384.  
 Retrait des roches, 115, 427.  
 — du globe, 272.  
 — (fissures de), 101, 427.  
 Révolution de la terre, 37, 39.  
 — des apsides, 41.  
 Rhabdocarpus, 592.  
 Rhizopodes, 369.  
 Rhynchonellides, 541.  
 Rhynchosauve, 612.  
 Rimays, 186.  
 Rivières, 221.  
 Roche (cristal de), 383.  
 Roches, 382.  
 — amphiboliques, 393.  
 — argileuses, 396.  
 — (atténuation des), 264.  
 — basaltiques, 393, 481.  
 — (cannelures des), 170.  
 — cariées, 427.  
 — (classification des), 391.  
 — (coloration), 430.  
 — combustibles, 399.  
 — coralliennes, 458.  
 — (corrosion des), 168.  
 — (décomposition des), 165.  
 — (désagrégation des), 166.  
 — dioritiques, 393, 480.  
 — éruptives, 475, 480.  
 — (espèces dans les), 383.  
 — feldspathiques, 391.  
 — (fendillement des), 168.  
 — fossilifères, 453.  
 — granitiques, 391, 480.  
 Roches imperméables, 207.  
 — laviques, 481.  
 — magnésiennes, 394.  
 — massives, 101.  
 — métalliques, 398.  
 — micacées, 394.  
 — (morcellement des), 168.  
 — moutonnées, 194.  
 — perforées, 427.  
 — perméables, 207, 208.  
 — plutoniques, 481.  
 — (polissage des), 168.  
 — porphyriques, 392, 480  
 — (pulvérisation des), 264.  
 — pyroxéniques, 393.  
 — quartzzeuses, 395.  
 — stratifiées, 101.  
 — striées, 190, 194.  
 — terreuses et alcalines, 397.  
 — (texture des), 424.  
 — trachytiques, 392, 480.  
 — trappéennes, 394, 480.  
 — volcaniques, 481.  
 — volcaniques anciennes, 481.  
 — volcaniques modernes, 481.  
 Rognons siliceux, 425.  
 Rotation terrestre, 37.  
 Rudistes, 650.  
 Ruiniforme (calcaire), 397.  
 Ruisseaux, 221.  
 Ruz, 145, 439.  
 Ryacolite, 384.

## S

- Sable, 242, 395, 419.  
 Sacs à charbon, 31.  
 Sahara, 152.  
 Saisons, 39, 40, 74.  
 Salbandes, 485.  
 Salés (lacs), 87.  
 Salses, 339.  
 Salure de la mer, 82, 83, 86, 87.  
 — des mers intérieures, 83.  
 Sanguine, 398.  
 Santorin, 284.  
 Sargasses (mer des), 261.  
 Satellites, 15.  
 — d'Uranus, 15.  
 Saturne, 15.  
 — (anneau de), 15.  
 Savanes, 121.  
 Scandinave (péninsule), 273.  
 Schistes, 396.  
 — cristallins, 401, 496.  
 — chloriteux, 394.  
 Schistosité, 428, 491.  
*Sciarre*, 317.  
 Scies, 125.

- Scories, 306, 332.  
 — basaltiques, 394  
 — trachytiques, 393.  
 Sèches, 257.  
 Secondaire (époque), 604.  
 Sédiment (terrains de), 102.  
 Sédimentaires (terrains), 102.  
 Sédimentation, 269, 408.  
 — (accidents de la), 425.  
 — chimique, 251, 269, 410.  
 — lacustre, 250.  
 — marine, 269.  
 — mécanique, 251, 269, 408  
 Sédiments, 102, 250.  
 Sel gemme, 388, 398, 416  
 Septentrional, 35.  
 Sérapis (temple de), 275.  
 Serpentine, 394.  
 Sidéral (jour), 37.  
 — (monde), 1, 2.  
 Sidérale (année), 40.  
 Sidérolithiques (argiles), 475.  
 Sidérose, 390.  
 Sigillaires, 591.  
 Sigillariées, 591.  
 Silex, 383, 396, 426.  
 — hydraté, 384.  
 — meulière, 396.  
 — nectique, 396.  
 — pyromaque, 384, 396.  
 Silice, 419, 450.  
 Silurien (terrain), 530.  
 Silurienne (faune), 533.  
 — (flore), 533.  
 Simariopsis, 590.  
 Simosauriens, 612.  
 Simoun, 158.  
 Sinupalléales (mollusques), 544, 574.  
*Sirocco*, 158.  
 Smectique (argile), 397.  
*Soffioni*, 340.  
 Sol (mouvement du), 271.  
 — primordial, 400.  
*Solano*, 158.  
 Soleil, 9.  
 — (constitution physique), 12.  
 Solfatares, 318, 334.  
 Solstices, 74.  
 Sommet des montagnes, 124.  
 Sondages dans les mers profondes, 470.  
 Soufflards, 340.  
 Soufre, 60, 451.  
 — (pluies de), 61.  
 Soufrières, 334.  
 Soulèvements, 271, 441.  
 Sources, 206.  
 — acidulées, 345.  
 — alcalines, 346.  
 — bitumineuses, 335.  
 — calcarifères, 346.
- Sources d'air, 160.  
 — ferrugineuses, 346:  
 — gazeuses, 345.  
 — incrustantes, 218.  
 — inflammables, 335.  
 Sources intermittentes, 211,  
 — jaillissantes, 211.  
 — minérales, 343.  
 — permanentes, 211.  
 — (régime des), 209.  
 — salines, 346.  
 — siliceuses, 346.  
 — sulfureuses, 345.  
 — temporaires, 211  
 — thermales, 343.  
 Spatangoides, 622.  
 Spath pesant, 388.  
 Spectre des comètes, 24.  
 — des étoiles, 8.  
 — des météores, 27.  
 — des nébuleuses, 6.  
 — du soleil, 14.  
 Spéculaire (fer), 398.  
 Sphenophyllum, 590, 594.  
 Spiriférides, 541.  
 Spodite, 393.  
 Spongiaires, 368, 687.  
 Stalactites, 218, 397.  
 Stalagmites, 218.  
 Stéatite, 385.  
 Stellérides, 537.  
 Steppes, 121.  
 Sternbergia, 593.  
 Stigmairès, 423, 591.  
 Strates, 431.  
 — (allures des), 433.  
 — coralliennes, 458.  
 — d'eau douce, 250.  
 — de charriage, 458.  
 — (épaisseur des), 431.  
 — lacustres, 250.  
 — littorales, 267, 457.  
 — marines, 269, 270.  
 — océaniques, 457.  
 — pélagiques, 458  
 — (séparation des), 250.  
 — (surface des), 251.  
 — vaseuses, 458.  
 Stratification, 430.  
 — concordante, 438.  
 — confuse, 431.  
 — discordante, 438.  
 — distincte, 431.  
 — indistincte, 431.  
 — transgressive, 438.  
 Stratigraphie, 430, 436.  
 — des roches éruptives, 479.  
 Stratigraphiques (accidents), 439.  
 — (lois), 439.  
 Stries de froissement, 427.

- Stries glaciaires, 194.  
 Structure des roches éruptives, 476.  
 Stylolites, 428.  
 Substances fossilisantes, 450.  
 — pyrognomiques, 483.  
 Succin, 448.  
 Sud, 35.  
 Sulfate de strontiane, 388.  
 Sulfatée (baryte), 388, 451.  
 — (chaux), 389.  
 — (strontiane), 388.  
 Sulfhydrique (acide), 60.  
 Sulfure de fer et de cuivre, 451.  
 Sulfuré (fer), 390, 451.  
 Sulfureux (acide), 60.  
 Surface de l'atmosphère, 64.  
 — des mers, 78.  
 — des terres fermes, 78.  
 — du globe, 47.  
 Surfaces isothermes, 108.  
 Syénite, 392.  
 Synclinale (ligne), 437.  
 Synclinales (couches), 437.  
 Système géologique, 472, 473.  
 — de montagnes, 133, 503.  
 — hydrographique, 224.
- T**
- Tables, 130.  
 — des glaciers, 181.  
 Taches solaires, 9.  
 — — (noyau des), 9.  
 — — (pénombre des), 9.  
 Talc, 385.  
 Talcite, 394.  
 Tamboro (éruption de 1815), 318.  
 Téléostéens (poissons), 564.  
 Température de l'air, 66.  
 — de la Méditerranée, 92.  
 — de l'écorce solide, 106.  
 — de l'espace, 1.  
 — des eaux minérales, 345.  
 — des mers, 90.  
 — des profondeurs des mers, 90.  
 — des sources, 214.  
 Températures extrêmes, 72.  
 — moyennes, 73.  
 Tempérées (zones), 36.  
 Tempêtes, 156.  
 Temps moyen, 38.  
 Temps vrai, 38.  
 Tentaculifères, 547.  
 Téphrine, 393.  
 Terebratella, 624.  
 Térébratulides, 541.  
 Terrain, 472, 473.  
 — azoïque, 406.  
 — cambrien, 530.  
 Terrain carbonifère, 568.  
 — contemporain, 718.  
 — crétacé, 647.  
 — cumbrien, 530.  
 — devonien, 555.  
 — diluvien, 693.  
 — du trias, 605.  
 — glaciaire, 693.  
 — houillier, 569.  
 — jurassique, 620.  
 — laurentien, 529.  
 — oolitique, 620.  
 — pénéen, 601.  
 — permien, 598.  
 — primordial, 400.  
 — quaternaire, 693.  
 — silurien, 530.  
 — tertiaire, 674.  
 Terrains (classification des), 459.  
 — d'eau douce, 458.  
 — de sédiment, 102, 459.  
 — erratiques, 194.  
 — éruptifs, 100, 475.  
 — fluvio-marins, 458.  
 — géologiques, 472, 473.  
 — ignés, 102.  
 — lacustres, 250, 458.  
 — marins, 269, 270, 458.  
 — massifs, 101.  
 — primordiaux, 400.  
 — sédimentaires, 102, 407.  
 — stratifiés, 102.  
 — volcaniques, 310.  
 Terrasses d'alluvion, 237, 243.  
 — d'érosion, 236.  
 Terre, 14, 35.  
 — à foulon, 397.  
 — à porcelaine, 397..  
 — (charbon de), 399.  
 — (dimensions de la), 43, 46.  
 — étoile nébuleuse, 525.  
 — (mouvements de la), 37.  
 — nébuleuse, 525.  
 — planète, 525.  
 — soleil, 525.  
 — théories de la), 30, 95.  
 — (tremblements de), 277.  
 — végétale, 167.  
 Terreau, 167.  
 Terres fermes, 78, 116.  
 Terreuse (texture), 425.  
 Terreuses (roches), 397.  
 Tertiaire (faune), 675.  
 — (flore), 681.  
 — (terrain), 674.  
 Tête des comètes, 21.  
 Texture arénacée, 425.  
 — compacte, 424.  
 — crayeuse, 424.  
 — cristalline, 424, 492.

- Texture des roches, 424.  
 — fibreuse, 424.  
 — grossière, 425.  
 — oolitique, 425.  
 — pulvérulente, 425.  
 — terreuse, 425.  
 — tufacée, 425.  
 — vacuolaire, 425.  
 Thecidea, 624.  
 Théorie de la terre, 30.  
 Théorie de M. Élie de Beaumont, 502.  
 Thermal (équateur), 72.  
 Thermales (eaux), 343.  
 — (sources), 343.  
 Thermanide, 493.  
 Titané (fer), 390.  
 Tivoli (dragées de), 218.  
 Toits des filons, 485.  
 Topographie, 116.  
 Torrents, 221.  
 Torride (zone), 36.  
 Tourbe, 376, 399.  
 — feuilletée, 378.  
 — mousseuse, 378.  
 Tourbières, 376.  
 — marines, 378.  
 Tours, 125.  
 Trace des filons, 485.  
 Trachyte, 392.  
 Transformation des espèces, 465.  
 Transformistes, 466.  
 Transgressive (stratification), 438.  
 Transition (époque de), 528.  
 Translation (mouvement de), 37, 39.  
 Translation (vagues de), 254.  
 Trapp, 394.  
 Trass, 393.  
 Travertin, 219.  
 Tremblements de terre, 277, 497.  
 — — sous-marins, 279.  
 Trémolite, 386.  
 Trépidations, 279, 304.  
 Trias anomal, 605.  
 — (faune du), 607.  
 — (flore du), 616).  
 — normal, 605.  
 — (terrain du), 605.  
 Trigonocarpus, 591.  
 Trilobites, 551.  
 Tripoli, 396.  
 Trombes, 156.  
 Tropique (année), 40.  
 Tropiques, 36.  
 Troubles, 84.  
 Trous, 150.  
 Tubulipores, 624.  
 Tubulures, 427.  
 Tuf, 219, 397.  
 — volcanique, 310.  
 Tufa, 310, 394.  
 Tufacée (texture), 425.  
 Turquoises (fausses), 451.  
 Typhons, 156.
- U**
- Unité de matière, 8, 34.  
 Univers, 30.  
 Uranus, 15.  
 — (satellites d'), 15.
- V**
- Vacuolaire (texture), 425.  
 Vagues, 252.  
 — de translation, 254.  
 Vallées, 119, 142.  
 — de déjection, 145.  
 — de ploiement, 143.  
 — d'érosion, 147, 232.  
 — de rupture, 145.  
 — mixtes, 149.  
 — orographiques, 143.  
 — sèches, 149.  
 Vals, 143.  
 Vapeur d'eau atmosphérique, 55.  
 Variolite, 394.  
 Végétaux, 274.  
 — fossiles, 449.  
 Veines cristallines, 426.  
 — des filons, 486.  
 Vents, 69, 155.  
 — alizés, 156.  
 — constants, 156.  
 Vents (coups de), 156.  
 — d'aspiration, 155.  
 — d'insufflation, 156.  
 — éthésiens, 156.  
 — irréguliers, 156.  
 — périodiques, 156.  
 — réguliers, 156.  
 Vénus, 14, 33.  
 Versants des montagnes, 125, 135.  
 Vertébrés, 351.  
 — fossiles, 447.  
 Vestiges fossiles, 444.  
 Vésuve (éruption de 1855), 321.  
 Vie (ses conditions dans les mers), 92.  
 Vieux grès rouge, 556.  
 Vigies, 264.  
 Vitreux (quartz), 383.  
 Vitrification, 492.  
 Voie lactée, 8.  
 Voies glaciaires, 196.

Volcaniques (bombes), 306.	<b>W</b>
— (cendres), 306.	
— (cheminées), 300.	Wacke, 310, 394.
— (cônes), 298.	Wolkmannia, 595.
— (effondrements), 150.	
— (émanations), 333.	<b>X</b>
— (éruptions), 295.	
— (flammes et lueurs), 309.	Xyphosures, 575.
— (formations), 310.	
— (produits), 332.	<b>Z</b>
— (régions), 291, 327.	
Volcans), 295.	
— à cône et à cratère, 298.	Zechstein, 600.
— composés, 302.	Zéolites, 388.
— de boue, 339.	Zinc carbonaté, 452
— éteints, 295, 326.	— sulfuré, 452.
— mixtes, 301.	Zoanthaires, 534.
— nouveaux, 326.	— apores, 607.
— (région des), 291, 327.	— rugueux, 534.
— sans cratère, 295.	— tabulés, 534.
— simples, 302.	— tubuleux, 570.
Voûtes, 126, 145, 439.	Zones, 36.
Vulcain, 15.	Zoophytes fossiles, 449.
Vulcancitos, 339.	

FIN DE LA TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES.

## ERRATA

	Au lieu de :	Lisez
Page 13, à la légende de la figure 16 :	1830	1860
— 15, ligne 5,	près de 130	plus de 130
— 39, — 17,	éclipse	ellipse
— 92, — 20,	912 mètres	549 mètres, d'après M. Car- penter.
— 150, — 40,	mais le Poitou	dans le Poitou
— 154, — 20,	<i>phénomènes physiolo- giques</i>	<i>phénomènes organiques</i>
— 230, — 10,	retourne	retrouve
— 255, — 17,	M. Pissés	M. Pissis
— 277, — 10,	<i>sismiques</i>	<i>séismiques</i>
— 287, — 17,	magnésien	manganésien
— 501, — 30,	vides	rides

Page 444, la figure 106 ayant été renversée, on ne peut apprécier l'effet qu'elle doit produire qu'en renversant la page.

Pages 14 et 15. — Comme nous habitons la terre, et non la zone des astéroïdes, il convient de restituer aux expressions *planètes inférieures*, *planètes supérieures*, le sens que leur assignent les astronomes, et d'ajouter Mars au groupe des planètes supérieures.

## ADDITIONS

Pendant que s'imprimaient les dernières feuilles de ce livre, a paru un travail de paléontologie dont je dois mentionner ici les conclusions, assez imprévues. M. Munier-Chalmas a reconnu que la coquille des ammonites se développe, dans le jeune âge, de la même manière que le cône alvéolaire des bélemnites, des béloptères, des spirulirostres, etc., et il pense que les ammonites, les cératites, les clyménies (et sans doute aussi toutes les ammonitides) sont des osselets intérieurs de céphalopodes acétabulifères analogues aux spirules, et nullement des coquilles extérieures de céphalopodes tentaculifères analogues aux nautilides.

Si cette manière de voir est confirmée, il n'y a rien à changer à la délimitation des genres des ammonitides; mais les conclusions relatives au développement numérique des céphalopodes suivant le temps et les époques géologiques, se trouvent profondément modifiées. Au lieu d'arriver à leur apogée ou d'avoir un deuxième maximum à l'époque secondaire, les tentaculifères (réduits désormais aux seuls nautilides) déclinent presque à partir du moment de leur apparition. Les acétabulifères ne débutent point dans le terrain jurassique, mais bien dans le terrain devonien; ils suivent une marche régulièrement ascendante jusqu'à l'époque secondaire, où ils ont leur maximum dans le terrain crétacé, et ils déclinent ensuite brusquement, dès qu'ils ont perdu les ammonitides.

En établissant une restriction, je n'entends nullement infirmer le résultat premier des travaux de M. Munier-Chalmas. Les ammonitides seront désormais séparées des nautilides, dont ils diffèrent surtout par leur embryogénie; mais font-ils réellement partie du groupe des acétabulifères, et ne peut-on admettre, dans cette grande famille, des types nautilides et des types ammonitides? Ce qui tendrait à le faire supposer, c'est qu'on imagine difficilement, dans l'intérieur de mollusques aussi parfaitement symétriques que les céphalopodes dibranches, des osselets non enroulés dans le même plan, tels que les coquilles des turrilites, des hélicoceras et surtout des hétéroceras.