

ÉLÉMENTS
DE
GÉOLOGIE

(ÉLÉMENTS DE PHYSIQUE TERRESTRE)

PAR

H. MARIÉ-DAVY ET L. SONREL

OUVRAGE RÉDIGÉ CONFORMÉMENT

aux programmes officiels de 1866

POUR L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE SPÉCIAL

(QUATRIÈME ANNÉE)

sciences de la terre
BIUS
JUSSIÉU
CADIST

PARIS

LIBRAIRIE HACHETTE ET. C^{ie}

BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 79

1870

Droits de propriété et de traduction réservés

Geol
MAR

EXTRAIT DES PROGRAMMES OFFICIELS

DE

L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE SPÉCIAL

(QUATRIÈME ANNÉE)

GÉOLOGIE.

Géographie physique générale. — Distribution des eaux à la surface du globe. — Mers; composition de leurs eaux, leurs variations. — Courants gazeux.

Lacs et mers intérieurs.

Grands cours d'eau et bassins hydrographiques.

Montagnes. — Disposition par chaînes. — Leur direction. — Époques diverses de la formation de ces chaînes de montagnes. — Leur constitution géologique.

Volcans. — Leur répartition à la surface du globe.

Atmosphère. — Vents habituels ou dominants; vents réguliers, alizés ou moussons.

Nuages, pluie, neige, grêle. — Orages, ouragans.

Distribution générale de la température sur le globe. — Température moyenne; température des diverses saisons; températures extrêmes.

Influence des mers, des continents et des vents habituels sur le climat. — Climats extrêmes ou continentaux; climats tempérés ou maritimes.

Influence de ces diverses conditions physiques sur la distribution géographique des végétaux spontanés et des végétaux cultivés.

Notions générales de géographie botanique.

ÉLÉMENTS DE GÉOLOGIE.

CHAPITRE PREMIER.

DISTRIBUTION DES EAUX A LA SURFACE DU GLOBE.

1. Distribution des mers et des continents. — La mer couvre une grande étendue de la surface du globe. Dans l'hémisphère austral en particulier elle occupe plus des huit dixièmes de la surface totale. L'ancien continent est presque entièrement dans l'hémisphère nord. La plus grande partie du continent américain est également dans notre hémisphère. Nous ne voyons dans l'autre que le sud de l'Amérique et de l'Afrique, l'Australie avec les îles dont l'océan Pacifique est parsemé surtout dans sa partie équatoriale, et les terres voisines du pôle austral.

Toutes les terres sont même renfermées à peu près dans une moitié de la surface du globe. Prenons, en effet, Paris pour pôle d'un grand cercle sur lequel nous projetterons les deux moitiés de la terre. La rareté des mers dans l'une, leur abondance dans l'autre, frappent au premier coup d'œil. On comprend que l'on ait pu donner à l'une des

moitiés le nom d'hémisphère terrestre, à l'autre celui d'hémisphère aqueux.

Le groupement des terres en deux ou trois continents séparés par de vastes mers devait amener chez nos ancêtres une longue ignorance de la forme de notre globe. Les peuples dont les traditions ont servi de base à notre civilisation ne connurent que le massif formé par l'Europe, l'Asie et l'Afrique; dans ce massif même une très-faible partie avait été explorée par eux. Autour de ce monde courait le fleuve immense de l'océan.

2. Dimensions et compacités relatives des continents. — Le tableau suivant peut nous donner une idée des grandeurs relatives des diverses parties de la surface terrestre et de leur degré de compacité.

	Superficie en kilomètres carrés	Rayon du cercle ins- crit en	Surface par kilomètre de côtes.
Asie.....	43.440.000	2.400	763
Afrique.....	29.125.000	1.800	1.420
Amérique septentrionale..	20.600.000	1.750	407
Amérique méridionale....	18.000.000	1.500	689
Europe.....	9.900.000	770	289
Australie.....	7.700.000	990	534

La première colonne donne, en kilomètres carrés, la superficie approchée de chaque région. L'Europe, comme on voit, tient l'avant-dernier rang; l'Asie est au premier.

En menant une droite du centre de figure de chaque région au point des côtes le plus rapproché du centre, on a ce que l'on peut considérer comme le minimum de son rayon, c'est-à-dire le rayon d'une circonférence inscrite. Les longueurs de ces rayons évaluées en kilomètres sont insérées dans la seconde colonne. Une énorme cir-

conférence de 2004 kilomètres de rayon pourrait être décrite du centre de l'Asie sans qu'on traversât aucune mer; pour l'Europe, le rayon ne serait que de 770 kilomètres.

On saisit encore mieux la compacité relative des continents en comparant leur surface à la longueur de leur littoral maritime. La troisième colonne du tableau ci-dessus contient les rapports de la surface totale de chaque continent à la longueur de ses côtes. C'est pour l'Europe que ce rapport est le plus faible; c'est pour l'Afrique qu'il est le plus élevé; ensuite vient l'Asie.

Si l'on considère que le nord de l'Asie et de l'Amérique sont pendant la plus grande partie de l'année obstruées par des glaces qui y rendent la navigation impossible, tandis que la plupart des côtes de l'Europe sont pendant toute l'année accessibles aux navires, on comprendra sans peine pourquoi le petit continent que nous habitons a été le théâtre du plus complet développement de la civilisation.

Les immenses cours d'eau qui sillonnent l'Amérique et l'Asie, et d'autre part la vapeur et les chemins de fer peuvent, dans l'avenir, modifier beaucoup les conséquences que l'on pourrait tirer de la simple considération des côtes, en faisant pénétrer le commerce et la vie jusqu'au centre de ces vastes régions.

5. Division géographique des mers. — Les diverses parties de la mer ont reçu des noms différents. Sans nous arrêter à cette nomenclature, nous diviserons les mers d'après leurs caractères saillants et leur rôle dans l'histoire physique de la grande machine terrestre.

Nous voyons d'abord aux deux pôles des calottes de glace très-puissantes d'où se détachent tous les ans des fragments d'une étendue considérable. Ces glaces flottent sur les mers; les courants les entraînent vers les zones tempérées où elles disparaissent. De là les noms d'*océan Glacial* boréal ou arctique et d'*océan Glacial* austral ou antarctique donnés aux mers voisines des pôles.

L'Amérique et l'ancien continent laissent entre eux deux grands espaces recouverts d'eau. Le plus étroit est l'*océan Atlantique*, l'autre comprend l'*océan Pacifique* ou *Grand océan* et la *Mer des Indes* ou *océan Indien*.

L'océan Atlantique, très-ouvert au nord et au sud, communique facilement avec chaque océan Glacial. Il reçoit leurs eaux froides et leur donne en échange une chaleur qui contre-balance en partie les effets du froid considérable des pôles. Mais les phénomènes se passent différemment dans ses parties nord et sud. Cela tient à ce que les sinuosités des bords du bassin partagent celui-ci en deux moitiés presque complètement distinctes. Traçons une ligne de la Guinée au cap Saint-Roch ; au nord de cette ligne, le bassin, large vers l'équateur, se rétrécit vers le pôle. Au sud nous voyons une disposition contraire. Dans ces deux moitiés tout diffère ; aussi, dans chacune d'elles, le mouvement de circulation des eaux présente-t-il des caractères particuliers.

Si nous tenons compte de l'immense presque-île à demi submergée qui s'étend de l'Indo-Chine à l'île de Pâques, nous trouvons dans l'océan Pacifique une division naturelle, semblable à celle de l'océan Atlantique.

Enfin, l'océan Indien, limité au nord par l'Asie, reçoit de la présence de ce continent un caractère spécial.

Nous verrons plus loin comment tous les phénomènes physiques, ceux mêmes dont le siège actuel est dans l'intérieur du globe, justifient cette division dans laquelle rien n'est artificiel.

De larges canaux, quelquefois de véritables mers, font communiquer entre eux les divers bassins ou les parties d'un même bassin, et servent de passage aux eaux ou aux glaces qu'elles charrient. Tels sont : la mer de Baffin, le fameux *passage nord-ouest* au nord de l'Amérique, le détroit de Behring, les bras de mer qui séparent du continent austral la Terre de Feu et le cap de Bonne-Espérance, le canal de Mozambique et tant d'autres détroits où

bras de mer dont, le rôle nous apparaîtra clairement lorsque nous étudierons les courants marins.

En divers points, des ceintures d'îles enferment, entre elles et les bords ondulés des grands bassins, de petits bassins secondaires auxquels on a donné des noms particuliers. C'est ainsi que, entre les Antilles et les côtes septentrionales de l'Amérique du Sud, nous trouvons la mer des Antilles, d'où l'on passe dans le golfe du Mexique par un passage assez étroit entre le Yucatan et Java, et le golfe du Mexique communiquant lui-même avec l'Océan par les *passes de la Floride*. Les îles Aléoutiennes, l'Amérique russe et le Kamtschatka embrassent la mer de Behring qui s'ouvre au nord sur l'océan Glacial par le détroit de Behring et au sud sur l'océan Pacifique par une masse de canaux. La mer d'Okotsk, celles du Japon, de Chine, de Kara, la fameuse mer de Corail en Océanie, sont autant d'exemples de bassins dont les bords sont submergés en quelques points, mais dont on retrouve les traces dans le relief du fond des mers.

1. Profondeurs des mers. — La Baltique, la mer du Nord, la Manche, la Méditerranée et la mer Noire sont les mers dont le fond est le mieux connu; il l'est mieux, même, que le relief de plusieurs continents.

Baltique. — La Baltique est peu profonde.

Mer du Nord. — A part une sorte de ravin qui longe les côtes de la Norvège, la mer du Nord ressemble à un plateau sous-marin assez uni et généralement très-peu profond. Ce plateau s'élève en pente douce vers le Pas-de-Calais dont une petite colline sous-marine, recouverte seulement de 7 à 8 mètres d'eau, occupe à peu près le milieu.

Manche. — Pénétrons dans la Manche; nous voyons le sol s'abaisser d'une manière assez douce, jusqu'à un escarpement qu'on rencontre un peu au delà d'une ligne passant par Brest et par le cap Land's End; puis la profondeur augmente, on arrive en plein Océan.

Méditerranée. — Si les bords de la Méditerranée sont

profondément découpés et si nous voyons les régions voisines présenter un sol généralement accidenté, le fond du bassin recouvert actuellement par les eaux est bien la continuation du sol sous-aérien. On y trouve en effet des accidents nombreux.

Deux bassins principaux, dont l'un a 3200 mètres et

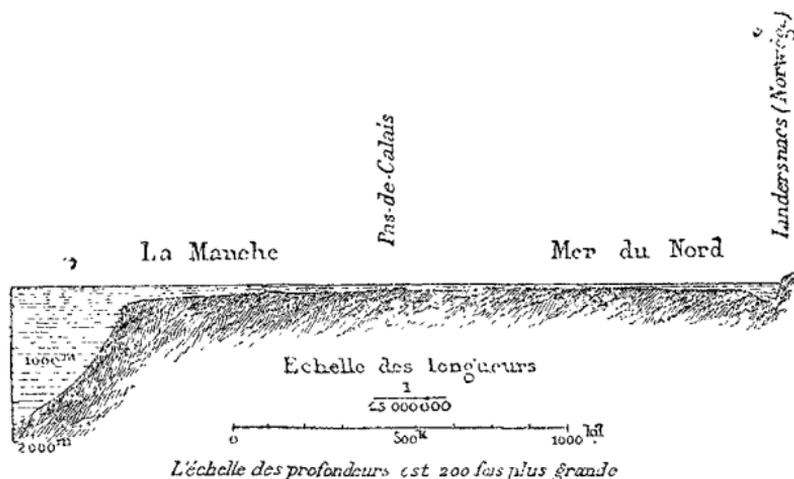
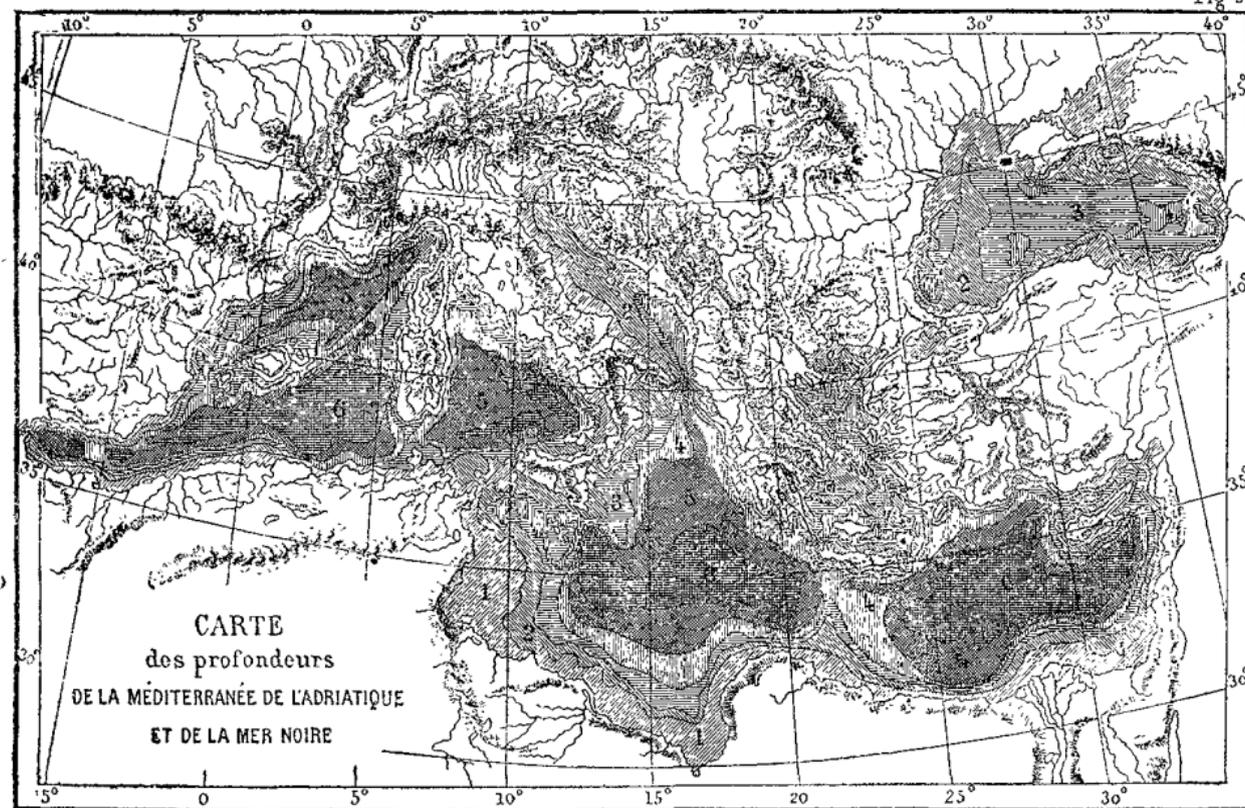


Fig. 1. Profil continu partant de la pointe méridionale de la Norvège à travers le Pas-de-Calais jusqu'au 10° de longitude Ouest, et 47° de latitude N.

l'autre 4600 mètres de profondeur ; puis quelques petits bassins secondaires atteignant jusqu'à 2000 mètres, voilà ce que présente la Méditerranée dans son ensemble.

Les deux bassins principaux sont séparés par une haute montagne sous-marine, le banc Aventure, où la sonde n'indique en certains points que 33 mètres. Cette arête s'étend de la Sicile à la Tunisie.

Le petit bassin qu'on rencontre en pénétrant dans la Méditerranée par les bas-fonds de Gibraltar atteint mètres ; on remonte rapidement à 55 mètres de profondeur en face du cap Spartel, pour redescendre plus rapidement encore à 3600 mètres, profondeur atteinte entre les îles Baléares, la Sardaigne et l'Algérie.



Dessiné par E. Guillemin
d'après Böttger

- | | | |
|---------------------|---------------------|----------------------|
| 1. 90 ^m | 3. 450 ^m | 5. 1800 ^m |
| 2. 180 ^m | 4. 900 ^m | 6. au delà |

Gravé par Erhard

Fig. 2.

Les pentes sont très-abruptes dans les régions nord et le nord-est de ce bassin, puis elles s'abaissent doucement vers les golfes du Lion et de Gênes, reproduisant le caractère général des chaînes de cette partie du globe, d'avoir un versant septentrional peu incliné, tandis que l'autre est très-abrupte. Nous retrouvons du reste le même caractère dans le bassin oriental.

Adriatique. — L'Adriatique est peu profonde; l'Archipel avec son sol mouvementé, et la mer Noire au fond assez plat et recouvert d'une mince nappe d'eau, reproduisent d'une manière frappante le relief général des régions voisines.

Donc, ce que nous voyons hors de l'eau, nous le retrouvons sous l'eau. Mieux le fond de la mer est exploré, plus on trouve d'analogie entre son relief et celui des continents. Il n'y a pas d'abîmes insondables, de mers sans fond; ces expressions ne sont que des métaphores à l'usage des poètes.

Océan Atlantique. — L'océan Atlantique septentrional est assez bien connu, grâce aux travaux de Maury. La figure 3 indique les caractères les plus saillants du relief du fond de cet océan. Les diverses teintes correspondent à des profondeurs de plus en plus grandes à mesure que la teinte est plus foncée, les lignes de séparation de ces zones teintées sont les lignes de niveau du fond. Les teintes claires correspondent à des profondeurs variables jusqu'à 1800 ou 2000 mètres, les profondeurs de 7000 à 9000 mètres étant indiquées par les teintes les plus foncées.

On voit d'abord que la partie la plus accidentée du bassin est voisine du continent américain. Elle forme une longue gouttière descendant de la mer de Baffin vers Terre-Neuve qu'elle contourne à l'est. Revenant vers l'ouest, elle suit à peu de distance la côte des États-Unis, passe entre la Floride et les Bermudes, s'infléchit de nouveau vers l'est en descendant vers l'équateur qu'elle rencontre près de l'île Saint-Pierre. Une autre longue vallée, descendant du nord, suit à peu de distance les côtes d'Eu-

rope, passe entre les Açores et Madère et rejoint la première entre les îles du Cap-Vert et les Petites-Antilles.

Tandis que la première s'enfonce jusqu'à 8000 mètres environ, au sud de Terre-Neuve, l'autre n'a jamais plus de 3600 mètres de profondeur, surtout dans sa partie septentrionale. La gouttière occidentale est elle-même relativement peu profonde au nord de Terre-Neuve. La chaîne sous-marine qui la sépare de sa voisine est à moins de 2000 mètres au-dessous du niveau de l'Océan. Cette région, relativement peu accidentée, constitue ce qu'on appelle le *Plateau télégraphique*. C'est là que repose le câble électrique qui relie l'Irlande à Terre-Neuve.

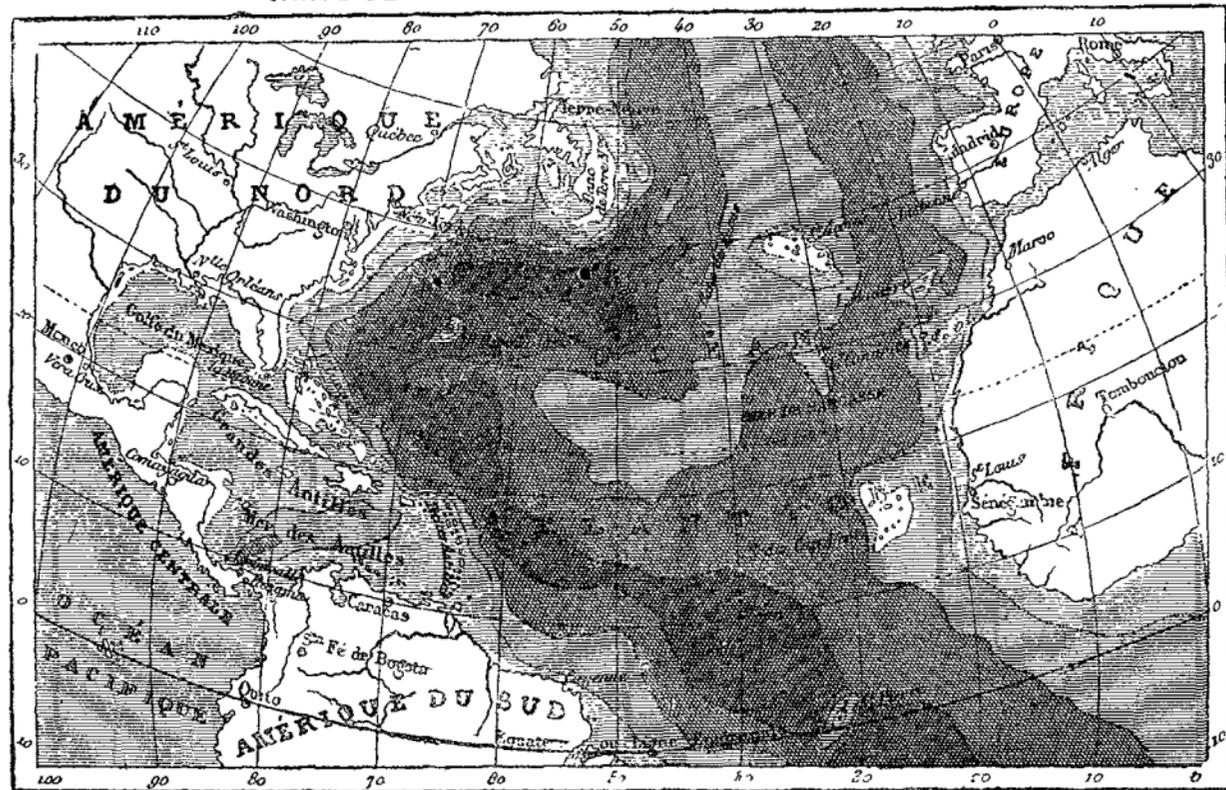
La région occidentale de l'Océan, la plus profonde, est aussi la plus tourmentée. A côté des points les plus bas surgissent des montagnes, de véritables pics, les Bermudes, l'île Saint-Pierre; les immenses falaises qui bordent au sud le banc de Terre-Neuve, à l'est le plateau sous-marin des Lucayes et des Petites-Antilles, ne se retrouvent qu'à une échelle réduite dans les escarpements qui terminent à l'ouest le plateau africain, et en particulier les promontoires sous-marins des Canaries et des îles du Cap-Vert.

Nous ne possédons sur l'océan Atlantique méridional que des données beaucoup plus incomplètes. Le capitaine Denham et le lieutenant Parker ont observé de 14 à 15 kilomètres. Mais ces résultats sont très-probablement exagérés; on croit généralement que la profondeur n'y excède pas 9 kilomètres, chiffre supérieur à l'altitude des plus hauts sommets de l'Himalaya.

Océan Pacifique. — L'océan Pacifique contient des abîmes encore inexplorés; on n'y rencontre que de rares sondages effectués pendant des voyages de circumnavigation; encore, dans beaucoup d'entre eux n'indique-t-on que des profondeurs auxquelles est descendue la sonde sans toucher le fond.

Cependant le capitaine Ringgold a trouvé, par des observations qui paraissent certaines, une région profonde

CARTE DES PROFONDEURS DE L'OCEAN ATLANTIQUE



Dessiné par Dumas-Vorzet d'après Maury Stüler etc

Grave par Erhard.

Fig. 3

de 15 kilomètres, c'est-à-dire dépassant le triple de la hauteur du Mont-Blanc.

Le professeur Bache, en partant de ce principe qu'une onde se transmet d'autant plus rapidement à travers une nappe d'eau que cette dernière est plus profonde, et en s'appuyant sur le fait d'un raz de marée observé au Japon et quelques heures plus tard en Californie, trouvait par le calcul une profondeur moyenne de 4330 mètres pour le nord de l'océan Pacifique. Le nombre adopté généralement aujourd'hui est 4000 mètres.

5. Épaisseur moyenne de la couche d'eau totale. —

Bien que le fond de la mer soit, comme on le voit, très-peu connu, on a cherché à évaluer l'épaisseur moyenne des océans, celle qu'ils auraient s'ils reposaient sur la surface du globe supposée unie et sans accidents.

Buffon admettait que la profondeur moyenne de l'Océan était de 449 mètres.

Laplace, en attribuant par erreur aux terres émergées une altitude moyenne de 1000 mètres au-dessus du niveau de la mer (les travaux modernes les plus complets n'assignent pas aux terres plus du tiers de cette altitude moyenne), pensait que la profondeur moyenne des mers devait aussi être de 1000 mètres.

Une discussion s'appuyant sur des données plus précises, a considérablement réduit ce chiffre. La masse totale des eaux, répartie sur une sphère unie ayant le rayon moyen de la terre, formerait sur toute sa surface une couche de 200 mètres d'épaisseur. Cette masse est très-considérable par rapport aux parties émergées de la terre, mais elle est extrêmement faible si on la compare à la masse totale du globe, dont elle ne forme que la mille sept cent quatre-vingt-sixième partie !

6. Composition moyenne de l'eau de mer. — La mer est soumise à une incessante évaporation. Les vapeurs qui s'en dégagent et que les vents entraînent dans

les hauteurs où elles se condensent en nuages, sont formées par de l'eau pure; mais quand ces vapeurs se résolvent en pluies à la surface des continents, les eaux, lavant les terres, retournent à la mer chargées de matières salines qu'elles ont dissoutes, ou qu'elles entraînent en suspension. Ces dernières se déposent peu à peu sur le fond des mers qu'elles exhausent; les autres sont peu à peu extraites en partie des eaux par les plantes et les animaux marins qui en forment leurs abris, et les dépouilles de ces êtres s'accumulent à leur tour au fond des océans. Le reste s'accumule lentement à l'état de dissolution dans l'eau des océans et en occasionne la *salure*. Cette salure n'est pas constante, elle varie suivant les localités et la profondeur. L'apport des fleuves et des sources sous-marines varie suivant les lieux; il en est de même de l'évaporation et de l'activité de la vie sous-marine; mais les courants marins tendent sans cesse à mélanger ces éléments divers. En moyenne, la composition de l'eau des mers est la suivante:

	Parties.
Eau pure.....	962
Sel marin, chlorure de sodium.. . .	27,1
Chlorure de magnésium.....	5,4
Chlorure de potassium.....	0,4
Bromure de magnésium.	0,1
Sulfate de magnésie... ..	1,2
Sulfate de chaux.....	0,8
Carbonate de chaux.....	0,1
Résidu indéterminé.....	2,9
Total.....	<u>1000</u>

Le poids de cette eau à 20° centigrades est de 1027 kilogrammes par mètre cube, tandis qu'à la même température l'eau pure ne pèserait que 998 kilog.

7. Variation de la salure des mers. — Cette composition moyenne laisse place à des variations assez notables suivant les points où l'eau de mer a été puisée.

Ainsi la salure de la Baltique, mer peu profonde, où de si grands fleuves versent leurs eaux, n'atteint pas 5 millièmes, tandis que la mer Rouge, qui ne reçoit pas un cours d'eau douce, et à la surface de laquelle l'évaporation est très-active, atteint l'énorme salure de 43 millièmes.

On a remarqué que la salure des couches marines superficielles diminue graduellement de l'équateur aux pôles, et qu'en général elle augmente avec l'éloignement des terres et la profondeur des eaux.

Les mers intérieures sont tantôt plus salées, tantôt moins salées que l'Océan; cela dépend de l'équilibre plus ou moins parfait entre la quantité d'eau enlevée par évaporation et la quantité rendue par les pluies et les cours d'eau. La mer Baltique, la mer Blanche, la mer d'Azow, la mer Noire, la mer de Marmara, la mer Jaune sont moins salées que l'Océan. La mer Caspienne est dans le même cas. La mer Noire, en particulier, qui reçoit les eaux du Danube, du Dniester, du Dnieper, du Don, a une salure environ deux fois plus faible que celle de l'Océan, bien que l'évaporation soit très-active à sa surface; ses eaux n'ont qu'une densité de 1,013 au lieu de 1,027, densité moyenne des eaux océaniques.

La mer Rouge, la Méditerranée, la mer Morte ou lac Asphaltite sont, au contraire, plus salées que l'Océan. Les analyses de M. Roux ont prouvé que la mer Morte, près de l'embouchure du Jourdain, contient 200 grammes de sel par litre. On ne trouve nulle part une eau minérale aussi riche en matières salines.

Le bromure de magnésium s'y montre dans la proportion de 0 gr. 35 par litre; de sorte que la mer Morte est un riche dépôt de bromure de magnésium, substance si utile à la médecine et aux arts.

Les eaux du grand lac Utah et celles du lac d'Ourmiah, en Perse, ont de même une salure extraordinaire. Ce dernier, en particulier, renferme six fois plus de sel que l'Océan. Les eaux y sont très-denses; un homme y flotte facilement, sans faire aucun mouvement et sans

prendre la position bien connue des nageurs sous le nom *le faire le mort*.

Un fait assez singulier, c'est que l'océan Pacifique et l'océan Indien renferment environ un millième de matières salines en moins que l'océan Atlantique, bien que ce dernier océan reçoive plus d'eau douce que les deux autres océans réunis et qu'il soit soumis à une évaporation moins abondante en moyenne que celle de la mer des Indes.

C'est que la vie est très-active dans l'océan Pacifique et que des îles nombreuses et très-étendues y sont en voie de formation par l'action lente des coraux et des madrépores. L'action des glaces flottantes vient également s'ajouter à la cause précédente.

Les substances énumérées plus haut, p. 12 (6), forment la partie principale des matières recueillies dans l'eau de mer. On y trouve encore des métaux tels que le fer, le cuivre, le plomb, l'argent. On a calculé que la masse d'argent disséminée dans tous les océans dépasse de beaucoup celle que le monde civilisé possède depuis la découverte de l'Amérique, et même celle que peuvent contenir les veines métallifères du Mexique et du Pérou, bien que M. de Humboldt ait dit que ces contrées reposent sur des fondements d'argent.

8. Couleur de la mer. — L'aspect de la mer est très-variable. Les noms donnés à ses diverses régions le montrent suffisamment. Tels sont les noms de mer Blanche, mer Noire, mer Vermeille, mer Jaune, mer Rouge. Au milieu des océans, l'eau présente même parfois un aspect tranché; de vastes étendues sont blanches comme du lait, jaunes, vertes comme de magnifiques prairies, ou rouges comme des lacs de sang. Ce sont là des effets particuliers dus à des causes locales. En général l'eau des mers nous paraît d'une teinte variant du bleu cobalt pur au vert jaunâtre.

Vue sous une faible épaisseur, elle est incolore comme l'eau pure; vue en grande masse, elle a un reflet bleu

comme l'atmosphère. Elle réfléchit les rayons bleus de la lumière du jour et laisse passer les rayons jaunes : du fond d'une mer bleue, la lumière du jour est fortement teintée en jaune. Quand la mer prend extérieurement une teinte verdâtre, ce changement est dû au voisinage d'un bas-fond ou à l'existence de matières solides flottant au sein des eaux. Les vastes plaines marines colorées en vert, en rouge, en blanc ou en jaune, dont nous avons parlé plus haut, doivent leur teinte à des crustacés microscopiques, à des méduses, à des zoophytes, à des plantes marines, ou encore à la vase apportée par les fleuves ou soulevée par les vagues ou les courants marins. C'est ainsi que la mer Rouge, à qui l'on a improprement donné ce nom dans sa partie septentrionale, où elle est généralement bleue, doit sa coloration rosée à une algue microscopique, le *Trychodesmium Erythreum*.

Freycinet et Turrel, à bord de la corvette *la Créole*, ont observé dans le voisinage de Tajo, île de Luçon, une étendue de 60 millions de mètres carrés colorée en rouge écarlate. Cette teinte, occasionnée par une plante microscopique, dont 40 millions d'individus occupent à peine un millimètre cube, s'étendait à une grande profondeur. On ne pourrait donc pas essayer d'évaluer, même approximativement, le nombre de ces êtres vivants.

9. Phosphorescence de la mer. — Dans la zone tropicale en toute saison, et pendant l'été dans les zones tempérées, la mer devient lumineuse pendant la nuit. Chaque gouttelette qui s'en sépare ressemble à une perle brillante. Dans le sillage des navires ou sous l'action de la rame, l'eau étincelle, et les vagues, en se brisant à la mer ou sur les côtes, semblent se résoudre en une pluie de diamants. Ce phénomène est généralement produit par des animaux microscopiques vivant au sein des eaux. Le ver luisant nous offre un exemple de cette propriété de certains êtres de briller dans l'obscurité. Dans la mer le nombre des animaux phosphorescents est considérable.

La phosphorescence est encore produite dans certains cas par la décomposition des matières organiques en suspension dans l'eau; le fret de poisson jeté à la côte, les bancs d'algues arrachés aux rivages par les coups de mer peuvent devenir phosphorescents; mais la plupart des animaux qui jouissent de cette propriété pendant leur vie la perdent à leur mort.

CHAPITRE II.

LACS ET MERS INTÉRIEURES.

10. Des réservoirs d'eau dans l'intérieur des continents. — L'eau n'occupe pas seulement à la surface du globe les grandes dépressions communiquant toutes entre elles et constituant les grands océans. Elle remplit encore de nombreuses cavités formant des bassins de toutes grandeurs, ne lui présentant aucune issue apparente, ou lui permettant de s'écouler seulement par une étroite échancrure des bords du bassin. D'autres fois, cependant, elle trouve plusieurs issues, où le bassin est un simple élargissement du lit étroit d'un torrent ou d'une rivière qui ne fait que le traverser.

Le bassin reçoit des noms différents, suivant sa grandeur, sa forme et la nature du terrain où il est creusé : il se nomme *mare*, *étang*, *lac* ou *mer intérieure*.

Nous avons déjà dit plus haut l'incontestable utilité des mers intérieures pour faciliter les communications entre les peuples. Outre l'avantage qu'elles ont de diminuer la compacité des continents en les découpant profondément, elles contribuent encore à leur fertilité. Leur eau est salée, mais l'atmosphère la distille, l'emporte pure et la dépose sur les terres ainsi fécondées. L'air ne peut, à une température donnée, se charger que d'une quantité déterminée et toujours assez faible de vapeur d'eau. Il ne la transporte généralement pas très-loin dans les continents; il serait bientôt desséché s'il ne rencontrait sur sa route

des réservoirs naturels, véritables *relais de vapeur*, comme les appelle Maury, où il se charge de nouveau de vapeur d'eau pour la répandre un peu plus loin.

Ainsi s'établit un système de compensation. Partout où il y a un bassin, les eaux tombées sur toute la surface tendent vers le point le plus bas ; c'est là qu'elles se réunissent. En même temps les vents tendent à enlever cette eau à l'état de vapeur, pour la reporter plus loin et arroser de nouvelles terres.

Cette centralisation des eaux ne se fait pas seulement à la surface de la terre. L'eau pénètre à travers les terrains qu'elle imbibe. Lorsqu'elle rencontre des couches imperméables, elle cesse de descendre, elle s'amasse dans les points les plus bas de ces bassins souterrains, et y forme de véritables nappes d'eau. Ce sont autant de réservoirs auxquels nous avons recours lorsque les autres nous font défaut. Il suffit de rappeler la renaissance du Sahara algérien dans ces dernières années, grâce à de nombreux percements de puits artésiens, pour comprendre l'immense utilité de ces lacs souterrains appelés par les Indous les *mamelles du monde*.

11. Constance du niveau des lacs et des mers intérieures. — On s'est longtemps demandé comment il se fait que les mers intérieures et les lacs aient un niveau constant. Dans certains cas surtout, lorsque la masse d'eau n'avait aucune communication apparente avec l'Océan, on a recouru à toutes sortes de suppositions gratuites, à des fleuves souterrains, par exemple, pour expliquer la constance du niveau. Les fleuves souterrains existent ; nous verrons plus loin comment ils se produisent ; mais l'évaporation est une cause d'équilibre beaucoup plus active, surtout dans certains pays, qu'on ne le croirait au premier abord.

La mer Caspienne, le lac d'Aral, la mer Morte, par exemple, reçoivent les eaux de fleuves plus ou moins abondants et ne débordent pas. La Caspienne reçoit le Volga

et l'Oural ; la mer d'Aral, le Djihoun ou Oxus des anciens ; la mer Morte, le Jourdain. Or un nivellement très-soigné a montré au commandant Lynch que le niveau de la mer Morte est de 396 mètres environ inférieur à celui de la Méditerranée. La Caspienne est également, suivant Maury, à 27 mètres au-dessous de l'Océan ; suivant d'autres auteurs, son niveau serait de 115 mètres plus bas que celui de la mer Noire. Dans ces conditions, ce ne peut être l'Océan qui reçoive le trop-plein de ces mers. Une certaine somme d'eau leur est annuellement apportée par les fleuves ; une certaine somme leur est annuellement enlevée par évaporation. Le niveau de la mer est réglé par l'équilibre de ces deux sommes. Pour qu'il vint à changer d'une manière permanente, il faudrait que les conditions météorologiques du bassin dans son entier fussent modifiées elles-mêmes d'une manière permanente.

Jadis la mer Morte était en communication avec l'Océan. C'était à une époque où la France était loin d'avoir l'aspect qu'elle a aujourd'hui, et où l'Europe était peut-être en partie couverte par la mer. Mais il est constant qu'à une époque très-reculée la mer Morte versait dans l'océan Indien, par la mer Rouge, le tribut de ses eaux. Des voyageurs ont en effet trouvé le lit de la rivière qui reliait la mer Morte au golfe d'Akaba. Le lac Asphaltite avait donc autrefois un niveau supérieur de 396 mètres à celui d'aujourd'hui. Les eaux pluviales déversées dans cette mer devenant moins abondantes et, sans doute aussi, l'évaporation plus active, ou bien, la jonction des deux mers ayant disparu par un mouvement du sol, le niveau de la mer Morte s'est graduellement abaissé jusqu'au point actuel.

Le retrait des eaux se constate très-bien sur les bords de la Caspienne, où l'ancien lit est représenté par de vastes plaines salées. Le grand lac salé en Amérique, le lac Titicaca, dans l'Amérique du sud, sont des exemples du même genre de phénomènes.

12. Lacs périodiques. — La constance des lacs ou mers intérieures n'est toutefois que relative. Leur niveau varie, suivant le cours des saisons, dans des limites d'autant plus grandes que ces saisons sont plus tranchées et que l'étendue de la nappe d'eau est plus faible par rapport à l'étendue du bassin dont elle reçoit les eaux.

Les observations faites depuis 1715 sur la mer Caspienne montrent clairement qu'elle augmente et diminue d'une dizaine de mètres environ, suivant l'abondance des neiges et des pluies dans les régions qui lui versent leurs eaux. Des lacs alimentés par la fonte des neiges changent même de niveau du matin au soir à cause de la fonte des neiges dans la journée sous l'action du soleil. Les *seiches*, ou variations périodiques du lac de Genève, doivent même être probablement attribuées à cette cause.

Les *lacs périodiques* s'expliquent facilement de la même manière dans le plus grand nombre des cas. Ils sont du reste très-fréquents. En Europe, où les pluies sont irrégulièrement distribuées dans le cours de l'année, ce ne sont que des mares, et ils fixent peu l'attention; mais entre les tropiques, où les pluies sont d'une régularité remarquable, ils couvrent quelquefois des espaces de plusieurs centaines de lieues de long. Les fameux lacs de Narayes et de Paria sont de cette nature. Ils ont été maintes fois inscrits et effacés sur les cartes d'Amérique, suivant l'époque à laquelle les voyageurs traversaient la contrée dans laquelle ils se forment.

Le lac Caër, au Sénégal, est très-connu pour sa périodicité.

L'Afrique en présente sans doute un grand nombre de semblables. C'est ainsi que, dans le Tell algérien et sur la limite du Sahara, plusieurs fleuves vont, pour ainsi dire, se perdre dans les sables pendant la saison sèche, tandis que dans la saison pluvieuse ils forment, à leur extrémité basse, une sorte d'étang, de petit lac que le soleil et le vent font bientôt disparaître.

13. Profondeur des lacs. — Les lacs, comme les mers, sont généralement d'autant plus profonds que leurs rives sont plus hautes et plus escarpées. C'est pour cela que, dans les Alpes, les lacs les plus profonds sont sur le versant méridional de ces montagnes, versant beaucoup plus escarpé et plus accidenté que le septentrional. Le lac Majeur a 854 mètres de plus grande profondeur, le lac de Côme 604 mètres. Les lacs de Constance, de Genève, de Brienz, sont très-loin d'avoir cette profondeur, et il en est de même des autres lacs situés sur le versant nord des Alpes.

C'est là une règle générale, très-loin, cependant, d'être constante. La Caspienne, au pied du Caucase, n'a jamais une profondeur supérieure à 140 mètres, seulement n'oublions pas que son niveau est lui-même très-bas.

D'un autre côté nous voyons les grands lacs d'Amérique avoir pour profondeurs moyennes :

	Mètres.
Le lac Supérieur.....	300
— Michigan..	333
— Huron.....	333
— Erié.....	188
— Ontario.....	177

14. Composition de l'eau des lacs. — Tous ces lacs, remplis par des cours d'eau, ou leur servant de point d'émergence, sont des lacs d'eau douce. Les lacs entièrement isolés de la mer peuvent, comme celle-ci, avoir des eaux très-chargées de matières salines. Tels sont d'abord les mers intérieures, la mer Caspienne, la mer Morte; tels sont encore le lac Salé du pays des Mormons, les lacs situés au pied du mont Taurus, les lacs de Van et d'Ourmiah sur les frontières de la Perse et de l'Arménie.... Le lac d'Eltonsk, dans la steppe à l'est du Volga, est tellement salé qu'il fournit la plus grande partie du sel consommé en Russie.

Quelques lacs au fond desquels débouchent des sources minérales empruntent à cet élément spécial une composi-

tion particulière, une couleur propre, et souvent un aspect extraordinaire. L'eau s'agite sans aucune cause apparente, d'autres fois elle bout et lance des torrents de vapeur, ou il s'en dégage des gaz à grand bruit. Tel est, par exemple, dit Burges cité par Bergmann, un étang près de Beja en Portugal.

Le lac Lomond en Écosse et le lac Wetter en Suède sont parfois très-violemment agités par le plus beau temps. L'étang de Krestin, dans le Brandebourg, se met souvent, pendant le calme, à bouillonner en tourbillons qui mettent, suivant Bernouilli, les barques des pêcheurs en grand danger. Enfin la source sulfureuse du pays des Mormons est aussi remarquable. Elle se dégage du fond d'un lac, elle est tellement chaude qu'elle bout sans cesse et lance d'épais nuages dans l'air.

Le cratère-lac Taschem à Java, n'est autre qu'un cratère de volcan rempli d'eau. Aucun poisson ne peut y vivre à cause de la grande proportion d'acide sulfurique qui y est contenu.

On a depuis longtemps remarqué dans le golfe de Carriaco, près de Cumana, un intéressant phénomène : une source de naphte jaillissant du fond de la mer, la colore en jaune sur une longueur de près de 300 mètres.

La mer Caspienne et ses bords sont; dans les environs de Bakou au pied du Caucase, le théâtre d'un fait curieux : du naphte vomit par des sources au fond de la mer ou dans son voisinage surnage parfois en grande quantité, en même temps que des flammes se dégagent de ses bords; la présence de ce naphte altère évidemment la composition des eaux de la Caspienne, principalement en ce point que l'on reconnaît de loin à son odeur. Si l'on s'approche de l'embouchure du Volga et de l'Oural, la composition de l'eau change, elle est moins salée.

La mer Morte, de même que la Caspienne, est riche en asphalte; elle est encore extrêmement salée près de l'embouchure du Jourdain, bien qu'elle le soit là un peu moins qu'en ses autres points.

Les lacs de Charchiaio, de Castelnuovo et de Monterotondo, en Italie, contiennent de l'acide borique libre, mais ces faits sont rares.

Les steppes de la Sibérie, au nord-est de la mer Caspienne, sont couvertes de lacs dont les eaux, fortement salées, renferment principalement des sulfates de magnésie et de chaux; d'après Georgi, ils forment presque une chaîne continue depuis le Kouma et le bas Volga jusqu'au Jenisseï et au delà. La Hongrie est également riche en étangs salés ou amers renfermant souvent, comme ceux de la Russie et de la Sibérie, au lieu des sulfates de magnésie et de chaux, du natron ou du carbonate de soude.

15. Température des lacs. — La température des lacs est très-variable des uns aux autres, ce qui se comprend à cause des conditions physiques très-diverses dans lesquelles ils se trouvent.

L'altitude des lacs, leur position géographique, leur isolement ou leur communication directe avec la mer, la nature des eaux qu'ils reçoivent, leur profondeur sont les causes qui influent le plus puissamment sur leur température.

En dehors des lacs bouillants ou très-chauds, qui constituent de véritables sources thermâles, nous pouvons dire des lacs ce que nous dirons des fleuves. Leur surface se congèlera dans les régions arctiques ou à une grande altitude. — S'ils sont très-profonds, la température des couches basses sera de 4 degrés lorsqu'ils ne seront pas salés; s'ils sont salés, ils rentrent dans le cas des mers dont nous parlerons plus loin.

Il y aura donc des lacs à température variable et d'autres à température constante. Les uns auront des eaux peu froides s'ils sont alimentés par des sources dont l'altitude est inférieure à celle des neiges persistantes; leur température variera régulièrement avec les saisons. D'autres, alimentés en été par l'eau provenant de la fonte des neiges, en hiver seulement par des sources moins élevées,

pourront, dans les zones tempérées, présenter une variation complexe et parfois inverse de la température.

16. Distribution géographique des lacs. — Les contrées où les lacs sont les plus vastes et les plus nombreux sont évidemment celles où se produisent les précipitations les plus abondantes de vapeur d'eau, et où le sol est formé de roches compactes absorbant difficilement l'eau.

Cette dernière condition de l'imperméabilité du sol est essentielle. Si elle n'est pas satisfaite, les eaux disparaissent dans les entrailles de la terre et vont alimenter les nappes souterraines dont l'industrie sait tirer un parti si avantageux. Dans l'Amérique boréale il pleut moins que dans l'Amérique tropicale; mais le sol, de nature granitique, de la première retient l'humidité précipitée de l'atmosphère, en même temps que l'évaporation, beaucoup moins active que dans la zone torride, enlève relativement peu d'eau. Aussi voyons-nous à ces hautes latitudes la *Méditerranée d'eau douce* traversée par le Saint-Laurent, et une masse de lacs dont nous avons parlé plus haut.

Les bassins lacustres sont irrégulièrement distribués dans les Alpes. Les Alpes maritimes, cottiennes, grées et pennines en renferment relativement peu jusqu'au Mont-Blanc. Il en est de même des Alpes juliennes, carniques et de toutes les ramifications orientales de cette chaîne jusqu'à la Turquie, en exceptant seulement la portion qui comprend la Bavière méridionale et le pays de Salzbourg. C'est seulement autour de la grande masse centrale du Saint-Gothard et dans les vallées rayonnantes autour de ce centre ainsi que dans celles qui limitent le Jura, que l'on trouve de grands et nombreux lacs.

Dans l'ancien continent, comme dans le nouveau, les régions où les bassins lacustres abondent sont à de hautes latitudes, parce que l'évaporation y est moindre et empêche moins par suite l'accumulation des eaux dans les cavités du sol. Il y a cependant aussi des lacs à des latitudes inférieures, partout où de hautes barrières montagneuses

produisent de grandes chutes de pluie en même temps qu'elles accidentent la surface du sol et y dessinent des cavités sans issue où l'eau peut s'accumuler.

Aussi pouvons-nous distinguer dans l'ancien continent deux zones lacustres. La première commence dans les plaines basses de la Hollande, suit le lit de la Baltique jusqu'au nord golfe de Bothnie, et s'étend à travers les plaines basses de la Sibérie jusqu'au détroit de Behring. Les deux plus grands lacs de la partie européenne de cette zone sont les lacs Ladoga et Onéga.

La seconde zone de l'ancien continent suit la ligne du grand massif montagneux qui le traverse ; elle comprend les lacs des Pyrénées, des Alpes, des Apennins, de l'Asie Mineure, la Caspienne, le lac d'Aral et les lacs du plateau central asiatique.

On trouve beaucoup de lacs dans les Pyrénées, mais ils sont généralement petits, notamment dans les vallées du versant français. Par contre, ceux des Alpes sont innombrables. Citons parmi les plus remarquables du versant septentrional : ceux de Genève, de Lucerne, de Zurich, de Neufchâtel, de Constance. Nous voyons sur le versant méridional les lacs de Côme, de Lugano, d'Iseo, Majeur, de Garde, de Zirkitz. Les lacs des Apennins sont beaucoup moins grands que ceux des Alpes. Le principal est celui de Pérouse, l'ancien lac Trasimène. Ce sont pour la plupart des lacs volcaniques.

La partie occidentale de l'Asie renferme plusieurs lacs remarquables dont il a été question plus haut : la Caspienne, le lac d'Aral, les lacs de Van et d'Ourmiah, le lac de Tibériade, et la mer Morte qui correspond à la plus profonde cavité connue dans l'intérieur des terres.

Il y a peu de lacs dans la chaîne de l'Himalaya. Le plus grand est celui de Wuler dans la province de Cachemire ; un autre est situé au pied de la chaîne. Sur son versant septentrional est le lac Palte, remarquable à cause de sa forme annulaire. On trouve enfin près des sources de l'Indus, du Gange et du Bramapoutra, les lacs

sacrés de l'Inde, dont les principaux sont ceux de Manasarowan, de Bakas-Taler de Gho-Lagan.

Les lacs du haut plateau asiatique sont peu connus ; les plus grands sont, dit-on, le Kéko-Nor et le Lap. La chaîne des Altaï, qui limite au nord ce plateau, est très-riche en lacs, dont quelques-uns sont très-grands, comme le Tenghis ou Balkhoch, le Kossoga et le Baïkal.

Enfin l'un des principaux lacs de l'Asie orientale est le lac japonais d'Oitz, formé en une seule nuit par l'affaissement soudain du sol, 280 ans avant Jésus-Christ, pendant une violente éruption volcanique.

L'Afrique possède de nombreux bassins lacustres. Il y a d'abord dans l'isthme de Suez les lacs Amers, le lac Timsah, où les travaux de l'homme ramènent aujourd'hui les eaux de la mer. Plus loin on trouve le lac Menzaleh, vaste lagune formée par les eaux du Nil. La chaîne des lacs salés se continue, comme nous l'avons déjà vu, le long des côtes septentrionales de l'Afrique. On les retrouve sur la côte sud-est de ce continent. Le lac d'eau douce Nyapi, à l'ouest du canal de Mozambique, est très-étendu ; les lacs Nyassa découverts par Speke, sont encore plus grands. Les voyages d'Osevell, de Muray, de Barthin, de Vogel, de Livingstone, de Deken, ont montré qu'il existe dans l'intérieur de l'Afrique beaucoup de grands lacs, entre autres ceux de Nyami et de Dambia dans l'Abyssinie, le lac Tchad au centre de la Nigritie.

Aucun système lacustre ne peut rivaliser d'ampleur avec celui de l'Amérique septentrionale. Il est formé de cinq grands bassins communiquant ensemble et recouvrant une surface de 243 100 kilomètres carrés :

	Extension en kilomètres carrés.	Altitude du niveau.
Le lac Supérieur.....	82 880.....	210 mètres.
— Michigan.....	58 000.....	200 —
— Huron... ..	52 840.....	200 —
— Erié.....	24 860.....	188 —
— Ontario.. . . .	24 090.....	78 —

Toute la partie boréale de l'Amérique est recouverte par d'innombrables lacs ou étangs.

A l'exception du Nicaragua, il n'y a que de petits lacs dans l'Amérique centrale. Une longue série de lagunes et de marais bordent la base orientale des Andes, mais on trouve dans les vallées et sur les hauts plateaux de cette chaîne beaucoup de petits lacs aux eaux très-pures : l'un des plus grands est le lac Titicaca, dont le niveau est à 4000 mètres environ au-dessus du niveau de la mer. L'hygiène exige que l'on fasse progressivement disparaître les marais et marécages d'où s'exhalent des miasmes funestes à la santé publique. Les inconvénients sont beaucoup moindres pour les lacs encaissés, dont les bords sont fortement relevés et s'assèchent promptement, dès que le niveau des eaux vient à baisser; ils sont moindres encore quand les lacs sont placés à de grandes hauteurs où la température est beaucoup moins élevée que dans la plaine. Ces lacs, au contraire, offrent de grands avantages pour la régularisation des cours d'eau, et il serait utile d'en créer partout où la configuration du sol et la nature du sous-sol le permettent. Le degré de civilisation d'un peuple agricole se mesure à la manière dont il écarte les eaux nuisibles et aménage les eaux utiles.

CHAPITRE III.

FLEUVES ET BASSINS HYDROGRAPHIQUES.

17. Bassins hydrographiques. — Les eaux répandues sur les continents tendent toujours, en vertu de la pesanteur, à regagner des points plus bas que celles où elles ont été déposées à l'état de pluie, de neige ou de grêle. Une partie pénètre dans le sol et sert à entretenir l'humidité nécessaire à la végétation; une autre partie s'écoule directement vers les dépressions du terrain dans une proportion d'autant plus grande que le sol est plus incliné ou d'une nature moins perméable.

Les eaux qui ont pénétré sous la surface terrestre, n'y sont pas entièrement reprises par les racines des plantes ou par l'évaporation; l'excédant s'écoule par des canaux souterrains vers les déclivités, jusqu'à ce qu'elles rencontrent un orifice naturel ou pratiqué de main d'homme, par lequel elles reparassent à la surface du sol.

Les grandes saillies du plateau central de la France, des Pyrénées, des Alpes, etc., ont leurs déclivités dirigées dans des sens très-divers, et les eaux qui tombent à leur surface, en des points même très-rapprochés, pourront suivre des routes opposées et se rendre vers des mers très-éloignées l'une de l'autre. L'ensemble des points où s'opère ainsi le partage des eaux pluviales porte le nom de *ligne de faite* ou *ligne de partage*. Mais dans ces régions montagneuses, les vallées sont très-nombreuses et s'entrecroisent dans tous les sens. La ligne de partage prin-

cipale se ramifie en une infinité de lignes secondaires amenant une séparation des eaux moins complète et leur permettant de se réunir ultérieurement dans un même courant. L'ensemble des pentes d'où les eaux s'écoulent dans un même fleuve, s'appelle le *bassin hydrographique* ou simplement le *bassin* de ce fleuve. C'est ainsi que le Rhin, la Meuse, l'Escaut, la Seine, la Loire, la Garonne, le Rhône, sont alimentés par les eaux tombées sur autant de grands bassins entre lesquels est partagée la surface de la France.

La ligne de séparation de deux bassins ou lignes de faite est très-contournée et très-variable dans sa hauteur. Elle s'abaisse en général à mesure qu'on s'approche de la mer et finit souvent par y devenir insensible. Les collines qui séparent en Hollande les bassins du Rhin, de la Meuse, sont extrêmement basses, elles cessent d'exister à une très-grande distance de la mer, où les fleuves, incertains sur la direction qu'ils prendront à travers des plaines unies, se partagent en plusieurs bras dont la moindre cause déränge le cours. Le bassin de l'Orénoque et celui de l'Amazone, dans l'Amérique du Sud, sont tellement peu séparés l'un de l'autre, que le Cassiquiare et plusieurs autres rivières les réunissent, rendant inutiles les travaux de canalisation entrepris dans notre vieux continent pour faire communiquer entre eux des bassins souvent trop distincts pour les besoins de la navigation. Les sources de la Duna, du Dnieper, du Niémen, se confondent presque dans une même plaine marécageuse, point culminant de trois bassins hydrographiques contigus. Le Don et le Volga sont, en un certain point de leur parcours, très-rapprochés l'un de l'autre, et leurs bassins sont séparés seulement par de basses collines d'un sable mouvant. Si le vent souffle longtemps et avec force vers la mer Noire, les eaux s'accumulent volontiers dans le Don au lieu de continuer à suivre le Volga. Dans d'autres cas, c'est le contraire qui arrive; le lit de chacun des fleuves se déplace avec la plus grande facilité, et les

eaux passent de même d'un bassin hydrographique dans l'autre.

Dans d'autres cas, le bassin est circonscrit par de hauts remparts, comme le Pô par les Alpes et les Apennins ; quelquefois même des chaînes viennent le barrer à peu près entièrement, ne laissant qu'un étroit défilé où le fleuve trouve à peine une issue. Le Danube, le Rhin, la Meuse, le Rhône, coulent ainsi en quelques points au pied de véritables falaises dont ils rongent la base. Aussi rien n'est plus propre à donner une idée fautive de la géographie, que de tracer sur des cartes les simples lignes de partage des eaux, en les accentuant également comme pour leur donner la même importance, et en négligeant les innombrables accidents orographiques de l'intérieur des bassins, auxquels ces derniers doivent souvent des caractères tout spéciaux.

18. Pente des cours d'eau. — La vitesse d'écoulement des eaux d'un fleuve est, à plusieurs égards, un élément important à considérer. Elle est le double résultat de la pente du fleuve et de la profondeur de ses eaux.

Généralement assez grande dans la partie supérieure du bassin, la pente diminue à mesure qu'on s'approche de la mer. Elle est le plus souvent très-faible près de l'embouchure. Rappelons-nous la petitesse des inégalités de la surface terrestre et nous comprendrons sans peine que la pente moyenne des rivières doit être très-faible.

La Tamise a, de Chetsey à Teddington-Lock, une pente moyenne de 0^m,276 par kilomètre.

Le Nil, entre Assouan et le Caire, a une pente de 0^m,1026 par kilomètre.

L'Amazone a la même pente, d'après La Condamine.

D'après Rennie, la pente du Gange est 0^m,063 par kilomètre.

Le Rhône est, de tous les grands fleuves de l'Europe et peut-être du monde, celui dont la pente moyenne est la plus considérable. Du lac de Genève à Lyon, elle est de

1^m,334 par kilomètre, et de 0^m,513 par kilomètre de Lyon à son embouchure.

La vitesse moyenne du Nil est de 5400 mètres par heure, celle du Gange de 5000 à 8000 mètres. Nous venons de voir que le Nil a une pente supérieure à celle du Gange. Cela tient à ce que, en exceptant les cas de pente extraordinaire, la vitesse moyenne d'un fleuve dépend moins de sa pente que de sa profondeur et de la masse d'eau transportée. La vitesse générale due à la chute est presque entièrement détruite à chaque instant par le frottement de l'eau contre le lit du fleuve; cette perte de vitesse est d'autant plus grande qu'il y a relativement plus d'eau en contact avec le lit, c'est-à-dire que le lit est plus large et moins profond.

Si, en un point de son cours, la rivière a une pente très-considérable, elle devient en ce point un *rapide*¹. La navigation y devient très-difficile, la vitesse du courant empêche de le remonter, et la descente est souvent extrêmement périlleuse.

Le Rhône à Pierre Encise, le Rhin à Bingen, le Danube à Orsova, montrent ce phénomène d'une manière remarquable.

C'est en Amérique que l'on trouve les *rapides* les mieux accentués. Nous citerons, dans le Canada, la *Rivière de Montmorency*; à 14 kilomètres de Québec, le torrent est resserré entre de puissantes couches de rochers, il court sur des couches très-inclinées et forme un rapide suivi d'une chute de 80 mètres de hauteur. L'une des rives du rapide est formée par une série d'assises régulières superposées comme les marches d'un escalier, d'où le nom d'*Escalier des géants* donné par les Indiens. — La rivière du Connecticut, l'Amazone, ont aussi leurs rapides. On trouve de nombreuses chutes ou cataractes dans les régions montagneuses de l'Europe, de l'Asie, de l'A-

1. La violence des eaux est très-souvent augmentée par un rétrécissement du lit du fleuve.

frique, de l'Amérique, de l'Australie. Plusieurs d'entre elles ont une grande célébrité soit par le pittoresque des lieux, soit par l'abondance de leurs eaux. La plus importante est celle du Niagara, qui déverse les eaux du lac Érié dans le lac Ontario. On évalue que dans cette chute 25 000 mètres cubes d'eau tombent par seconde d'une hauteur de 50 mètres.

Les cours d'eau à pente rapide rendent faciles les dérivations soit pour l'arrosage des terres soit pour la création de forces motrices naturelles. La chute du Niagara correspond à une force motrice de 1250 millions de chevaux vapeur. Si donc les chutes et les rapides font obstacle à la navigation des cours d'eau, l'inconvénient, qu'une canalisation latérale peut amoindrir, peut être largement compensé pour l'agriculture et l'industrie.

19. Alluvions, deltas. — Les eaux pluviales quand elles sont abondantes et qu'elles coulent à la surface d'un sol nu, entraînent avec elles une partie plus ou moins notable des terres. Les montagnes déboisées dans les pays trop secs en été pour que l'herbe puisse y couvrir le sol et où cependant les pluies sont très-copieuses dans la saison humide, sont assez rapidement dépouillées de leur terre végétale et deviennent complètement arides. Ces terres sont transportées au loin dans la plaine ou charriées jusqu'à la mer où elles se perdent. Les graviers, puis les sables, sont abandonnés les premiers, sur les points où la vitesse des eaux commence à se ralentir. Les boues exigent pour se déposer une eau très-calme. Quand la vallée où serpente le cours d'eau est à très-faible pente, il y a souvent avantage à laisser les eaux gonflées et chargées de limon envahir les plaines qui en reçoivent un utile engrais: c'est ce qui a lieu dans les inondations du Nil. Le sol desséché de l'Égypte s'imprègne de l'eau nécessaire aux récoltes de l'année en même temps qu'il reçoit le limon qui entretient sa fertilité; mais généralement en Europe on évite ces envahissements des eaux. Le lit s'exhausse alors

progressivement et, comme le Pô par exemple, même pendant les basses eaux, le fleuve coule à un niveau su-

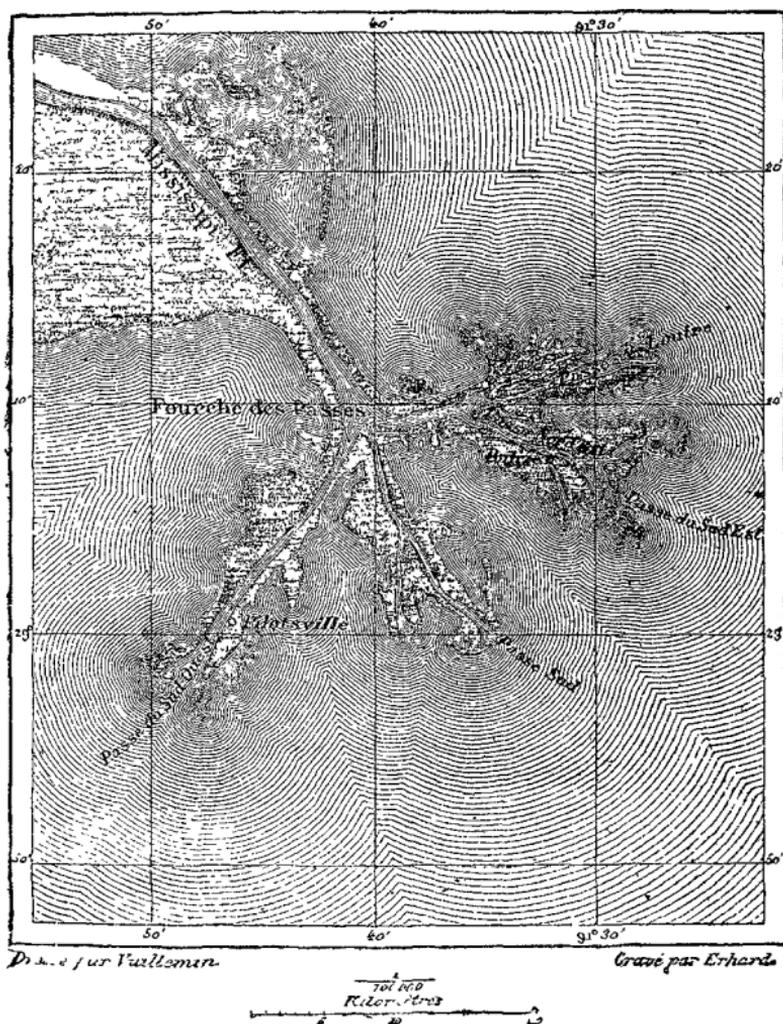


Fig. 4. — Embouchure du Mississipi.

périeur à celui de la plaine: ses digues doivent aussi s'élever progressivement. Si la pente du fleuve est plus rapide, la vitesse des eaux nettoie son lit, et c'est à son

embouchure que le limon se dépose. Les rives du fleuve s'avancent alors progressivement dans la mer et y constituent ce que l'on nomme des *Deltas*. Tous les fleuves qui n'aboutissent pas à une mer trop profonde ou trop agitée par les vagues ou les courants ont ainsi des deltas. Les deltas du Rhône, du Pô, du Danube, du Nil.... en sont des exemples remarquables. Le delta du Mississipi s'avance annuellement de 35 mètres en mer, et sa longueur est de 150 kilomètres sous forme de deux jetées limoneuses dont la hauteur augmente d'année en année en même temps que l'étendue.

Les courants marins s'opposent quelquefois à la formation des deltas. Tel est le cas de l'Amazone; mais il se forme à une très-grande distance dans l'ouest de ce fleuve de grands dépôts limoneux: c'est le delta transporté au loin pièce à pièce. Une cause semblable produit l'ensablement des côtes de Languedoc à l'ouest de l'embouchure du Rhône. Ce dernier fait cependant a été révoqué en doute par des travaux récents.

20. Cours d'eau souterrains. — Les eaux que nous voyons circuler à la surface du sol ne comprennent pas la totalité des eaux terrestres: beaucoup restent confinées dans les profondeurs du sol, où elles forment des cours d'eau souterrains d'une importance considérable, débouchant à l'extérieur, tantôt naturellement sous forme de sources, tantôt par des canaux creusés de main d'homme et qu'on nomme puits artésiens.

Les nappes souterraines sont alimentées par l'égouttement des terres superficielles au profit des couches profondes, ou par l'infiltration des eaux courantes, des rivières ou des fleuves, partout où leur lit traverse des terrains perméables. Les eaux d'infiltration venant à rencontrer une couche imperméable s'arrêtent à son niveau et la recouvrent d'une nappe d'eau d'une étendue plus ou moins considérable.

Si nous examinons en effet la structure de l'écorce terrestre, nous la voyons formée de couches de diverses na-

tures superposées plus ou moins régulièrement l'une à l'autre : des sables, des roches compactes fendillées, des marnes, des argiles, des roches compactes continues. Ces couches sont tantôt à peu près horizontales, tantôt plus ou moins inclinées et contournées ; en général elles se relèvent sur les bords des bassins hydrographiques ; les dernières formées sont plus circonscrites, les plus anciennes ont des limites plus étendues. Leur ensemble constitue en quelque sorte un système de cuvettes emboîtées l'une dans l'autre et de telle façon que le bord de chacune d'elles vienne affleurer la surface du sol sur une ligne d'autant plus rapprochée des limites du bassin que la couche considérée est à un rang plus bas. Chaque couche perméable ayant son affleurement sur le sol en reçoit des eaux d'infiltration ; chaque couche d'argile isole ces eaux de celles qui ont pénétré dans les couches perméables supérieures et inférieures. De là l'existence, dans la couche terrestre, d'un plus ou moins grand nombre de nappes d'eau superposées et distinctes, dont la forme est déterminée par celle de la couche où elle s'est logée et dont les bords, conséquemment, peuvent atteindre à d'assez grandes hauteurs au-dessus du niveau de la plaine.

Les nappes les plus superficielles communiquent le plus souvent avec l'extérieur par des conduits naturels : elles alimentent les sources. Les nappes plus profondes, dans les régions tourmentées par des éruptions volcaniques ou plutoniques anciennes, peuvent s'échapper par des fissures plus ou moins profondes ; elles fournissent les eaux minérales. La sonde peut aller chercher les unes et les autres, pour les ramener à la surface du sol.

Les nappes d'eau qui alimentent les sources, ont presque toujours un niveau beaucoup plus élevé que l'orifice de sortie, et le principe sur lequel reposent les jets d'eau devrait les faire jaillir à une certaine hauteur. Mais le plus souvent, le canal de sortie naturel est flexueux, encombré. Les frottements que l'eau y rencontre amortissent sa vitesse ; à peine aperçoit-on quelques bouillons à

la surface de l'eau dans les sources les plus abondantes. On conçoit très-bien cependant, que dans certains cas, la forme de l'orifice ménage mieux la vitesse du liquide et qu'on observe un véritable jet, malgré l'obstacle opposé par l'eau qui l'entourne dans le bassin. C'est ce qui a lieu, en particulier, dans la *Fontaine ronde*, dans le département du Doubs. Les eaux s'y élèvent avec un fort bouillonnement. Ce phénomène est beaucoup plus fréquent dans les puits artésiens, parce que l'orifice est régulier, malgré sa profondeur, et que ses parois métalliques donnent lieu à des frottements beaucoup moindres que les roches à fentes irrégulières.

21. Puits artésiens. — Les puits artésiens doivent leur nom à l'ancienne province de l'Artois, dans laquelle ils paraissent être connus depuis très-longtemps. L'un d'eux, celui de Lillers, près de Béthune, remonte au commencement du douzième siècle. Les couches aquifères sont assez nombreuses dans cette contrée, leur force ascensionnelle augmente, ainsi que l'expérience l'a prouvé, avec la profondeur à laquelle on va les chercher. Dans un sondage effectué aux environs de Dieppe, on rencontra sept nappes d'eau : la première à 26 mètres ; la seconde à plus de 100 mètres, et dont les eaux remontaient avec violence jusqu'à la surface du sol ; la troisième à 117 mètres, la quatrième à près de 214 mètres, la cinquième à 252 mètres environ, la sixième à plus de 287 mètres, donnaient des eaux dont la force ascensionnelle était considérable et croissante d'une couche à l'autre. Mais la septième, à 338 mètres, donna un jet si impétueux, que les ouvriers eurent à peine le temps de s'enfuir.

On a creusé dans le Modénois beaucoup de puits artésiens. Leur profondeur n'est que de 31 mètres. On rencontre alors une couche d'argile de 1^m,65 d'épaisseur, et quand on l'a percée, l'eau jaillit violemment.

Tout le monde connaît les heureuses tentatives faites à Paris dans la plaine de Grenelle et sur les hauteurs de

Passy, pour trouver une eau jaillissante sous les énormes bancs de craie sur lesquels repose Paris. L'eau a été rencontrée à plusieurs profondeurs; mais ce n'est qu'à 500 mètres environ qu'elle eut une force ascensionnelle assez grande pour être jaillissante.

De nombreux sondages ont été entrepris dans la province d'Alger, sous les auspices de l'administration française. Le manque d'eau est la plaie de la plus grande partie de notre belle colonie; mais à une faible profondeur on trouve sous le désert des nappes d'eau très-abondantes. Les indigènes allaient chercher sous la couche de sable l'eau que leur refusait le ciel; ils creusaient à grand'peine des puits d'une existence éphémère. C'est là que s'arrêtaient les caravanes, que les palmiers pouvaient croître et former de riantes oasis. Trop souvent la négligence des tribus nomades amenait l'ensablement du puits. L'eau disparue, les palmiers dépérissaient et le désert reprenait son empire. Dans ces derniers temps, les Français ont entrepris d'amener à la surface du sol la *mer souterraine* des Africains, en multipliant les puits dans le Sahara algérien et en utilisant leurs eaux pour l'irrigation d'immenses espaces incultes.

CHAPITRE IV.

OROGRAPHIE DU GLOBE.

22. Grandeur des inégalités du sol. — Si nous quittons les bords de la mer pour nous avancer dans l'intérieur des îles ou des continents, nous voyons le sol changer continuellement d'aspect. Tantôt il présente une pente douce ou de vastes étendues planes, que de légers plis accidentent à peine. Tantôt la pente devient rapide et le voyageur s'élève sur des cimes d'où il découvre de vastes étendues de pays, pour descendre ensuite au fond de cavités souvent abruptes, ou dans des couloirs étroits et tortueux, où la vue, bornée par de brusques escarpements, change à chaque pas.

Pénétrant sous la surface sphérique des eaux, l'observateur y reconnaît, ainsi que nous l'avons vu plus haut, le prolongement des inégalités des surfaces continentales. La terre est comme plissée, fracturée. Ici, elle a été rongée par les eaux et les agents atmosphériques ; là, elle s'est accrue par le dépôt de puissantes alluvions. La mer occupe les points les plus bas, c'est-à-dire les plus voisins du centre du sphéroïde à surface rugueuse. Les continents et les îles sont les sommets principaux de cette surface.

Les irrégularités de la surface terrestre, si considérables lorsque nous les rapportons à notre échelle, sont en réalité fort petites. Les figures 5 et 6 en donnent une idée.

La première représente la coupe de la terre de Paris à Terre-Neuve, à travers l'océan Atlantique. Pour y rendre

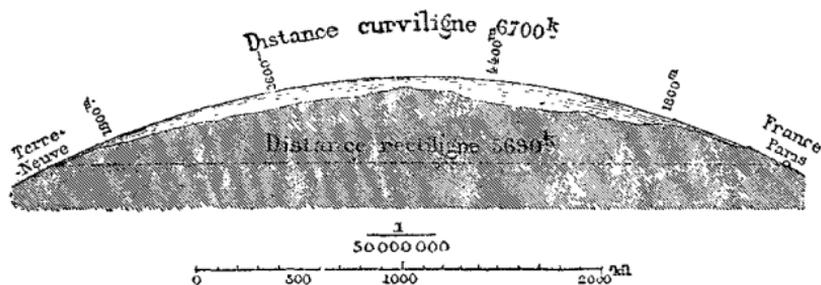


Fig. 5. — Coupe de l'Océan atlantique de Paris à Terre-Neuve. L'échelle des profondeurs est vingt-cinq fois plus grande que celle des longueurs.

sensibles les profondeurs de l'Océan, nous avons dû prendre pour elles une échelle vingt-cinq fois plus grande que pour les distances comptées parallèlement à la surface des mers.

La seconde figure est la coupe de la Terre suivant son équateur. Là encore, il a fallu exagérer beau coup les profondeurs pour commencer à les rendre sensibles; l'échelle des profondeurs est de cinquante fois plus grande que celle des longueurs, c'est-à-dire que la ligne sinueuse qui représente la surface de l'écorce terrestre s'écarte autant de la circonférence correspondant à celle des océans, qu'elle le ferait dans une sphère ayant près de 4 mètres de diamètre.

Un nombre nous donnera aussi une idée de la petitesse des inégalités du sol. Les plus hautes montagnes n'atteignent pas 9000 mètres au-dessus de la surface libre des océans. Les plus profonds abîmes sous-marins ne paraissent pas dépasser ni même atteindre 11 000 mètres. La somme de ces deux nombres, c'est-à-dire 20 kilomètres, est la limite supérieure des inégalités de l'écorce terrestre. Or la terre a 6000 kilomètres de rayon. Le rapport de la dénivellation *maxima* au rayon terrestre est donc inférieur

à $\frac{1}{300}$; cette dénivellation serait inférieure à 1 centimètre sur une sphère de 3 mètres de rayon.

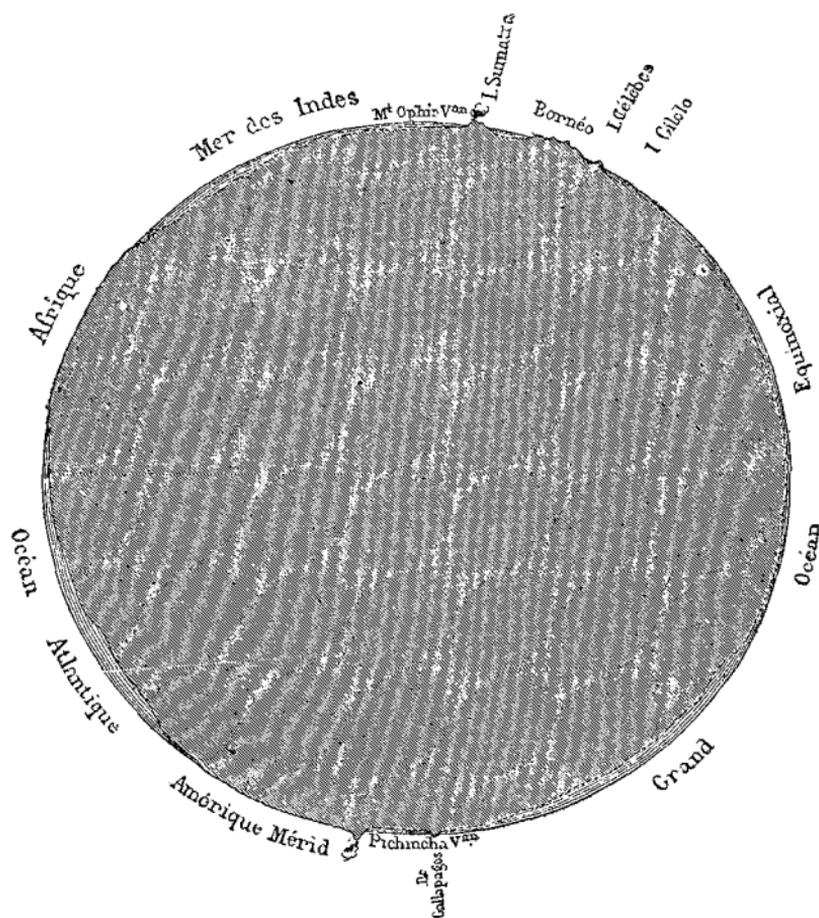


Fig. 6. — Coupe équatoriale de la Terre. L'échelle des profondeurs est cinquante fois plus grande que celle des longueurs.

Le fond du grand océan équinoxial et celui de la mer des Indes ont été représentés en pointillé, les documents, étant trop rares pour les déterminer avec précision.

25. — Différentes sortes d'inégalités de la surface terrestre. — Les éminences, et les vallées laissées entre elles, ont reçu divers noms suivant leur grandeur et leur forme. Quand l'éminence est très-étendue, elle forme un *plateau*. La surface du plateau est plane ou plus ou moins ondulée; elle est horizontale ou en pente faible; quelquefois les eaux ne trouvent d'écoulement que vers le centre du plateau. Les bords, sans être toujours abruptes, ont une pente beaucoup plus rapide que celle de la surface. Quand une pente est très-rapide, elle constitue une *falaise*. On dirait qu'en ce point l'écorce terrestre a été transportée d'un bloc à un niveau plus élevé que les portions environnantes. Les plus remarquables des plateaux sont ceux qui occupent l'Asie et l'Afrique centrale. L'Amérique nous en offre quelques-uns, ainsi que l'Australie et l'Europe.

Lorsque la surface du plateau diminue au point de se réduire à une simple arête ou à un sommet, l'éminence constitue, suivant son élévation, une *montagne* ou une *colline*, dont l'arête ou le sommet est la *cime* ou la *ligne de faite*.

On conçoit qu'il n'y a pas de démarcation tranchée entre les montagnes et les collines, entre les éminences et les plateaux. Divers géographes ont cependant essayé de le faire. Nous citerons une classification des montagnes généralement admise : les *montagnes de premier ordre* sont celles dont les sommets s'élèvent à plus de 2500 mètres, et sont, dans les régions tempérées, le séjour des neiges perpétuelles. Les *montagnes de deuxième ordre* n'atteignent pas la limite moyenne des neiges, mais sont supérieures à la limite des sapins. Les *montagnes de troisième ordre* ont leur sommet inférieur à la limite des arbres forestiers, mais leur végétation diffère de celle du pied. Les *collines* sont de faibles éminences dont la hauteur est trop faible pour modifier la végétation.

Parfois le sol s'élève plus ou moins brusquement de tous côtés vers un même point, de manière à former une

éminence isolée sur une surface presque plane. Un certain nombre de montagnes volcaniques offrent ce caractère que l'on retrouve aussi dans certaines collines servant, pour ainsi dire, de témoin au milieu des vallées d'érosion.

Mais la plupart des montagnes sont réunies par groupes plus ou moins étendus, constituant les massifs montagneux ou les chaînes de montagnes.

Une *chaîne* est une réunion de montagnes ou de collines alignées sur une étendue plus ou moins grande. Quelquefois une chaîne ou plusieurs chaînes secondaires partent d'une chaîne principale; on les désigne aussi sous le nom de *rameaux*.

Plusieurs chaînes, qui se prolongent dans diverses directions, forment un *groupe*. Enfin, un *système* est l'assemblage de plusieurs groupes.

Le système montagneux des Alpes est formé de plusieurs groupes de chaînes, et chacune de ces chaînes est flanquée de nombreux rameaux, dont l'enchevêtrement donne à l'ensemble cet aspect désordonné qui a si longtemps dérouté les naturalistes.

Le Jura est formé de plusieurs chaînes parallèles.

La chaîne des Vosges forme, avec les monts Faucilles, un groupe montagneux qui se relie aux chaînes de collines de l'Argonne à l'ouest, au plateau de Langres, aux chaînes du Morvan, au plateau central, aux Cévennes. L'ensemble forme le système montagneux du centre et de l'est de la France.

Les *vallées*, comprises entre les chaînes de montagnes ou de collines, ont les formes les plus variées. Tantôt elles sont étroites et profondes. On les désigne alors sous les noms de *vallons*, de *ravins*, de *défilés* ou *portes*. Généralement, dans ce cas, les angles saillants de l'un des côtés correspondent aux angles rentrants du côté opposé, comme si la vallée était formée par la disjonction de deux parties d'une montagne ou d'une colline, et que le simple rapprochement des *flancs de la vallée* suffit pour en faire disparaître complètement la trace. D'autres fois, la vallée

est produite par les eaux qui ont rodé la surface d'un plateau sur une épaisseur plus ou moins grande. La Brie et la Beauce nous offrent de nombreux exemples de ces *vallées d'érosion*.

Les vallées se rencontrent à toutes les altitudes. On en voit même qui, dominées par une chaîne de montagnes, se trouvent presque au niveau du sommet de chaînes voisines, en sorte qu'elles constituent une sorte de gradin. Cette disposition est remarquable dans les Alpes, le Jura, où l'on voit souvent plusieurs de ces immenses gradins superposés. Dans ce cas, l'un des flancs de la vallée est escarpé, tandis que sur l'autre la pente est très-faible ou nulle. Ce phénomène présenté par les hautes vallées correspond du reste en petit à celui qu'offrent les *plaines* s'étendant entre des chaînes de montagnes et la mer. On peut dire qu'entre ces phénomènes il n'existe aucune ligne bien nette de démarcation, il y a, des uns aux autres, des passages insensibles.

Les hautes vallées sont généralement plus ou moins barrées par des rameaux de la chaîne ou des chaînes qui les entourent, en sorte qu'au lieu de s'élargir graduellement jusqu'à ce qu'elles se confondent avec la *plaine*, elles en sont séparées par une espèce de détroit nommé *passé*, *défilé*. Plusieurs sont restés célèbres. Telles sont les *Portes du Caucase*, les *Portes caspiennes*, la *Passe d'Issus*, les *Thermopyles*, les *Fourches caudines*, la *Passe de Skiærdal*, la *Passe du Portfield*, les *Portes de l'Hudson*, celles de 1000 à 1500 mètres de profondeur que Humboldt a signalées dans la Cordillère des Andes et autres.

Les sommets des montagnes qui composent une chaîne, ne sont pas tous à la même hauteur. De plus, ils laissent entr'eux des parties moins élevées, désignées le plus souvent par les noms de *cols*, de *passages*, de *ports*. Citons comme exemples : dans les Pyrénées, le *col de Roncevaux*, le *port de Vénasque*, les *cols de la Perche* et de *Puymoreen*, le *port de Maya* ; dans les Alpes, le passage du Mont-Cenis, les *cols du Simplon*, du *Saint-Bernard*, du *Saint-*

Gothard, du Lukmanier, la Gemmie, le passage du Julier, etc.

24. Formes des montagnes. — Une masse de circonstances font varier la forme des montagnes presque à l'infini.

Les principales sont : la nature des roches qui les forment, l'état physique de ces roches, la manière dont elles ont été soulevées au-dessus des contrées voisines, l'orientation des chaînes, leur pente, leur hauteur, l'action que l'air et l'eau exercent sans cesse sur elles. Les noms employés varient avec les pays, en sorte que la même forme de montagne est quelquefois désignée par des expressions différentes. Mais le plus souvent la variété des expressions correspond à celle des formes qui se reproduisent très-rarement d'une chaîne à une autre, ainsi qu'on le conçoit, en se reportant au grand nombre de causes de variations dont la réunion est presque impossible.

On appelle *dômes* des montagnes arrondies en forme de coupes, et qui, avec de légères différences d'aspect général, sont désignées suivant les contrées par les noms de *puy*s, de *mamelons*, de *ballons*. Le *dôme du Mont-Blanc*, les *puy*s de l'*Auvergne*, les *mamelons* et les *ballons des Vosges* et des chaînes de collines dont le nord-est de la France est parsemé, les *boelchen de la forêt Noire* en sont des exemples.

25. Formes des vallées. — Elles sont aussi variées que celles des montagnes. On peut cependant y reconnaître plusieurs types principaux.

De Saussure les distinguait en *vallées longitudinales* et en *vallées transversales*. Les premières sont comprises entre deux chaînes de montagnes parallèles ou divergeant d'un même point en formant un angle plus ou moins considérable. Les vallées comprises entre les chaînes du Jura, la vallée d'Aoste.... se rattachent à la première classe. Les autres sont des interruptions dans des chaînes de monta-

gnes qu'elles coupent transversalement : telles sont, la vallée de l'Engadine, les *clus* ou *chuses* du Jura et des Alpes, le passage que le Rhin s'est ouvert à travers l'Odenwald, les ravins creusés par le Danube à l'issue des plaines de l'Autriche, de la Hongrie et de la Valachie. Telles sont aussi les passes étroites et profondes de l'Hudson, la *coupure de Rinihue* suivie par la rivière Huahuum qui, issue du lac Lacar dans les pampas Argentines, traverse dans toute leur épaisseur, de l'est à l'ouest, les Andes du Chili vers le 40° degré de latitude sud, pour se jeter à Valdivia dans l'océan Pacifique sous le nom de Rio Calle-calle. Tels sont enfin les *canons* de l'Amérique du Nord. L'un d'eux, observé dans le Colorado par Newberry, a au moins 480 kilomètres de longueur, et il est bordé de murailles naturelles atteignant parfois jusqu'à 1800 mètres de hauteur.

Chaque vallée est traversée dans sa longueur par une ligne plus ou moins sinueuse vers laquelle convergent toutes les eaux, et que les Allemands nomment *thalweg* (chemin de la vallée). Le *thalweg* est presque toujours occupé par le lit d'un cours d'eau ; quelquefois, cependant, ce lit a été graduellement recouvert par les terres entraînées : le cours d'eau est devenu souterrain.

26. Pente des montagnes. — Elle est généralement plus faible qu'on se l'imagine. Lorsqu'on voit des montagnes lointaines se détacher à l'horizon sur le ciel, on est porté, par suite du contraste qu'elles forment avec la faible déclivité des plaines, à se l'exagérer.

Un fait très-général, relativement aux pentes des montagnes, c'est la différence qui existe à cet égard entre les deux versants d'une même chaîne. Les pentes des Alpes sont raides du côté de l'Italie, et relativement douces du côté de la Suisse. Il en est de même des Pyrénées, qui sont extrêmement rapides du côté du sud et sont abordables sur leur versant nord. Les Alpes scandinaves sont bien plus escarpées vers l'ouest que vers l'est. Les chaî-

nes espagnoles paraissent avoir généralement leurs pentes les plus raides vers la mer la plus voisine, ce qui donne à l'Espagne l'aspect d'un vaste plateau à surface accidentée. Le Liban et l'Atlas présentent à la Méditerranée leurs plus grands escarpements. L'Himalaya, les montagnes du Thibet, tournent leurs pentes les moins raides vers la Mongolie et la Chine. Les Ghates, au sud-ouest de l'Hindoustan, ont leur plus grande déclivité vers la mer. Il en est de même des Andes américaines, des montagnes Rocheuses, des monts Alleghanys. En résumé, les choses se passent comme si une partie de l'écorce terrestre avait basculé légèrement autour d'une charnière et présentait, d'un côté sa tranche, de l'autre sa surface doucement inclinée.

Les exemples suivants donneront une idée de la déclivité moyenne de quelques chaînes montagneuses : de la cime du *Mont Tendre*, à Arbois, dans le Jura, on s'abaisse de 1307 mètres, c'est-à-dire 0^m,026 en moyenne par mètre. Ce serait une faible pente pour une route carrossable. De la cime du Mont Perdu à Tarbes, la pente est de 0^m,052 par mètre (la différence de niveau est de 3042 mètres). Les plus fortes rampes de nos routes, celle même du Mont-Cenis, sont inclinées à plus de 0^m,05. De la cime du Mont Rose à Ivree, la pente moyenne est bien plus grande, elle atteint 10 centimètres par mètre.

La Silla de Caraccas présente à la mer des Antilles un versant incliné de 54° sur l'horizon. Cet escarpement ressemble à un véritable mur. Il serait impossible de le gravir si les gorges et les ravins dont la montagne est entrecoupée n'étaient sillonnés de sentiers tortueux.

Il faut donc bien distinguer la pente moyenne des pentes accidentelles qui peuvent être quelquefois tout à fait verticales. Mais les exemples précédents montrent que, même dans l'évaluation de ces dernières, il faut se garder d'illusions d'optique dans lesquelles on tombe facilement.

27. Volume et masse des montagnes. — La grande

variété des pentes locales rend ces éléments plus difficiles à apprécier que la pente moyenne. Les savants qui ont voulu les évaluer approximativement en se basant sur des données incomplètes ont généralement trouvé des nombres trop considérables.

Pour déterminer le volume d'une chaîne de montagnes, il est indispensable que le nivellement en soit fait d'une manière précise et détaillée. On prend alors chaque courbe de niveau pour base inférieure d'un cylindre s'étendant jusqu'au plan de la courbe immédiatement supérieure. On opère ainsi pour toutes les courbes de niveau, de la base de la chaîne au sommet de la plus haute cime. On fait la somme des volumes de tous les cylindres ainsi obtenus. On construit de même des cylindres ayant chacun pour base une courbe de niveau, et s'étendant jusqu'au plan de la courbe immédiatement inférieure, et l'on fait la somme de leurs volumes. Le volume de la chaîne est évidemment compris entre les deux sommes. Ces dernières, si les plans de niveau sont très-rapprochés l'un de l'autre, différeront peu, et le volume de la montagne sera sensiblement leur moyenne.

Pour se faire une idée de la petitesse des masses montagneuses, on les suppose uniformément réparties sur les régions voisines et l'on calcule la hauteur du cylindre ayant cette base et le même volume qu'elles.

Humboldt, en opérant de la sorte, a trouvé que, répartie sur toute la France, la masse pyrénéenne exhausserait le sol d'environ 3 mètres; que l'exhaussement produit par le massif alpin serait de 6^m,50.

Sonklar a fait un semblable calcul pour l'*Atzthal*, dans les Alpes tyroliennes. Cette chaîne a un volume égal à celui d'un prisme ayant 2540 mètres de base et 2456 mètres de hauteur. Le plateau ou socle de la région montagneuse, équivaut à un prisme de 2456 mètres de hauteur et de 1620 mètres de base; avec la même hauteur, la base du prisme correspondant à l'ensemble des pics serait de 920 mètres seulement. Répartie sur l'Europe, elle y for-

merait une couche uniforme de 61 centimètres de hauteur.

28. Les hauts plateaux. — Tout massif étendu de terres élevées au-dessus du niveau de la mer ou au-dessus des régions voisines, constitue un plateau. La surface du plateau n'est pas forcément plane ou régulièrement sphérique. Un plateau, comme nous l'avons dit plus haut, est souvent couvert de montagnes, entrecoupé de vallées et de ravins. Il peut former lui-même, dans ses parties centrales, une immense dépression où les eaux s'amassent sans trouver d'issue; d'autres fois au contraire ces eaux s'écouleront par des échancrures taillées dans les bords du massif. Il est rare de trouver, comme on le voit dans le *Texas* et l'*Ettah*, des plateaux sans aucune irrégularité.

Un fait remarquable, c'est que l'altitude moyenne des plateaux augmente vers la zone torride. Ainsi, au tropique du Cancer, elle est à peu près la même que celle des montagnes de la zone tempérée. Nous voyons en effet les plaines sibériennes et canadiennes s'abaisser vers le nord. Les plateaux de la Souabe et de la Bavière ont une faible altitude. Nous trouvons en descendant vers le sud la Péninsule espagnole, dont l'altitude moyenne est de 600 mètres. L'Amérique nous offre, plus près de l'équateur, l'*Ettah*, les hauts plateaux mexicains, atteignant environ 2000 mètres d'altitude moyenne. Au sud de l'isthme du Darien, les Andes en renferment plusieurs à 1500, 2000, 3000 et même 4000 mètres. Puis leur altitude diminue vers la Patagonie et la Terre de Feu, débris d'un grand plateau en partie détruit par les agents souterrains, les eaux et l'atmosphère, comme nous le verrons plus loin. L'Afrique nous montre de même, au sud, les plateaux du Cap dont l'altitude moyenne ne dépasse pas 200 mètres, et qui s'élèvent par assises superposées en s'approchant de l'équateur jusqu'au désert de Kalahari, haut de 600 à 1000 mètres. Le plateau qui renferme les lacs où le Nil prend sa source est de 1200 à 1300 mètres au-dessus du niveau

de la mer. L'Éthiopie forme un immense plateau qui s'abaisse lentement vers l'ouest et le nord-ouest, offre des pentes abruptes du côté de la mer, et garde, sur une longueur de 1200 kilomètres environ, une altitude moyenne de 2400 à 2700 mètres.

Mais c'est en Asie que se trouvent les plateaux les plus élevés et l'étagement le plus remarquable. De tous les côtés le sol s'élève comme par gradins successifs jusqu'à l'immense plateau formant une sorte de quadrilatère irrégulier borné au nord par Thian-Chan, l'Altaï et les monts Dauriens, à l'ouest par le Bolor, à l'est par le grand désert de la Mongolie et les montagnes de la Chine, au sud par le Kuen-lun et le Karakorum. Plusieurs parties de cette région, telles que le Dapsang et le Boullon, ont une altitude moyenne de 5000 mètres, c'est-à-dire supérieure de 200 mètres à l'altitude du Mont-Blanc. Cette revue rapide montre que le fait signalé plus haut n'est pas tout à fait général, puisque les plus hautes terres, celles du continent asiatique, sont comprises entre le 30^e et le 40^e degré de latitude nord.

29. Les plaines et les grandes dépressions du sol.

— Tous les continents renferment des plaines, c'est-à-dire des plateaux d'une faible altitude, et dont quelques points sont parfois à un niveau inférieur à la surface des océans. Malgré leur uniformité, elles présentent toutefois des différences notables dues à la différence de leur climat, de leur sol et par suite des plantes et des animaux qui les habitent.

Tantôt elles ont un sol sablonneux, les mares d'eau qui séjournent dans les sinuosités du sol sont saumâtres et laissent comme résidu des efflorescences salines lorsque le vent et le soleil les ont desséchées complètement. Elles présentent dans ce cas les caractères d'une mer desséchée.

Tantôt le sous-sol est recouvert d'une couche souvent très-épaisse de terre végétale, et la plaine est interrompue par des ravins où coulent des rivières.

D'autres fois enfin le limon des fleuves et les alluvions de toute sorte qu'ils entraînent ont partiellement ou totalement contribué au nivellement de grandes plaines comme on en voit dans les deltas de quelques grands fleuves.

Les landes de la Gascogne, les plaines basses du Poitou, les *moors* d'Angleterre, d'Écosse et d'Irlande, et de la Flandre, la lande sablonneuse de la Campine en Belgique, les *brander* de la Hollande, les plaines de la basse Allemagne, les steppes d'une partie de la Russie centrale ; la vaste région sablonneuse comprise entre le Caucase, l'Oural, l'Altaï et les plateaux de l'Iran et de l'Arménie, le Sahara et le Sahel, se rattachent au premier type. Quand elles sont relativement petites et que le vent de la mer leur apporte une humidité suffisante, elles se couvrent, comme les landes de l'Europe occidentale, d'une végétation formée en grande partie de bruyères, de genêts, d'ajoncs et de plantes végétant dans les marés peu profondes, comme les nénufars, les joncs, les carex, etc. Si elles ont une grande étendue, comme les steppes russes et tartares, le Sahara et le Sahel, et que des vents secs les balayent pendant la plus grande partie de l'année, elles se couvrent au printemps d'une maigre végétation que détruit la chaleur de l'été, et le sable mouvant s'amasse en dunes que le vent transporte comme celles des rivages maritimes, ainsi que nous l'avons vu plus haut.

Le second type de plaines se trouve dans la Sologne et la Brenne, qui formait autrefois une vaste forêt de 500 000 hectares. Il se rencontre aussi en Russie, où de grandes plaines herbeuses extrêmement fertiles, nommées *Tehornosjam* (*terre noire*), et s'étendant à la fois sur les bassins du Don, du Dniéper et du Volga, offrent une surface d'au moins 80 000 000 d'hectares entrecoupée de profonds ravins. La terre noire, qui recouvre ces plaines uniformes isolées au milieu des steppes salées, a généralement de 1 mètre à 5 mètres d'épaisseur, quelquefois

même 20 mètres. Aussi la végétation y est-elle magnifique, bien que les arbres y soient rares.

Le lit d'anciens lacs desséchés, soit par suite de la rupture de leur bassin, soit pour toute autre cause, les deltas des fleuves, les estuaires formés au fond de golfes, se rattachent au troisième groupe. On trouve de ces plaines dans tous les continents. La *puszta* magyare, grande plaine herbeuse comprise entre la courbe du Danube de Pesth à Belgrade, les montagnes transylvaniennes et les Karpathes, est formée d'alluvions très-fertiles et paraissant occuper le fond d'un ancien lac de plus de 500 kilomètres de circonférence.

Les impénétrables forêts qui s'étendent sur les deux rives du Mississipi, de l'Amazone (*Selvas*), les *Savanes* de l'Illinois et des autres États de l'ouest, les *pampas* de la Plata et les *llanos* de la Colombie sont aussi des plaines alluviales d'une immense étendue. La superficie des *llanos* du Venezuela et de la Nouvelle-Grenade a été évaluée à 400 000 kilomètres carrés, et celle des *pampas* Argentines à plus de 1 300 000 kilomètres carrés.

30. Les déserts. — Quand les plaines reçoivent trop peu d'eau, l'homme, les animaux et les plantes ne peuvent y vivre. Elles deviennent des *déserts*.

Le *Sahel*, le *Sahara*, les déserts de l'*Arabie et de la Perse*, le vaste *Gobiou Chamo*, forment une longue bande de déserts presque ininterrompus du Sénégal au Japon.

L'ensemble du Sahel et du Sahara a plus de 5000 kilomètres de longueur, de l'ouest à l'est. Sa largeur moyenne, du nord au sud, est supérieure à 1000 kilomètres, c'est-à-dire que sa superficie dépasse les $\frac{2}{3}$ de celle de l'Europe.

La surface de ce désert, uniforme et sablonneuse sur de très-vastes étendues, présente cependant quelques accidents remarquables. Son altitude moyenne est de 500 mètres environ. En certains points, comme dans le Chott Mel-R'ir, ancienne mer desséchée, le sol est par-

fois à 50 mètres au-dessous du niveau de la Méditerranée. Au sud de cette région, le *Djebel-Hoggar* partage le désert en deux parties. La région occidentale, où le sol est formé surtout de gravier et de sable à gros grains résistant en général au souffle du vent, est le *Sahel*. A l'est de cette haute chaîne couverte de neige pendant l'hiver, et dont les ravins sont arrosés par des torrents qui se perdent plus loin dans le sable, est le *Sahara* proprement dit. Vers le sud et l'est, le sol s'élève; on rencontre des montagnes de 1000 à 2000 mètres, tantôt formées de granit et de grès, tantôt, surtout dans la partie orientale, grisâtres et d'un jaune d'ocre.

Dans toutes les parties du désert africain où il y a de l'eau, la végétation prospère et les animaux trouvent à la fois un refuge et de la nourriture, il existe une *oasis*. C'est là que se plaît le mieux le dattier; mais, à l'ombre de cet arbre, on y cultive avec succès l'abricotier, le pêcher, la vigne, le grenadier, l'oranger et les céréales telles que le blé, l'orge, le maïs. Malheureusement les puits creusés à grand'peine par les indigènes sont trop souvent mal entretenus et ils se combleraient rapidement. L'expérience a démontré que dorénavant l'oasis se détruit. Les Français ont commencé à remédier à cet état de choses en creusant un grand nombre de puits artésiens dans le *Hodna* et dans le *Sahara*, de la province de Constantine. De 1856 à 1864, ils ont créé 83 fontaines donnant un total de 71 157 litres à la minute, et nourrissant plus de 125 000 palmiers. C'est là un inappréciable bienfait de l'occupation française. Ce résultat montre que l'on arrivera peut-être à changer à la longue l'aspect du désert.

L'Égypte peut être regardée comme une longue oasis bordant le Nil. A l'est recommence le désert.

Les *Nefoud* de l'Arabie, couverts d'une couche de sable dont l'épaisseur va jusqu'à 150 mètres et qui s'allonge en séries de collines semblables à d'immenses sillons; le *Dahna*, qui occupe dans le sud-est de la péninsule une vaste région encore inexplorée; les déserts de l'*Iran*, ana-

logues au Sahara, et séparés des *steppes du Turkestan* par les montagnes de l'*Elburz*; les *déserts de l'Afghanistan* et du *Bélouchistan*; les *steppes de Pundjab*, nous amènent au célèbre *Chamo* ou *Gobi*. C'est la partie orientale de cette série de steppes et de déserts qui s'étendent sur plus de 3000 kilomètres entre la Chine et la Russie. L'altitude moyenne du plateau central de l'Asie est de 1500 mètres. Cette circonstance jointe à celle de sa latitude élevée lui donne un cachet particulier. Nous aurons du reste l'occasion de revenir plus loin sur ce sujet.

En dehors de cette zone qui comprend encore les hauts plateaux du Pérou, et sur laquelle sont échelonnés les plus grands déserts du monde, on rencontre quelques terres arides, mais leur faible étendue a moins excité l'attention. L'hémisphère sud renferme cependant encore sa zone de déserts. Le *Kalahari*, au nord-ouest de la colonie du Cap, les *Pampas argentines* et les *déserts de la Patagonie*, en sont les traces. La position de ces zones paraît immédiatement liée à la circulation atmosphérique. Il en sera question à l'occasion de la distribution des pluies sur la terre.

CHAPITRE V.

PRINCIPALES CHAINES DE MONTAGNES.

31. Orographie de l'ancien continent. — Sa forme générale est déterminée par une immense zone de chaînes montagneuses et de plateaux se prolongeant presque sans interruption, de l'O. S. O. vers l'E. N. E., du Portugal et du Maroc à la pointe nord-est de l'Asie, près du détroit de Behring.

La chaîne de l'Atlas et les sierras espagnoles se relie par les Pyrénées, les montagnes Noires, les Cévennes, au massif des Alpes, qui domine toute l'Europe. A l'est, les Balkans et les Karpathes rattachent ce massif aux plateaux de l'Asie Mineure, de la Perse et de l'Asie centrale, les plus élevés de tout le globe. Ces derniers se prolongent vers le nord-est jusqu'au Kamtschatka.

Partons de cette terrasse supérieure de l'ancien continent; nous trouvons au sud l'Indu-Koh et l'Himalaya qui renferment les plus hautes cimes du globe; le Gaurisankar ou mont Everest, haut de 8840 mètres, et le Dhawaladgiri, qui atteint 8176 mètres. Vues de la basse plaine du Khorassan et du Balkh, ces chaînes semblent très-élevées; mais sur le plateau persan elles ne forment qu'une immense terrasse. Le *Paropamisus* ou *Indu-Koh* s'étend des frontières de la Perse aux sources de l'Indus, du 34^e degré au 36^e degré de lat. N. et du 59^e degré au 79^e degré de long. E. L'*Himalaya* commence à l'extrémité orientale de l'*Indu-Koh*, traverse le Caboulistan, sépare le Thibét

de l'Hindoustan, occupant l'espace compris entre 25° et 35° de lat. N., 72° et 95° de long. E. La chaîne principale se dirige du N. O. au S. E. à travers les provinces de Kashmire, Ghernal, Nepaul et Butan. De l'extrémité de l'Himalaya partent plusieurs longues chaînes secondaires qui s'étendent en divergeant vers le sud, à travers la Birmanie, le royaume de Siam et l'Indo-Chine. La plus considérable sépare le Birman du Siam, elle se continue jusqu'au *cap Romanin*, situé à l'extrémité de la presqu'île de Malacca, extrémité la plus méridionale du continent asiatique. Elle se continue ensuite dans les îles de Sumatra, Banca et Biliton. L'Hindoustan s'appuie à l'Himalaya, comme l'Italie aux Alpes. Des géographes ont voulu voir un autre rapprochement entre ces deux presqu'îles. L'une est parcourue dans sa longueur par les *Appennins*; l'autre par la double chaîne des *Ghatet*, qui se relie à l'Himalaya et se partagent en Ghates occidentaux et orientaux. Les Ghates envoient plusieurs chaînons latéraux, tels que les *monts d'Azur* qui relient les deux chaînes principales, les *monts Berar* qui séparent les bassins du *Tapti* et du *Godavery*, les *monts Windhia*, entre la *Nerbuddah*, la *Jumnah* et le *Gange*. Les montagnes isolées de *Ceylan* sont, comme celles de la Sicile vis-à-vis de l'Apennin, le prolongement des Ghates.

Des froids et stériles plateaux du *Thibet* se détachent d'autres massifs. Au nord : c'est la grande chaîne de l'*Altaï*, qui le sépare des plaines sibériennes, à l'ouest, celle de *Bolor* ou *Belor-Tagh*, qui sépare le bassin de l'Oxus de celui de la Tartarie chinoise; au nord-ouest, naissent les *monts King-han* qui, après avoir séparé le plateau mongol de la Mandchourie, s'unissent à angle droit avec les *Yablonoi*, branche de l'*Altaï*. Ces montagnes, en serpentant sur la limite septentrionale des hauts plateaux asiatiques, s'étendent jusqu'au Pacifique, au sud de la mer d'*Okhotzk*. L'*Altaï* change du reste plusieurs fois de nom; outre les *Yablonoi*, il comprend la *chaîne du Baïkal* et celle des *monts Dauriens*. Il se détache de ce massif vers

le nord, à travers les plaines de la Sibérie, un important rameau formé des monts de *Sayansk* et de *Zongun*, célèbres par leurs richesses minérales.

D'autres chaînes accidentent le plateau asiatique en le coupant transversalement. Ce sont : le *Kuenlun*, embranchement de l'*Indu-Koh*; les *montagnes de glace*, parallèles à l'Himalaya, et la chaîne tartare de *Thian-Chan*, qui borne au sud la Zungarie et la Mongolie, limitées au nord par l'Altaï.

Quittant ce massif, nous trouvons à l'ouest les *montagnes de la Perse* formant, près de Téhéran, l'extrémité d'un plateau un peu inférieur au thibétain, et courant presque parallèlement aux bords de la mer Caspienne, située au fond des plaines basses qui bordent les hautes terrasses à l'ouest.

Le sol se relève en *Arménie* et dans le *Kourdistan*. Un plateau élevé d'où se détachent plusieurs chaînes importantes, telles que le *Liban*, occupe l'*Anatolie*. Plusieurs pics remarquables y sont comme plantés; tous sont dominés par le célèbre *Ararat*, immense cône isolé, couvert de neiges perpétuelles et s'élevant à 4556 mètres au-dessus de la mer.

Au point où le plateau de l'Arménie va se joindre aux plaines basses de la Russie, se dresse une chaîne élevée et aux pentes abruptes, le *Caucase*, qui court du S. E. au N. O., de la *presqu'île d'Apchéron* au fort d'*Anapa*, sur une longueur d'environ 350 kilomètres, et sépare la mer Caspienne de la mer Noire. Plusieurs rameaux s'en détachent. Ce sont : au nord, l'*Elvend* et l'*Elbrouz* (*Ceraunii montes* des anciens); au nord-ouest, les collines qui suivent le rivage de la mer Noire, et auxquelles il faut rattacher les monts de la Crimée; au sud-ouest, quelques rameaux qui se confondent avec ceux du *Taurus*.

Le *Taurus* (*Djebel Kuria*) forme deux chaînes qui, partant respectivement des golfes de *Satalich* et de *Cos*, se dirigent vers l'est. L'une d'elles s'éloigne peu des rivages méridionaux, c'est le *Taurus proprement dit*. L'autre,

l'Anti-Taurus, traverse le centre de cette grande presqu'île, se réunit à la première, et leur ensemble se prolonge jusqu'à l'Euphrate. Le plateau est borné au nord par une chaîne qui longe la mer Noire.

En Europe, nous voyons, comme en Asie, une série de plateaux s'inclinant brusquement vers le sud, doucement vers le nord, l'est et l'ouest, à partir d'un puissant massif, qui semble le nœud de plusieurs chaînes élevées. Chacune de ces chaînes envoie dans toutes les directions des rameaux et des contre-forts, d'où résulte au premier abord dans l'ensemble une grande confusion.

Au nord des Alpes, les premiers plateaux se terminent au Jura, aux montagnes de la Forêt Noire et du Hartz. Le Jura forme plusieurs chaînes parallèles s'abaissant lentement vers le nord-ouest, jusqu'à la Saône qui coule au pied des monts Faucilles, du plateau de Langres, des montagnes du Morvan et du plateau central de la France.

Les Vosges et le Jura avec leurs pentes rapides tournées vers l'est et leur douce inclinaison vers l'ouest ; le plateau central, le Morvan, les monts de l'Argonne, l'Eiffel, l'Erzgebirges, le Sudéte, le Karpathe sont les gradins successifs de cette série de plateaux étagés, entrecoupés de vallées d'érosions qui nous conduisent graduellement aux plaines basses de l'ouest de la France, des Pays-Bas, du Hanovre, du Jutland, de la Prusse, de la Russie. De même que le Caucase, le Karpathe se dresse comme une barrière très-élevée qui sépare les deux derniers gradins de cette série d'assises.

Aux Alpes font suite les *Balkans*, dont les plateaux s'élèvent successivement jusqu'aux hautes cimes du *Scandach*, couvertes de neiges perpétuelles. Après un second plateau, l'on rencontre l'*Hémus*, s'étendant jusqu'à la mer Noire en longs chaînons parallèles au Danube, qu'il sépare du bassin méditerranéen.

Les *Alpes Juliennes* envoient dans la Dalmatie et l'Albanie des ramifications sur lesquelles s'embranchent la

chaîne du *Pinde*, limite occidentale de la Thessalie et de la Macédoine.

La vaste plaine qui occupe tout le nord de l'ancien continent est interrompue en Sibérie par plusieurs chaînons émanés de l'Altaï. Deux autres grandes chaînes, presque dirigées suivant des méridiens, l'*Oural* et les *monts Kialen* (*Alpes scandinaves*), la traversent dans une partie de sa largeur. Elles s'arrêtent avant de rencontrer les premiers contre-forts des massifs qui bordent cette plaine au sud.

Il en résulte pour ce continent une forme toute particulière. Des coupes imaginaires de l'Europe, de l'ouest à l'est et du nord au sud, montrent clairement cette structure.

Au pied des escarpements du massif et des sierras Espagnoles on trouve un vaste bassin qui se prolonge au sud à travers le continent africain. La vallée du Nil, le Sahara et le Sahel forment une immense dépression s'élevant en pente très-douce vers les plateaux du centre et du sud de l'Afrique et vers l'Abyssinie, cette *Suisse de l'Orient*, comme on l'a plusieurs fois appelée. La dépression est interrompue à l'ouest par les massifs marocains et par les plateaux algériens.

52. Description particulière des chaînes françaises. — Quand on étudie la distribution des eaux à la surface de la France, il faut bien se garder de confondre le *système des lignes de partage et celui des montagnes*. Dans le premier cas, on ne s'inquiète que de la direction générale des pentes, et nullement des hauteurs des crêtes. L'escarpement plus ou moins grand, l'altitude moyenne du sol, sa plus ou moins grande irrégularité n'entrent aucunement en ligne de compte. Dans le second cas, on a égard au contraire à toutes ces circonstances. Il est utile d'étudier les lignes de partage pour se faire une idée de la grandeur relative des bassins hydrographiques; mais elles ne donnent, le plus souvent, qu'un aperçu faux du relief d'une contrée.

La France présente ses versants à plusieurs mers. Des eaux qui coulent à sa surface, les unes descendent vers le golfe de Gascogne ou la Manche, d'autres vers la mer du Nord, d'autres enfin vers la Méditerranée. D'après ce que nous venons de voir relativement au relief général de l'Europe, on conçoit immédiatement que les premières suivent une pente généralement moins rapide que les eaux appartenant au bassin méditerranéen. Mais la ligne de partage de ces eaux est loin d'avoir partout la même hauteur, et il en résulte dans leur distribution et leur régime des différences très-importantes. Nous avons déjà vu, en parlant du bassin des fleuves, que, suivant la nature du sol et du sous-sol, un fleuve est, ou torrentieux, ou constant, ou sujet à des crues régulières et périodiques; suivant l'altitude, les crues ont lieu en été ou en hiver; suivant la pente moyenne, elles se propagent lentement ou sont dévastatrices. Enfin leur durée comme leur intensité dépend encore de ces éléments aussi bien que de la nature géologique du sol. Or, il y a une relation immédiate entre la pente moyenne et la nature des terrains qui forment les versants d'un bassin. Il est donc indispensable de suivre pas à pas les accidents orographiques, si l'on veut bien saisir l'ensemble des phénomènes étudiés par la géographie physique.

Plaçons-nous au *Saint-Gothard*¹, nœud central de tout

1. Sous le rapport de la géographie descriptive, la chaîne des Alpes, longue de 650 milles géographiques, est généralement divisée en douze parties : 1° Les *Alpes maritimes*, dirigées du S. au N., du golfe de Gênes au mont Viso; 2° les *Alpes cottiennes*, du mont Viso au mont Cenis; 3° les *Alpes grées*, du mont Cenis au mont Blanc; 4° les *Alpes pennines*, dirigées de l'O. à l'E., du mont Blanc au mont Rosa; 5° les *Alpes lépontiennes* ou *helvétiques*, comprises entre le Rosa et le Saint-Bernard; 6° les *Alpes rhétiques*, s'étendant du Saint-Bernard au pic des Trois-Seigneurs; 7° les *Alpes noriques*, qui traversent le duché de Salzbourg, la Styrie et l'Autriche; 8° les *Alpes bernoises*, qui, se détachant des Alpes helvétiques, séparent les affluents de l'Aar de ceux du Rhône; 9° les *Alpes du Vorarlberg* ou de *Souabe*, qui séparent les affluents du Rhin de ceux du Danube; 10° les *Alpes carniques*, qui, partant du pic des Trois-Seigneurs, séparent le bassin de l'Adige de

le *système alpin*, et d'où partent le Rhin, le Tessin, le Rhône, l'Aar et la Reuss; nous voyons converger vers ce point, comme autant de rayons, les crêtes des massifs voisins. Au nord-est, c'est le *Todi*; à l'est, le *Rheinwald*; à l'ouest et au sud le *Finsteraarhorn* et le *Mont Rose*. Ce dernier se réunit, vers l'ouest, au massif du *Mont Blanc*; mais, en ce point, le système alpin change de direction et s'infléchit vers le midi. Les deux premiers groupes que l'on rencontre dans cette partie sont ceux du *Grand Paradis*, qui dominent les vallées piémontaises et celui de la *Vanoise* et de la *Grande-Chaumière*, qui sépare la Tarentaine de la Maurienne. Plus au sud un grand chaînon que traverse la route du Mont Genis, va rejoindre les massifs des *Rousses* et de *Belladone* à l'ouest, celui du *Grand Pelvoux*, au sud-ouest, et celui du *Viso* au sud. Cette énorme pyramide sépare les Alpes du Dauphiné des Alpes maritimes, terme de la barrière naturelle posée entre la France et l'Italie.

Le Saint-Gothard, massif central, est peu élevé relativement aux massifs environnants. De profondes échancrures entourent de tous côtés ce puissant quadrilatère. Ce sont la *Furka* à l'O., l'*Oberalp* au N., le *Lukmanier* à l'E. et les *Nufenen* au S. Les principales cimes implantées sur ce haut plateau s'élèvent moyennement à 2950 mètres au-dessus de la mer. La plus haute, le *Piz-Rotonde*, n'atteint que 3197 mètres.

Nous voyons au contraire à l'est les massifs du *Rheinwald*, du *Todi* (3143 mètres), du *Bernina* (3458 mètres), de la *Silvretta*, de l'*Ortelspitze*, de l'*Oetzthal*, du *Stubai*, du *Gross-Glockner*, de *Hallstadt*, dont tous les sommets dépassent 3000 mètres.

À l'ouest-sud-ouest et au sud-ouest, nous trouvons l'écelui de la Drave; 11° les *Alpes Juliennes* qui, se reliant aux Alpes carniques, forment la vallée de la Save; 12° les *Alpes dinariques*, qui relient les Alpes aux Balkans.

Il est inutile de remarquer ce qu'il y a d'artificiel dans cette classification.

norme massif du *Mont Rose*, dont la hauteur moyenne dépasse 4102 mètres, et dont le point culminant atteint 4638 mètres. A l'ouest du *Mont Rose* se dresse le *Mont Blanc*, point culminant de l'Europe, et qui atteint 4810 mètres. Le massif auquel il appartient a, malgré l'altitude de quelques-uns de ses pics, une importance orographique inférieure à celle du *Mont Rose*; son altitude moyenne n'est que de 3858 mètres.

A partir de ce point, la hauteur des Alpes diminue vers le sud. Le mont *Pelvoux* ne dépasse pas 3934 mètres; le *Viso*, 3836 mètres. Plus au sud, les cimes les plus élevées restent au-dessous de 3500 mètres. On retrouve encore, au nord de Nice et de Mantoue, un petit massif dont quelques cimes, telles que le *Gelas* et le *Clavier de Pagarin*, dépassent 3000 mètres. La chaîne se recourbe en ce point vers l'est, et encadre la vallée du Pô en formant les Alpes liguriennes, puis les Apennins.

Les ramifications des Alpes vers l'ouest s'abaissent rapidement à mesure qu'elles s'éloignent de l'arête principale. Quelques-unes cependant s'étendent assez loin; telles sont les *Alpes du Dauphiné*, dont le Rhône suit les derniers contre-forts, le *massif du Ventoux*, etc.

En face des Alpes, vers le nord-ouest, s'allonge du sud-ouest au nord-est, le massif du *Jura*. Le contraste qu'il offre avec les Alpes rend très-intéressante l'étude comparée de ces deux systèmes de montagnes. Le *Jura* présente la plus grande régularité. Il est composé de chaînes parallèles formant une série de plateaux inclinés, terminés rectilignement vers le sud-est du côté de leur tranche. Les vallées y sont en général dirigées parallèlement à la ligne des crêtes. C'est aussi la direction que suivent l'Ain, le Doubs, la Saône, principaux cours d'eau de cette contrée. Le Doubs même, après avoir remonté longtemps vers le nord-est, comme s'il allait se jeter dans le Rhin, retourne brusquement vers l'ouest, puis vers le sud-ouest, en contournant les massifs qui s'étendent de Laons-le-Saunier à Poligny, Salins, Saint-Hippolyte. Mais la ligne

de faite est interrompue en beaucoup de points comme nous l'avons vu plus haut, par des vallées transversales, donnant passage à de petites rivières coulant au fond de ravins plus ou moins resserrés.

La même régularité se retrouve, mais à un degré moindre, dans les Alleghanys, qui suivent à peu près la côte orientale des États-Unis d'Amérique.

Du reste, le Jura ne la présente pas non plus sur toute sa longueur. Il s'étend en effet de la Drôme aux montagnes de la Bohême; mais, dans les parties extrêmes, il se croise avec divers autres massifs qui lui font perdre le caractère remarquable du Jura français.

Le centre de la France est occupé par un massif élevé résultant de l'entrecroisement de diverses chaînes, et où l'on trouve également de nombreux volcans éteints. Cette région, coupée dans tous les sens par de profondes vallées, a une altitude moyenne considérable. Contre elle s'appuient de tous côtés, principalement vers le nord, l'ouest et le sud, des plateaux allongés interrompus par des chaînes peu importantes ou par des collines presque insensibles. L'un de nos plus grands fleuves, la Loire, y prend sa source ainsi que tous les affluents de sa gauche. Vers le sud, les eaux se dirigent à l'ouest-sud-ouest pour rejoindre la Garonne. Des côtés est et sud-est, les pentes sont tournées vers les Alpes, qu'elles rejoignent près du Rhône auquel elles fournissent les affluents de sa rive droite.

Les Cévennes séparent vers le sud le bassin du Rhône de celui de la Garonne. Les montagnes noires les continuent en s'inclinant vers le sud. A mesure qu'elle s'approche des Pyrénées en contournant le golfe du Lion, cette *ligne de partage* s'abaisse; elle ne dépasse guères 160 mètres entre Toulouse et Carcassonne.

Nous arrivons au massif Pyrénéen, sorte de terrasse inclinée vers le nord, et du sommet de laquelle nous dominons l'Espagne. Ce massif, régulier dans sa partie occidentale, perd en grande partie ce caractère dans sa por-

tion orientale. Dans la première, qui s'étend du col de Roncevaux, à l'ouest, au port de Vénasque à l'est, c'est-à-dire sur une longueur de 140 kilomètres, à chaque *nœud* de la chaîne prend naissance un chaînon transversal qui s'abaisse vers les plaines à mesure qu'il s'éloigne de l'arête principale. Dans cette partie, les vallées sont presque toujours *transversales*. La portion orientale, au contraire, se compose de deux chaînes parallèles, dont la plus importante est celle des *Aberès* qui part de la Méditerranée et s'avance vers l'ouest jusqu'à la source de la Garonne, après s'être croisée avec l'arête transversale de la montagne de *Cadis* et du *Canigou*, et forme dans sa partie occidentale les massifs d'*Andorre*, de *Montcalm* et du *Montvallier*. Cette chaîne court au sud de celle qui vient de l'Atlantique. L'entrecroisement des chaînes et de leurs ramifications principales donne, en ce point, naissance à des vallées presque fermées, où l'on pénètre en franchissant d'étroits défilés. Les plus célèbres sont celles d'*Andorre* au sud de la chaîne, et d'*Arran* sur le versant septentrional.

Les Pyrénées sont plus régulières que les Alpes. Vues de loin, elles ont, comme les *sierras espagnoles*, l'aspect d'une muraille uniforme, dont la crête est hérissée de dents.

La hauteur moyenne de cette crête est de 2450 mètres, c'est-à-dire supérieure environ de 100 mètres à celle des Alpes. Par contre, les hautes cimes y sont beaucoup moins élevées. Quelques-unes dépassent la crête de 600 à 800 mètres au plus, tandis que la différence de hauteur va dans les Alpes jusqu'à 2000 et même 2500 mètres.

Il est du reste remarquable que c'est en dehors de la chaîne principale que l'on trouve les plus hauts sommets. C'est au sud de la chaîne Atlantique, reliés à elle par quelques arêtes, que s'élèvent le *Mont Perdu*, le *Posets* et le *Maïadetta*.

Si les hauts sommets pyrénéens n'atteignent pas la même hauteur que ceux des Alpes, les cols y sont beaucoup plus élevés et moins accessibles. Les Pyrénées sont

par suite difficilement franchissables et elles ne sont pas encore traversées comme les Alpes, par des routes carrossables.

Revenons au plateau central. Il s'abaisse rapidement vers l'ouest et se prolonge dans cette direction en collines basses, comme celles du Poitou et de la Vendée, lignes de partage des eaux qui se rendent dans la Loire, dans la Garonne ou dans la Charente.

S'abaissant vers le nord-nord-est, la ligne de partage des eaux qui se jettent dans le Rhône et de celles qui alimentent la Loire se prolonge par les montagnes du Lyonnais, celles du Beaujolais, du Châlonnais et de la Côte d'or, jusqu'au plateau de Langres. Là viennent se croiser plusieurs chaînes, dont les plus basses devenant à la fin insensibles vont à l'ouest, séparant les eaux de la Seine de celles de la Loire. A l'est nous trouvons les monts Faucilles, qui limitent au nord le bassin de la Saône, et se prolongent par la chaîne des Ballons, dont quelques sommets seulement atteignent de 1500 à 1800 mètres.

Au nord, les chaînes ont une tendance générale à se diriger du sud au nord. Telle est d'abord à l'est la chaîne des Vosges, puis celles de l'Argonne orientale et de l'Argonne occidentale. Là nous trouvons d'immenses vallées longitudinales, interrompues à peine par de basses collines, et où coulent le Rhin, la Moselle, la Meuse. Le caractère général de cette région, c'est que toutes les couches de terrain s'y inclinent vers l'ouest, en présentant leur tranche à l'est. La pente vers l'ouest est très-douce. On peut donc dire que ce sont de véritables plateaux s'abaissant lentement vers la Manche. Quand leur surface est calcaire, comme dans la Brie, la Beauce, ils sont entrecoupés de vallées au fond desquelles coulent des rivières et on les reconnaît à ce que les collines atteignent toutes la même hauteur, comme les débris d'un ancien plateau rongé par l'action des eaux. Nous aurons du reste à revenir sur ce sujet (chap. xxx).

Citons enfin les collines de Normandie, et celles de la

Picardie, qui limitent à l'ouest et au nord-ouest le bassin de la Seine, puis les côtes bretonnes, qui constituent un massif à part, et sont généralement peu élevées.

53. Orographie du Nouveau continent. — Le trait caractéristique de ce continent, c'est sa grande extension du nord au sud. Il occupe 120° de latitude. Il se redresse vers l'ouest en un massif montagneux qui le borde dans toute sa longueur, avec une interruption très-faible à l'isthme du Darien. Les escarpements sont tous dirigés vers le Pacifique; de l'autre côté, le sol s'abaisse doucement jusqu'aux monts Alleghanys, dans l'Amérique du Nord, et aux chaînes brésiliennes, dans l'Amérique du Sud. Là il se relève et présente à l'océan Atlantique un versant étroit et rapide.

Un large et profond bassin s'étend à l'ouest, entre l'Afrique, l'Asie et les deux Amériques. Une énorme saillie du sol sous-marin, montrant au-dessus des eaux ses principales crêtes, comme autant d'îles diversement groupées, partage ce bassin en trois parties principales: l'une, comprise entre l'équateur, l'Asie et l'Amérique septentrionale; la seconde, au sud de l'équateur, entre l'Amérique et l'Australie; la troisième, entre l'Afrique, l'Asie et l'Australie.

54. Terres polaires. — Dans l'hémisphère sud, les bassins dont nous venons de parler sont fermés imparfaitement par une calotte de terres élevées occupant le pôle du globe. De larges canaux pratiqués au sud du cap Horn, du cap de Bonne-Espérance, de la Tasmanie et de la Nouvelle-Zélande, permettent aux océans de communiquer librement entre eux et favorisent le mélange des eaux.

Les découvertes les plus récentes paraissent établir sûrement l'existence du continent antarctique, touché par Dumont d'Urville et Ross, malgré la ceinture de glaces qui

le rend presque inaccessible. La question est bien plus indécise relativement au pôle arctique.

Les plaines russes et sibériennes se prolongent en pente douce sous les eaux de l'océan Glacial. L'Amérique septentrionale se continue vers le nord par un archipel d'îles généralement basses, entre lesquelles on est parvenu à se frayer un passage direct de l'océan Atlantique nord en Asie, quoique les glaces encombrant presque toujours les passages tortueux qui les séparent. D'autre part, le Groënland, sorte de plateau bordé, comme il arrive généralement, d'un côté, par des chaînes assez élevées, présente sa pointe vers le sud, et va s'élargissant vers le nord aussi loin qu'ont pu pénétrer les plus hardis explorateurs. Enfin, au nord de la Sibérie, une terre très-étendue et couverte de hautes montagnes, la terre de Wrangel, a été relevée par le baleinier Long en 1867. Laisant de côté la question un peu oiseuse de savoir si, au pôle même, il y a de la terre, nous voyons, par cet aperçu, que les conditions sont différentes de celles que nous trouvons au pôle sud, mais qu'elles ne leur sont pas non plus tout à fait opposées, puisque nous n'y trouverions ni une mer ni un continent, mais un vaste archipel sillonné de nombreux canaux.

35. Altitudes des principales montagnes.

EUROPE. — *Système pyrénéen et ses dépendances.*

Cimes.		Cols.	
3555 ^m	Malahsen (Grenade)	Cirque d'Oo.....	3002 ^m
3485	Malahita ou Nethée (Pyr.)	Vallée Vieil d'Estaubé.....	2561
3480	Maladetta, id.	Id. Ninede.....	2499
3351	Mont-Perdu id.	Id. Gavarnie.....	2333
3322	Le Cylindre id.	Id. Cavarera.....	2241
3298	Vignemale id.	Id. Turmalios.....	2177
2877	Pic du Midi id.		
2785	Canigou id.		
2370	Peñalara.		
2370	Cabezas de Hierro.		
1460	Somo-Sierra.		
1100	Sierra de Toja.		

Système alpin.

Cîmes.

4810 ^m	Mont-Blanc.
4636	Mont-Rose.
4362	Finsteraarhorn.
4180	Jungfrau.
4105	Orsina.
3934	Pelvoux.
3909	Orteler.
3836	Mont-Viso.
3180	Col du Géant.
3180	Mont-Thabor.
3048	Grand-Saint-Bernard.

Hauteurs de quelques autres
montagnes d'Europe.

Budosch (Transylvanie)....	2924 ^m
Sural id.	2924
Monte Corno (Appennins)..	2900
Legnone (Apennins).....	2806
Punta Lomnis (Karpathes).	2701
Snechaten (Norvège).....	2500
Monte Velino (Apennins)..	2393
Mont Athos (Grèce).....	2066
Burberg (Thuringe).....	1928
Inselsberg id.	1808
Hussok (Moravie).....	1624
Schneekoppe (Bohême)....	1608
Adelat (Suisse).....	1572
Mont des Géants (Bohême).	1512
Porte-Noire (Spitzberg)....	1372
Ben Nevis (Écosse).....	1325
Fichtelberg (Saxe).....	1212
Mont Erice (Sicile).....	1187
Brocken (Saxe).....	1140
Snowdon (Pays de Galles)..	1100
Shehalien (Écosse).....	1039

Varchi alpins.

Varco du Cervin.....	3410 ^m
Id. du Gr. Saint-Bernard.	2491
Id. du col de Segna....	2461
Id. du Furca.....	2439
Id. du Ferret.....	2321
Id. du Petit St-Bernard.	2192
Id. du Saint-Gothard...	2075
Id. du Mont-Cenis.....	2066
Id. du Simplon.....	2005
Id. du Spluga.....	1925
Id. du col de Tende....	1795
Id. du Brénnero.....	1420
Id. du Mont-Genèvre...	1337

Hauteurs des principaux volcans
d'Europe.

Etna (Sicile).....	3313 ^m
Eirefa-Iokull (Islande)....	1806
Eifjalla-Iokull id.	1733
Hékla id.	1557
Vésuve (Italie).....	1181

Altitudes de quelques lacs de la
Suisse.

Lac de Thun.....	556 ^m
Id. de Neufchâtel.....	435
Id. de Zurich.....	408
Id. de Constance..	398
Id. de Genève.....	372

AFRIQUE.

Principales montagnes.

6100 ^m	Killimandjaro.
2517	Ambotismene (Madagascar).
4100	Pic des Neiges (Bourbon).
2126	Jurjura (Algérie).
1163	La Table (cap de Bonne Espérance).

Volcans

Pic de Ténériffe	3711 ^m
Fuego (cap Vert).....	2400
Le tre salasse (Bourbon)...	2400
Green Mountain (Ascension).	760

ASIE.

Chaîne de l'Himalaya.

8840 ^m	Gaurisankar ou Everest.
8176	Dhawaladgiri.
7848	Jawahir.
7823	Jamnutri.
7528	Cosainthan.
7293	Chumalari.

Quelques autres montagnes d'Asie.

5646 ^m	Cime occidentale du Caucase
5624	Id. orientale du Caucase.
5135	Pic sur la frontière russo-chinoise.
5045	Kasbeck.
4566	Grand Ararat.
3950	Ophir (Sumatra).
3840	Argée.
3748	Kondurgagh.
2906	Liban.
2202	Pic dans le petit Altaï.

Lacs d'Asie.

Lacs sacrés du Mapan et de Rakastal	4570 ^m
Lac Ourmiah	1523
Id. salé de Tuz-Cheul	895
Id. Zarah	680

Volcans.

Klutschaw	4800 ^m
Kronoskaïa Sopka	3380
Avatscha	2664
Tolbatschinskaïa Sopka	2400

AMÉRIQUE. — *Cordillère des Andes.*

Quelques cimes.

7291 ^m	Aconcagua (Chil).
7012	Sahama (Bolivie).
6614	Parinacota id.
6613	Pomarape id.
6530	Chimborazo (Pérou).
6488	Nevado di Sorata (Bolivie).
6456	Nevado di Illimani id.
5919	Gayamba-Urca (Pérou).
5760	Chipicani (Pérou).
5670	Pichu-Pichu (Pérou).
5315	Pyramide d'Ilis-a (Pérou).
5240	Inchocaïa (Pérou).
4888	Cerro del Potosi (Pérou).
4815	Nevado del Corazon, id.

Varchi des Andes.

Varco de Pagani (Cordillère orientale)	4641 ^m
Varco de Gualilas (de la Paz à Arica)	4520
Varco de Tolapaïca (d'Oruro à Potosi)	4290
Varco dos Altos de los Heusos	4137

Lac.

Lac de Titicaca (Bolivie et Pérou)	3872 ^m
------------------------------------	-------------------

Autres chaînes américaines.

Principales cimes.

4786 ^m	Sierra Nevada (Mexique).	Mont Washington (Alleghany)	1900 ^m
4135	Pic Fremond (Wind-River Moutains).	Itacolumo (Brésil)	1754
4088	Le coffre de Perote.	Cerro de la Giganto (Californie)	1494
2630	Silla de Caracas (Venezuela).		
2553	Duida (sierra di Parima).		
2218	Monts d'azur (Jamaïque).		

appuyés sur de hautes chaînes. L'Amérique du Nord, malgré ses *Montagnes Rocheuses*, ses *hauts plateaux mexicains* et ses *Alleghanys*, n'aurait qu'une altitude moyenne de 228 mètres. Enfin, l'Europe et l'Australie, presque diamétralement opposées, sont les continents les plus riches en plaines; aussi offrent-ils une faible masse au-dessus des mers, l'Europe les dépassant moyennement de 205 mètres, et l'Australie seulement de 118 mètres.

CHAPITRE VI.

TEMPÉRATURES DU GLOBE.

57. Sources de chaleur à la surface du globe. —

L'astronomie, comme les sciences naturelles appliquées aux premiers âges de la terre, nous conduit à penser que notre globe a été primitivement porté à un très-haut degré de chaleur. La surface terrestre possédait alors une température propre, indépendante des actions calorifiques extérieures. Des traces de cette chaleur primitive se sont conservées dans l'intérieur du globe.

Des expériences nombreuses, faites en divers points de la terre, montrent que la température augmente à mesure que l'on pénètre plus avant dans les profondeurs du sol. L'accroissement thermométrique est de un degré pour chaque déplacement moyen de 30 mètres en profondeur. Suivant la nature du terrain, ce nombre peut varier, toutefois, de 10 à 40 mètres : il est de 30 mètres environ pour le terrain parisien. A 30 000 mètres de profondeur, c'est-à-dire un peu moins de 8 lieues, on trouverait une température de 1000 degrés. A 12 lieues ou 48 000 mètres, le fer serait fondu.

Cette chaleur interne suffit pour expliquer les températures élevées des sources thermales dont nous donnons ci-dessous quelques exemples.

Aix-la-Chapelle (Prusse).....	61°,6
Borset id.....	70°,0
Carlsbad (Bohême).....	73°,89

Chaudes-Aigues (France).....	90°,0
La Trinchera (Amérique).....	99°,1
Beckum (Islande).....	100°,0
Geyser (au fond), id.	124°,0

Avec l'accroissement moyen de un degré par 30 mètres, une source d'eau à 100 degrés devrait remonter d'une profondeur d'environ 2000 mètres, ce qui n'est pas impossible ; mais la plupart des sources thermales jaillissent dans le voisinage de terrains d'origine ignée ou volcanique, où l'accroissement de la température avec la profondeur est plus rapide. A Neuffen (Wurtemberg), cet accroissement est de un degré par 10 mètres environ ; on y trouverait donc une température de 100 degrés à moins de 1000 mètres de profondeur.

Malgré l'énorme chaleur accumulée dans les profondeurs du globe, la croûte superficielle aujourd'hui refroidie ne laisse pénétrer, des parties centrales jusqu'à nous, que des quantités de chaleur insuffisantes pour modifier nos climats. Les espaces planétaires au travers desquels voyage notre globe sont à une température très-basse et sont pour nous une cause de froid très-active. C'est à la chaleur solaire, à l'action spéciale que l'atmosphère exerce sur elle quand elle nous arrive, et quand, après nous avoir échauffés, elle tend à se perdre dans l'espace, que nous devons les fluctuations thermométriques propres aux diverses saisons et aux divers climats.

38. Répartition de la chaleur solaire sur le globe.

— La chaleur solaire est très-inégalement distribuée sur la surface du globe. Pendant chaque période diurne, l'ardeur et l'éclat des rayons du soleil semblent s'accroître depuis le lever de cet astre jusqu'à son passage en son point le plus haut, puis s'affaiblir graduellement dans la soirée.

A mesure que ces rayons viennent frapper plus obliquement la surface de la terre, ils en couvrent une plus grande étendue, et chaque unité de surface reçoit, par cela

même, une quantité moindre de la chaleur versée. Ce qui a lieu en un même point du globe aux différentes heures du jour, se reproduit, à la même heure, aux divers points d'un même méridien d'un pôle à l'autre.

La figure 7 rend palpable cette influence de l'obliquité.

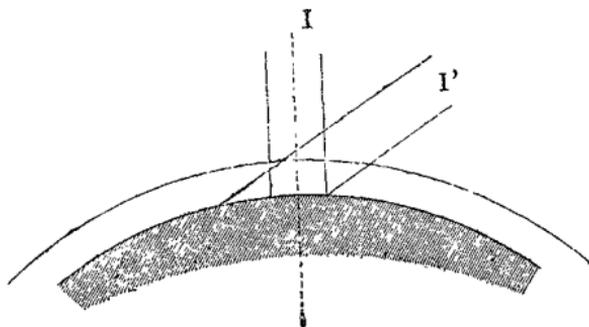


Fig. 7.

Les deux faisceaux de rayons I, I' ont même volume. Le premier couvre un espace égal à sa section droite; l'autre rencontre la terre suivant une section oblique, et la couvre, par suite, sur une surface d'autant plus grande qu'il est dirigé plus obliquement. Or, quand les rayons



Fig. 8.

solaires tombent sur la surface du globe perpendiculairement à l'axe de la terre (fig. 8), les points qui sont sur l'équateur reçoivent les rayons solaires dans une direction

verticale. Cette direction s'incline de plus en plus à mesure qu'on s'avance vers les pôles. Aux pôles même, on n'a plus que des rayons rasants.

La figure 7 nous aide encore à comprendre l'influence de l'obliquité.

L'air atmosphérique pur est un des corps les plus transparents que l'on connaisse ; et, cependant, il ne l'est pas d'une manière absolue. Quand il contient de la vapeur d'eau, sa transparence est très-notablement diminuée, particulièrement pour ceux des rayons solaires qui sont chauds sans être lumineux. Les particules d'origine organique ou minérale qu'il tient en suspension, les globules de vapeur condensée qui, à certains moments, y sont très-abondants, contribuent encore à diminuer sa transparence. Or, les rayons situés dans la verticale n'ont à traverser qu'une épaisseur minimum de la couche atmosphérique, tandis que cette épaisseur va croissant à mesure que l'obliquité des rayons augmente.

Sous l'influence de ces deux causes : 1° l'atmosphère reçoit, à surface égale, moins de chaleur vers les pôles que dans les régions plus voisines de l'équateur ; 2° de cette moindre quantité de chaleur, l'atmosphère laisse encore pénétrer jusqu'au sol une fraction plus faible vers les pôles que vers l'équateur.

59. Influence de l'atmosphère sur les températures du globe. — Jusqu'à présent, l'atmosphère semble avoir pour effet de réduire la part de chaleur que nous envoie le soleil. Ce résultat est incontestable ; mais il est contrebalancé par un résultat contraire.

La transparence de l'air, surtout de l'air contenant de la vapeur d'eau, est très-inégale pour les divers rayons de chaleur. Très-grande pour les rayons lumineux, elle est beaucoup moindre pour les rayons obscurs émanant des corps à température peu élevée.

La terre reçoit la chaleur que lui envoie le soleil au travers des espaces. Elle rayonne à son tour vers ces mêmes

espaces ; mais la chaleur qu'elle émet ainsi, provenant d'une source à température peu élevée, se trouve en grande partie arrêtée par l'atmosphère qui la conserve. En résumé, l'air atmosphérique retient pour lui-même une portion de la chaleur qui nous est destinée ; mais, en même temps, il met obstacle à la déperdition de la chaleur terrestre. Il constitue pour la terre plus qu'un vêtement ; il fonctionne comme une véritable serre recevant aisément du dehors et rendant avec peine.

Tantôt le gain de chaleur l'emporte sur la perte et la température monte, tantôt c'est la perte qui prédomine et la température baisse. En moyenne l'équilibre s'établit annuellement, puisque la terre conserve une température constante ; mais les obstacles apportés à la sortie de la chaleur terrestre ont pour effet de surélever d'une manière très-marquée cette température de la terre.

40. Variation de la température moyenne à la surface du globe. — En prenant la somme des températures observées de jour et de nuit pendant chaque période de vingt-quatre heures, et divisant cette somme par le nombre des heures, on a ce que l'on nomme *température moyenne du jour*. Souvent on prend simplement pour cette moyenne la demi-somme des températures extrêmes du matin et de l'après-midi, qu'on nomme les *maxima* et *minima*.

La somme des températures moyennes des divers jours d'un mois, divisée par le nombre de jours, donne la *température moyenne du mois*.

La somme des températures moyennes des douze mois de l'année, divisée par 12, donne la *température moyenne de l'année*.

Comme cette dernière moyenne elle-même change d'une année à l'autre dans un même lieu, on prend encore la moyenne des moyennes températures d'un aussi grand nombre d'années que le comportent les observations recueillies.

La moyenne générale ainsi obtenue change beaucoup

avec la latitude. Elle décroît en général de l'équateur vers les pôles, mais elle ne décroît pas avec la même rapidité

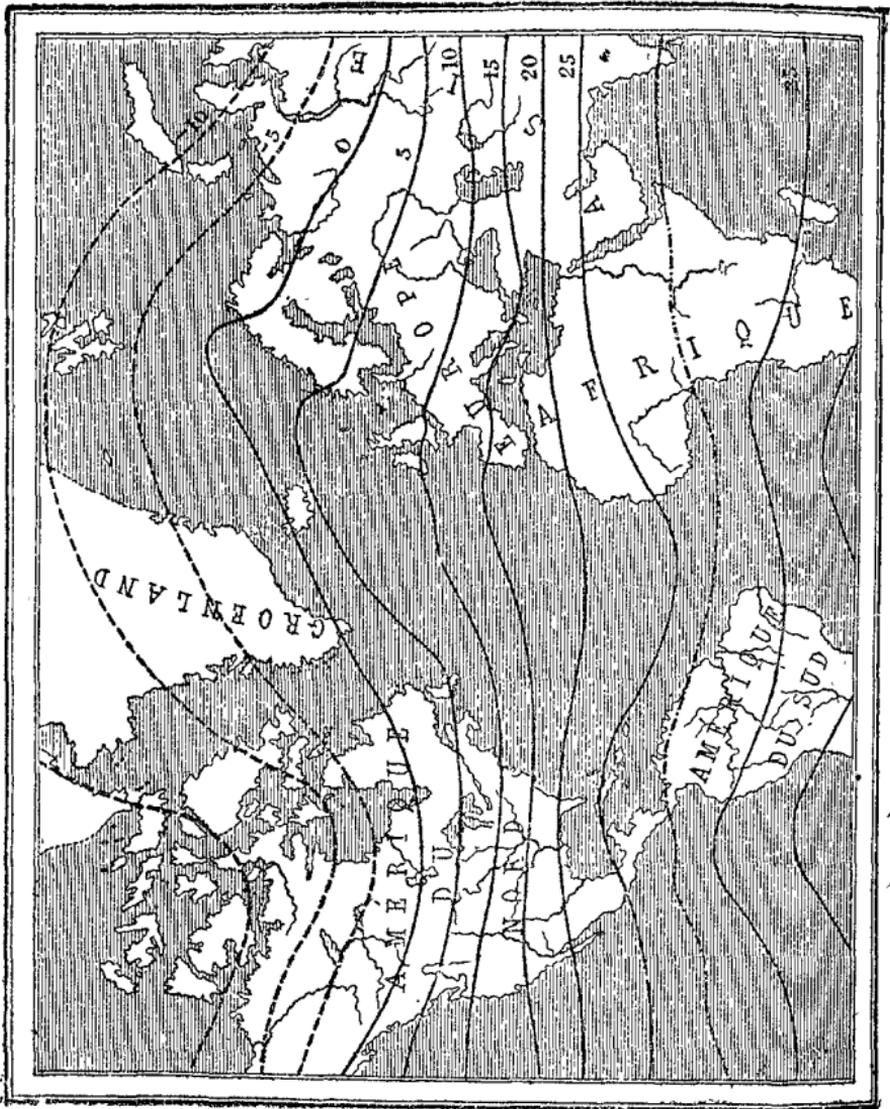


Fig. 9 Lignes isothermes ou d'égal température moyenne annuelle.

sur tous les méridiens. Les points les plus froids de la terre ne sont pas aux pôles mêmes. Dans l'hémisphère

nord, en particulier, il existe deux pôles de froid, placés, l'un dans le nord du Canada, dans le voisinage de la terre de Boothia Felix, l'autre dans le nord de la Sibérie.

Les lignes qui passent par les points de la surface terrestre où la température moyenne atteint le même degré s'appellent *lignes isothermes*. La fig. 9 représente les isothermes de 5 en 5 degrés, pour la surface explorée du globe. Ces lignes sont rendues sinueuses par des influences très-remarquables dont nous ferons plus loin l'examen.

On aurait, toutefois, une idée très-fausse des divers climats si l'on s'en tenait aux températures moyennes annuelles. L'isotherme de 10°, envisagée en gros, traverse l'Irlande, le midi de l'Angleterre, la Hollande, la Prusse, l'Autriche, le midi de la Russie.... Tous ces pays ont la même température moyenne de 10°. Ils ont cependant des climats très-divers. L'élément vital d'un climat se trouve bien plus dans les variations qu'y éprouve la température que dans sa température moyenne. Les pluies, les nuages, les vents contribuent d'ailleurs à le diversifier.

41. Variations diurnes de la température. — En chaque lieu, la température atteint généralement son degré *minimum* un peu avant le lever du soleil. A partir de ce moment, le thermomètre monte jusque vers une heure ou deux heures, quelquefois jusque vers trois heures, suivant la saison; puis il redescend rapidement jusqu'au coucher du soleil, lentement ensuite pendant la nuit.

Ces variations sont dues à l'action solaire. Cette dernière atteint son maximum moyen à midi; mais, comme la chaleur reçue l'emporte de beaucoup sur la perte, la température continue à monter. L'ascension du thermomètre dure jusqu'à ce que l'affaiblissement de l'action solaire, d'une part, et, de l'autre, l'accroissement de la perte résultant de l'élévation de température, produisent l'égalité entre la perte et le gain. C'est l'heure du maximum thermométrique.

La figure 10 nous fournit des exemples de la variation moyenne du thermomètre en divers lieux, à deux époques extrêmes de l'année. Chacune des lignes verticales corres-

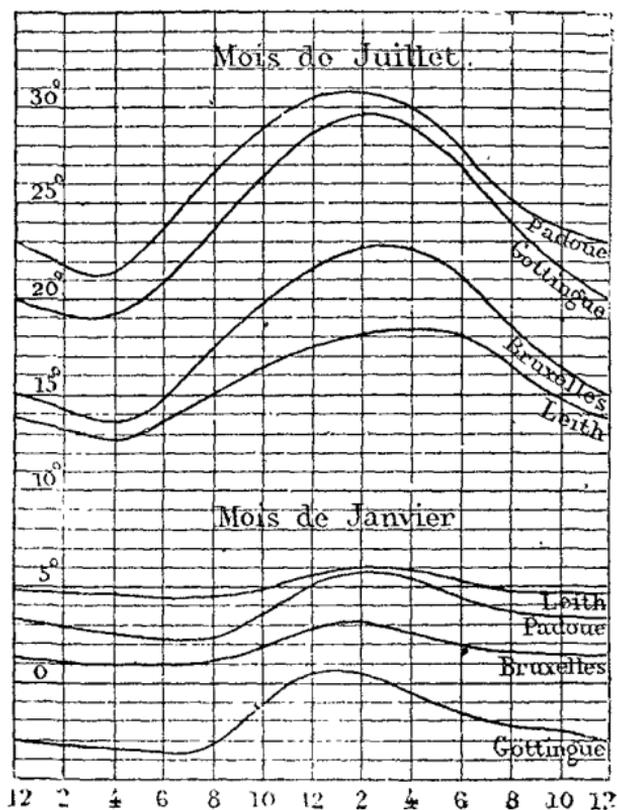


Fig. 10.

pond à une des vingt-quatre heures de la période diurne. Chaque interligne horizontal correspond à un degré du thermomètre. La variation est beaucoup plus accentuée en été qu'en hiver; elle l'est également plus dans le midi que dans le nord. Dans les pays méridionaux, à des jours brûlants succèdent des nuits très-fraîches, exigeant l'usage de vêtements supplémentaires. Cette précaution, familière

aux indigènes, est souvent négligée par les étrangers, ce qui est une des principales causes des accidents qui leur arrivent. Dans le nord, à une journée chaude succède d'ordinaire une nuit sans fraîcheur qui puisse reposer.

Les courbes de la figure 10 expriment la variation de la température dans une journée moyenne, et non la variation vraie à un jour donné. La différence entre ces deux phénomènes est généralement très-faible dans la plupart des régions intertropicales que l'on nomme, pour cette raison, à *climats constants*; elle est, au contraire, souvent considérable dans nos pays à *climats variables*. La température est d'une uniformité remarquable à Taïti, aux Sandwich, et dans toutes les îles des régions équatoriales des grands océans; on connaît, au contraire, la fréquence et la brusquerie de ses variations en Europe.

42. Variations annuelles de la température. — La température moyenne varie d'un jour à l'autre de l'année, comme elle varie d'une heure à l'autre du jour. La figure 11 montre l'étendue de ces variations à diverses latitudes.

De l'équateur à 10 degrés de latitude nord ou sud, les températures moyennes varient à peine de 2 ou 3 degrés d'un bout à l'autre de l'année. A 20 degrés de latitude, l'oscillation moyenne est d'environ 7 degrés thermométriques; à 30 degrés de latitude, elle dépasse 12 degrés du thermomètre.

A Paris (fig. 11), la différence entre le mois de janvier et le mois de juillet est moyennement de 16 degrés; elle dépasse 30 degrés à Moscou et 41 degrés à Boothia Felix, dans le nord de l'Amérique.

Un autre fait important ressort de la figure 11. Dans les quatre courbes qu'elle contient, la température *maxima* de l'été atteint des hauteurs peu différentes en raison des latitudes. C'est surtout par les températures *minima* de l'hiver que les courbes s'écartent l'une de l'autre.

On comprend aisément combien l'inégalité des températures dans les saisons extrêmes d'un même lieu, a d'in-

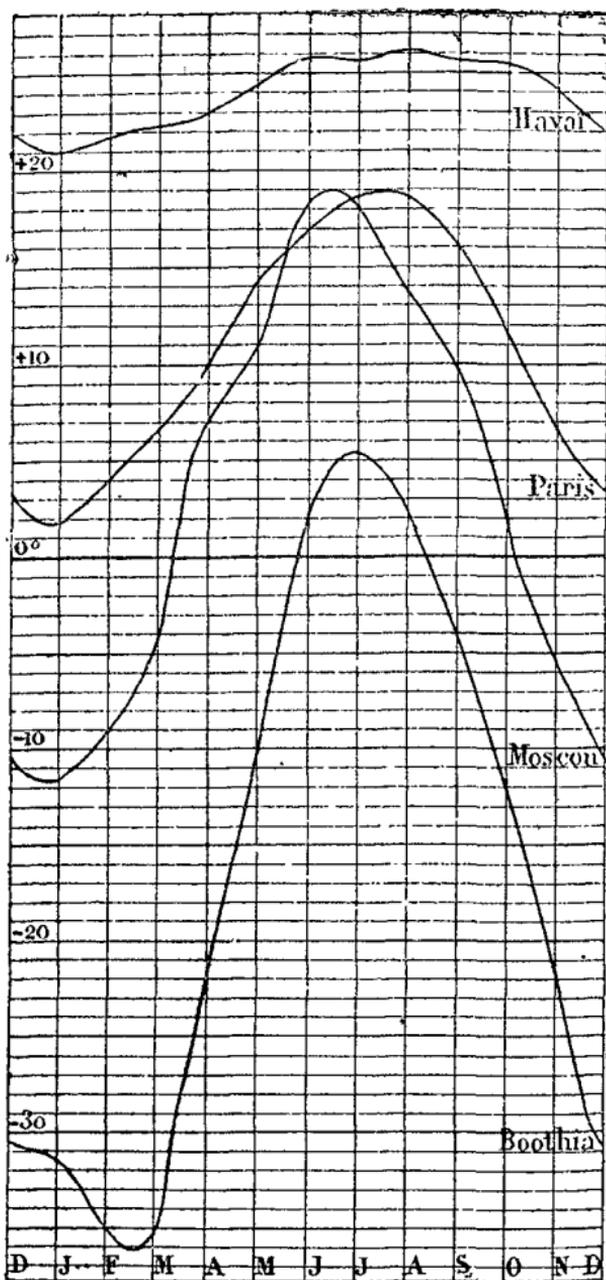


Fig. 11.

fluence sur son climat. Cette inégalité est faible dans les îles perdues au milieu des grands océans; elle est plus

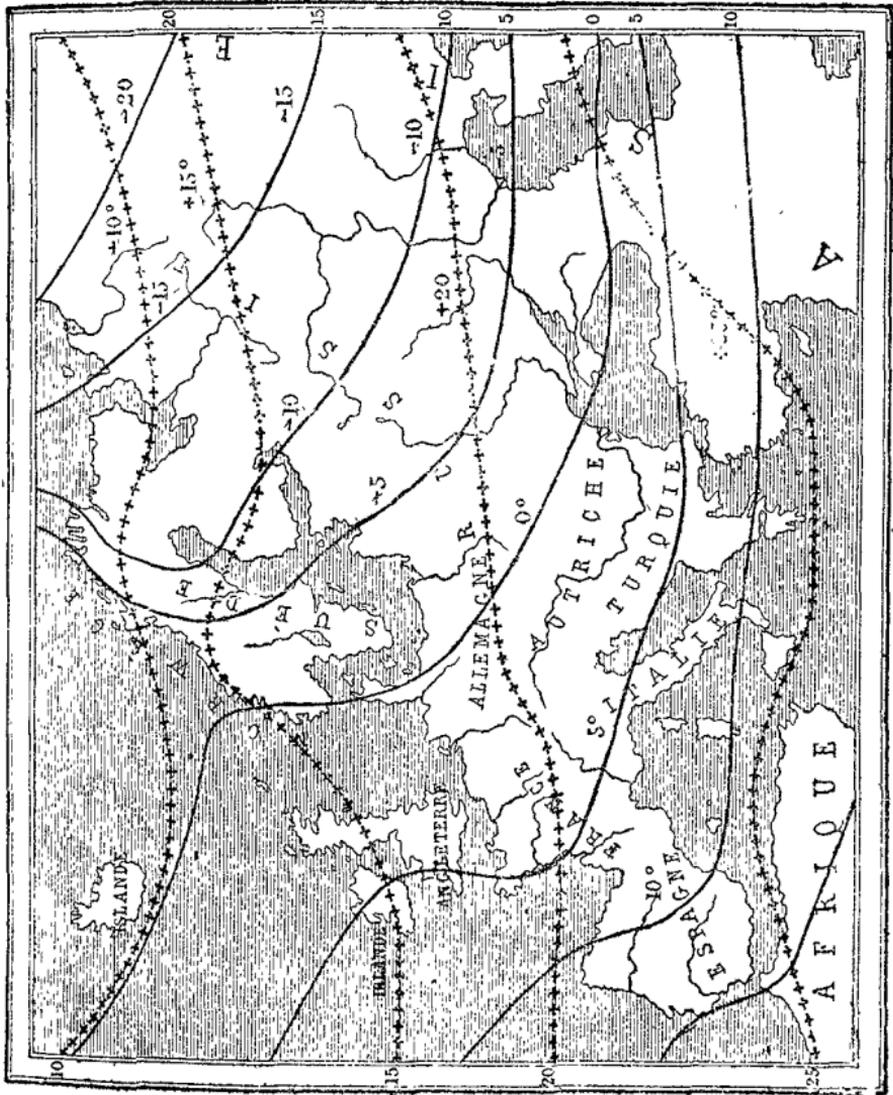


Fig. 12. + + + + Lignes d'égale température de l'été. — Lignes d'égale température de l'hiver.

grande, mais encore modérée, sur les terres bordées par de grandes mers : on y trouve les *climats marins*; elle

s'accroît de plus en plus à mesure que l'on pénètre plus avant dans l'intérieur des grands continents : là sont les *climats continentaux*.

La figure 12 représente les lignes isothermes à la surface de l'Europe. Nous y avons joint les *lignes isotheres* ou lignes d'égale température moyenne de l'été; et les *lignes isochimènes* ou d'égale température moyenne de l'hiver.

L'isotherme de 20 degrés traverse l'Europe presque en ligne droite; l'isochimène de 5 degrés traverse l'Irlande; de là elle descend brusquement vers le midi de la France, pénètre dans le nord de l'Italie, dans la Turquie d'Europe et l'Asie Mineure. Toutes les isochimènes se relèvent ainsi vers les côtes occidentales de l'Europe, où les hivers sont doux relativement à ceux du centre et de l'est.

45. Causes des variations annuelles de la température. — Sur la plus grande partie de la surface du globe, le soleil apparaît tous les jours au-dessus de l'horizon; mais il est loin d'y rester le même nombre d'heures partout et à toute époque de l'année.

Entre les tropiques, l'inégalité des jours et des nuits est renfermée dans d'étroites limites. Le soleil y atteint à midi un degré de hauteur peu variable d'une époque à l'autre de l'année. Aussi les saisons ne s'y distinguent-elles que par la présence ou l'absence des pluies : le thermomètre y change peu d'une saison à l'autre.

A mesure qu'on s'éloigne de l'équateur pour se rapprocher des pôles, les jours grandissent en été et diminuent en hiver. En été, le soleil monte d'autant moins haut au-dessus de l'horizon qu'on se trouve à une latitude plus élevée; l'ardeur de ses rayons diminue dans la même proportion que sa hauteur; mais cet affaiblissement dans son action est en partie compensé par une durée plus grande de la journée et une durée moindre des nuits.

La température de l'été diminue, en général, de l'équa-

teur au pôle; mais elle diminue beaucoup moins rapidement que la température moyenne. Aussi voit-on la culture des céréales s'étendre dans le nord de l'Europe à des latitudes où la rigueur du climat semblait rendre cette culture impossible. Les neiges garantissent les jeunes pousses contre la rigueur des froids d'hiver; et quand ces froids empêchent de semer en automne, quelques mois, on pourrait dire, quelques semaines, suffisent à faire lever, pousser et mûrir la plante. La continuité de l'action solaire supplée à sa faiblesse.

La température de l'hiver diminue, au contraire, beaucoup plus rapidement de l'équateur au pôle, que la température moyenne. Ce résultat ne surprendra pas si nous rappelons qu'au pôle même il n'y a pour ainsi dire que deux jours et deux nuits dans l'année, le soleil ne s'y couchant plus à partir de l'équinoxe du printemps, et ne s'y levant plus depuis l'équinoxe d'automne jusqu'à l'équinoxe du printemps. Pendant cette longue période, les régions polaires ne reçoivent d'autre chaleur que celle des étoiles situées bien loin, ou celle que lui apportent les courants atmosphériques ou marins. Cette dernière source de chaleur est bien faible pour pallier un refroidissement nocturne aussi prolongé; et cependant, au pôle même, d'après ce que nous en connaissons, il ferait moins froid en hiver que dans certains points situés au milieu des terres dans l'Amérique du nord et dans la Sibérie.

Si l'on descend du pôle vers la latitude de 67 ou 68 degrés, la *grande nuit d'hiver* diminue graduellement jusqu'à n'être plus que de vingt-quatre heures. Au delà encore, et plus près de l'équateur, les *nuits d'hiver* se restreignent de plus en plus; et, à l'équateur même, le soleil, pendant toute l'année, reste le même temps au-dessus et au-dessous de l'horizon.

En résumé, les différences entre les températures extrêmes du jour et de la nuit diminuent généralement, tandis que les différences entre les températures extrêmes de l'année augmentent de l'équateur aux pôles. Mais l'in-

fluence de la latitude n'est pas la seule qu'il faille considérer ; les résultats sont profondément modifiés par la proximité des mers ou des terres et par les mouvements de l'atmosphère et des eaux.

44. Variations de la température avec la hauteur. —

Il est encore une autre cause dont nous dirons immédiatement quelques mots.

En quelque lieu du globe qu'on se trouve, si on s'élève en ballon dans l'atmosphère, on voit la température baisser d'une manière graduelle. L'abaissement varie dans nos climats depuis 1 degré par 220 mètres d'élévation jusqu'à 1 degré par 80 mètres seulement, suivant l'heure et l'état du temps.

Ce phénomène tient à une double cause. L'atmosphère est, par sa partie supérieure, en contact avec le froid des espaces planétaires, et, par sa partie inférieure, en contact avec le sol relativement chaud. La température doit donc diminuer de celle-ci à celle-là.

D'un autre côté, l'air pris à la surface du sol, s'élevant dans les hautes régions, se dilate, parce que la pression qu'il supporte se trouve allégée du poids des couches d'air laissées en dessous. Or tout air qui se dilate sans l'intervention d'un surcroît de chaleur, se refroidit par cela même qu'il se dilate. Inversement, l'air qui descend des hautes régions se contracte par suite de l'accroissement de pression qu'il subit, et par le fait seul de sa contraction, il s'échauffe. Or l'air est constamment en mouvement. Ses diverses couches, brassées par les vents, sont sans cesse mélangées, et, pendant les temps les plus calmes en apparence, des mouvements verticaux ont encore lieu dans l'atmosphère. La variation des températures avec la hauteur doit donc osciller autour d'une certaine formule dépendant des lois du refroidissement nocturne et du réchauffement par l'action solaire, et des lois de l'absorption et du dégagement de chaleur par l'effet des changements de la pression supportée par l'air. L'équilibre de l'atmosphère est d'autant

plus stable qu'il s'écarte moins de cette formule, ou que la décroissance de la température avec la hauteur est plus faible.

43. Action de la chaleur sur le sol. — Le sol, par sa couleur généralement foncée, absorbe facilement la chaleur des rayons solaires. Sa capacité calorifique est assez faible ; quand il n'est pas imprégné d'eau, il lui faut peu de chaleur pour faire monter sa température de plusieurs degrés. Il est, de plus, très-mauvais conducteur de la chaleur, en sorte que la température de sa surface peut varier dans des limites très-étendues sans que ces variations soient ressenties à quelques décimètres de profondeur, si ce n'est après un assez long intervalle de temps.

A part la chaleur emportée par l'évaporation de l'eau du sol, tout l'effet de la chaleur solaire se concentre donc sur la couche superficielle de la terre.

Inversement, toute la chaleur perdue par la terre sous l'influence du rayonnement nocturne est à peu près exclusivement fournie par cette même couche. De là des variations considérables dans la température de la surface terrestre. Il n'est pas rare dans nos climats de voir un thermomètre couché sur le sol atteindre à 50 ou 60 degrés pendant le jour et descendre pendant la nuit de 8 ou 10 degrés au-dessous de la température minima indiquée dans l'air par un thermomètre placé à 1 ou 2 mètres de hauteur. Sur les plateaux de l'Inde, où la température du jour est très-haute, on peut même faire congeler de l'eau par le simple effet du rayonnement nocturne pendant certaines nuits d'été.

46. Action de la chaleur sur les mers. — L'eau est douée de propriétés toutes différentes. Il lui faut beaucoup de chaleur pour s'échauffer : sa capacité calorifique est grande. Elle est douée d'un assez haut degré de transparence pour la chaleur solaire qui, au lieu d'être arrêtée à la surface de l'eau comme à la surface du sol, peut pé-

nétrer assez avant dans l'épaisseur de la couche aqueuse. Enfin, tandis que le sol est fixe, l'eau est très-mobile : des courants constants s'y produisent, qui mélangent sans cesse les couches à températures inégales.

Les conséquences de ces faits sont faciles à déduire. La température des eaux profondes, celle des grands océans en particulier, doit être beaucoup moins variable que celle de la surface du sol. La variation diurne y est peu accentuée ; la variation annuelle y est plus marquée, mais elle est encore relativement faible tant que la congélation n'a pas immobilisé la surface des eaux.

47. Influence des océans sur les températures du globe. — C'est à cette circonstance jointe à la régularité des vents dans les régions tropicales qu'est due la constance remarquable du climat des îles situées au milieu de l'océan Pacifique. Un effet analogue se produit dans les îles dispersées le long des côtes occidentales de l'Europe, bien que ces îles soient alternativement battues par des vents soufflant du sud ou du nord, de la mer ou de l'intérieur du continent. Il gèle rarement dans les îles de la Manche ; sur les côtes de Bretagne poussent en liberté des plantes qu'il faut, à Paris, abriter sous des serres pendant l'hiver, qui gèlent quelquefois même à Montpellier, à Nîmes, à Marseille. Par contre, la vigne n'y mûrit jamais, et les treilles rarement. La figure 12 nous fournit un exemple très-net de l'inégalité des variations de la température sur mer et sur terre.

La courbe des températures de 0 degré en hiver et celle de 10 degrés en été, se confondent presque sur l'Atlantique au sud de l'Islande. Elles s'écartent peu à peu l'une de l'autre en s'avancant vers la Norvège. A partir des côtes de Norvège, leur divergence devient énorme. La courbe estivale de 10 degrés traverse la Laponie, passe au nord d'Archangel et traverse la Sibérie. La courbe hivernale de 0 degré descend presque verticalement sur le Danemark et la Prusse ; elle traverse les Karpathes, la mer Noire au

sud de la Crimée, le Caucase et la mer Caspienne. La Norvège, la Suède, la Prusse orientale, la Pologne et toute la Russie ont, pendant l'hiver, une température moyenne inférieure à zéro degré, inférieure à celle des Scheetland situées au nord de l'Écosse.

Ce phénomène n'est point particulier à l'Europe, il est général. Durant l'été, les points les plus chauds de la surface du globe forment une bande étroite et longue, s'étendant sur les déserts de Sahara et de l'Arabie, puis sur l'Asie méridionale jusque vers la Chine. Une autre région très-chaude a son centre à Cuba pour une raison que nous exposerons plus loin. A partir de cette zone, la température décroît à mesure qu'on s'avance vers les pôles, mais plus lentement à la surface des continents qu'à la surface des mers, en sorte que le même degré de chaleur se rencontre sur terre à une latitude notablement plus élevée que sur mer. Le contraire a lieu en hiver et d'une manière encore plus marquée.

48. Influence des courants marins et atmosphériques sur les températures du globe. — Bien que la chaleur solaire, n'agissant que sur la couche toute superficielle du sol, y produise des variations de température beaucoup plus grandes que sur les mers où les courants la disséminent à de grandes profondeurs, en somme la chaleur annuellement versée reste la même, et la température moyenne annuelle devrait aussi rester la même à latitude égale. Il n'en est rien. Les lignes isothermes, ou d'égale température moyenne, dessinées sur la figure 11, sont en effet très-sinueuses, et les sinuosités portent à la fois sur la mer et sur la terre. Ces sinuosités sont dues à ce que certaines régions des océans sont traversées par des courants d'eau chaude provenant de la zone équatoriale ; à ce que d'autres régions, au contraire, sont traversées par des courants d'eau froide provenant des mers polaires. C'est ainsi que les eaux échauffées par des rayons solaires presque verticaux dans la zone équatoriale

de l'océan Atlantique sont poussées par les vents alizés vers les Antilles et le golfe du Mexique où nous avons vu un maximum de chaleur estivale. Ce courant marin se réfléchit sur les côtes des États-Unis d'Amérique et vient, sous le nom de *Gulf-stream*, rivière du golfe, s'épanouir

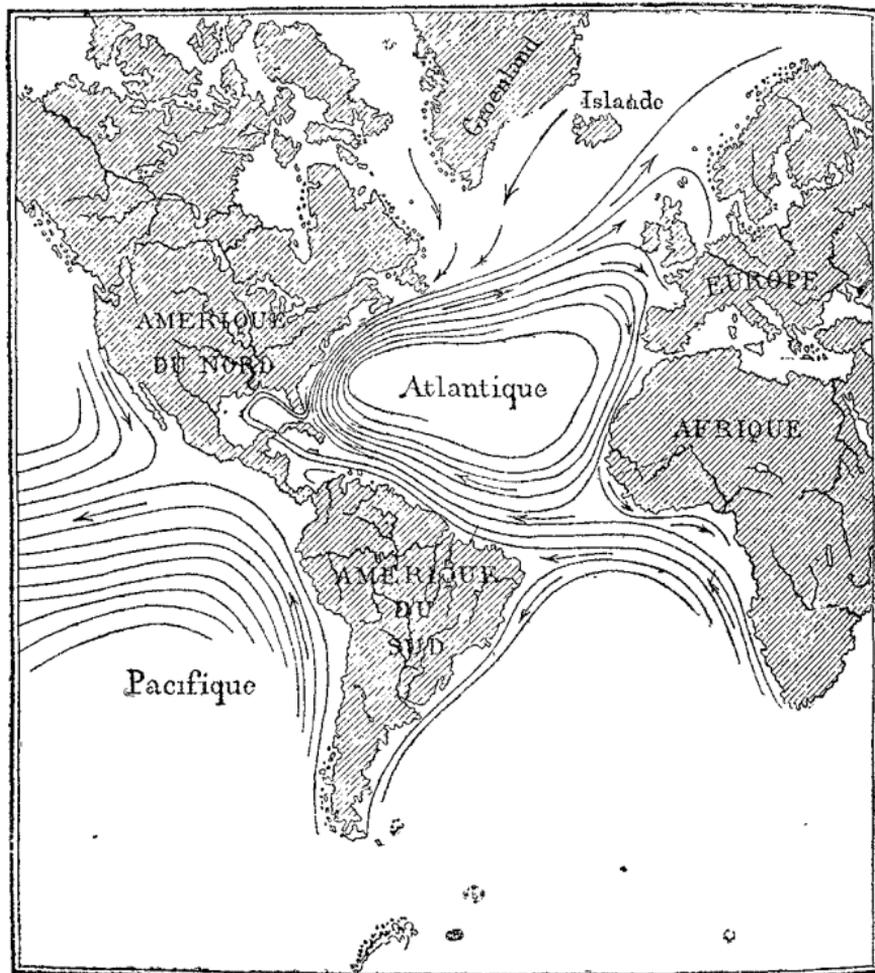


Fig. 13.

sur les côtes du nord de la France, des Iles Britanniques, du Danemark et de la Norvège. Toutes ces côtes reçoivent

ainsi un surcroît de chaleur que les vents du S. O. dominant dans ces parages, font partager aux terres voisines.

La figure 13 donne une idée de cette circulation des eaux à la surface de l'Atlantique. Les lignes tracées sur l'océan indiquent la partie mobile, et les flèches donnent le sens du mouvement. Au chapitre VII nous indiquerons les causes et la nature de ces courants.

Un semblable courant d'eaux chaudes longe les côtes orientales de l'Amérique du Sud et de l'Afrique, les côtes orientales de l'Asie et les côtes occidentales de l'Amérique du Nord.

Un courant d'eaux froides, au contraire, longe les côtes occidentales de l'Amérique du Sud et de l'Afrique et la partie nord des côtes orientales de l'Amérique du Nord et de l'Asie. L'abaissement de température qui en résulte se transmet en partie aux terres voisines.

Telles sont les causes principales de la répartition de la chaleur à la surface du globe. Nous avons cité comme cause secondaire et locale l'altitude de chaque lieu au-dessus du niveau de la mer. Il faut y joindre la nature du sol, son degré de sécheresse ou d'humidité, l'abondance ou la rareté des pluies qu'il reçoit, la direction habituelle des vents qui le traversent, la fréquence des perturbations atmosphériques qui s'y produisent.

CHAPITRE VII.

CIRCULATION GÉNÉRALE DE L'ATMOSPHÈRE.

49. Cause générale des mouvements de l'atmosphère,

— L'air est un gaz dont le volume s'accroît beaucoup, et, par suite, dont la densité décroît beaucoup à mesure que sa température monte. Les plus faibles inégalités de chaleur dans une même masse d'air suffisent pour y produire des mouvements intérieurs, et l'on connaît l'activité du tirage dans les cheminées de verre qui garnissent nos lampes, ou dans les cheminées de nos appartements.

Si dans une pièce, dont rien n'agite l'air, nous introduisons un corps chaud, l'air monte tout à l'entour du corps, s'élève jusqu'au plafond, s'y étale en nappes dirigées vers les points opposés à ceux occupés par la source de chaleur, puis redescend vers le sol pour aller ensuite se rallier au courant ascendant qu'il alimente.

Un effet semblable se produit sur une large échelle à la surface du globe, sous l'influence des inégalités de températures signalées dans les chapitres précédents.

50. Circulation générale de l'atmosphère. — L'air, fortement échauffé sur la zone équatoriale, s'élève en masse vers les hautes régions de l'atmosphère. Parvenue à une certaine élévation qui nous est inconnue, mais qui dépasse plusieurs kilomètres, la nappe ascendante se partage en deux nappes horizontales s'étalant dans la direction des pôles.

Le mouvement ascensionnel ainsi produit donne lieu à un appel d'air des deux côtes de la zone où s'est établie la nappe ascendante ; deux autres nappes horizontales, rasant la surface du sol ou des mers, se dirigent des régions tempérées vers cette zone centrale. Nous trouvons donc, sur tout le pourtour de la terre, une double circulation aérienne, dont la fig. 14 nous aidera à comprendre l'é-

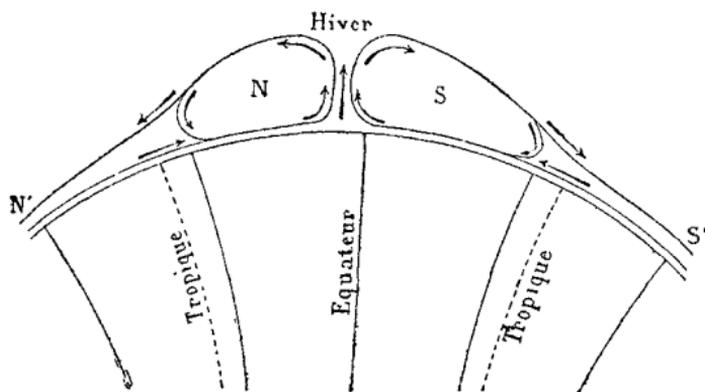


Fig. 14.

tendue. Le cercle figure la surface terrestre ; les lignes tracées au-dessus figurent la double circulation atmosphérique.

Un courant d'air parti des régions tropicales marche vers l'équateur. Situé dans les régions inférieures de l'atmosphère, et à la surface du globe, ce courant est directement accessible à notre observation : il constitue les *alizés*. Arrivé à une certaine distance de l'équateur, plus grande en été, plus faible en hiver, à la surface de l'Atlantique, et variable suivant les lieux et les saisons, le courant aérien se redresse vers les hauteurs de l'atmosphère ; lorsqu'il a atteint un certain niveau, il reprend une direction sensiblement horizontale vers le pôle, en se rapprochant toutefois graduellement de la terre à mesure qu'il

s'écarte de l'équateur. Maury a donné à cette branche du courant le nom de *contre-alizé* supérieur.

Jusqu'à présent, le circuit n'est pas complet ; les alizés et contre-alizés, reliés entre eux par la branche ascendante de la région équatoriale, ne le sont pas encore du côté des pôles. Cette liaison s'opère de deux manières. Dans le voisinage des tropiques, une portion notable du contre-alizé supérieur forme une nappe descendante qui alimente l'alizé inférieur ; mais une autre portion du contre-alizé supérieur continue sa course vers le pôle en s'étalant à la surface du globe et, après avoir ainsi parcouru une trajectoire plus ou moins étendue, elle retourne vers les régions équatoriales pour y compléter la masse d'air qui est entraînée par l'alizé inférieur. Cette seconde branche du circuit se détache de la première en certains points déterminés du circuit général, particulièrement sur la partie occidentale de l'Atlantique nord. Elle parcourt l'Atlantique nord et une partie de l'Europe et de l'Asie avant de revenir alimenter l'alizé vers le sud. La variabilité de son parcours et les accidents qui se produisent au milieu de sa masse sont les principales causes de la variabilité de nos climats d'Europe.

Un effet pareil se produit sur l'hémisphère austral.

§4. Influence de la rotation de la terre sur la circulation atmosphérique. — La rotation de la terre produit sur les circuits nord et sud, N. et S., une déviation très-remarquable et d'une explication très-facile.

Tous les points de la surface terrestre font leur révolution diurne dans le même temps, mais avec des vitesses inégales, parce qu'ils ne parcourent pas des cercles de même étendue. Les points situés sur l'équateur ont à faire le plus de chemin et marchent le plus vite. A mesure qu'on s'approche des pôles, les parallèles diminuent de rayon, et la vitesse de leurs divers points décroît elle-même. A l'équateur, la vitesse est d'environ 416 lieues par heure ; elle n'est plus que de 273 lieues sur le quarante-neuvième

degré de latitude, dans le voisinage de Paris; elle descend à 238 lieues sur le cinquante-cinquième degré de latitude, près de Newcastle; au pôle même elle est nulle.

L'air qui nous semble en repos à Paris se meut donc en réalité de l'ouest à l'est, avec une vitesse de 273 lieues à l'heure. Imaginons que cet air soit transporté sur le cinquante-cinquième degré de latitude sans que rien soit changé dans sa vitesse, il continuera d'y parcourir 273 lieues par heure; mais chaque point du parallèle cinquante-cinquième en parcourt seulement 238. L'air gagnera donc sur le sol, et dans le sens de l'ouest à l'est, 35 lieues à chaque heure; comme le sol nous paraît toujours en repos parce que nous participons à son mouvement, nous attribuerons à l'air une vitesse de 35 lieues par heure, ce qui constitue un véritable ouragan. Un effet inverse aurait lieu si une masse d'air, en repos à Newcastle, était transportée sur le parallèle de Paris sans changement de vitesse. Cet air nous semblerait courir de l'est à l'ouest avec une vitesse rétrograde de 35 lieues à l'heure.

En réalité, ces passages de masses d'air d'un parallèle à l'autre se font toujours d'une manière graduelle, et, pendant leur durée, des résistances de diverses natures tendent à égaliser les vitesses. Les différences affaiblies n'en existent pas moins; et, comme la grandeur des cercles parallèles diminue très-rapidement à mesure qu'on s'approche des pôles, les effets signalés plus haut seront de plus en plus prononcés aux latitudes de plus en plus élevées.

Tout courant d'air marchant du nord au sud dans l'hémisphère nord, déviara graduellement vers l'ouest parce qu'il retardera, dans sa marche vers l'est, sur les régions méridionales vers lesquelles il se rend. Tout courant d'air marchant du sud au nord dans le même hémisphère, déviara graduellement vers l'est, parce qu'il avancera, dans sa marche, sur des régions ayant une vitesse de l'ouest à l'est inférieure à la sienne.

L'inverse aura lieu dans l'hémisphère austral.

§2. Vents alizés. — Les vents alizés acquièrent toute leur force et toute leur régularité à la surface des grands

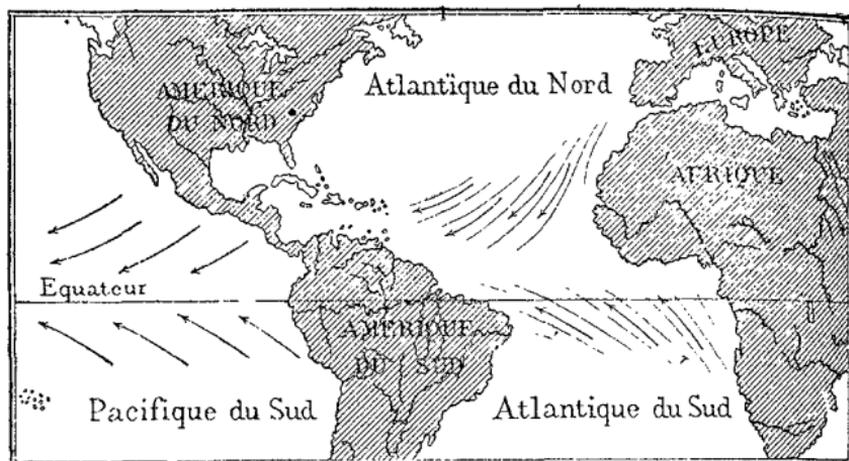


Fig. 15.

océans, où rien ne gêne leur allure. La figure 15 représente les directions dans lesquelles ils soufflent à la surface de l'Atlantique et du Pacifique. Ils sont formés par les deux nappes d'air attirées des régions tropicales vers la base de la nappe équatoriale ascendante. Nous avons supposé, § 49, que ces nappes marchaient du nord au sud pour l'une, du sud au nord pour l'autre. La rotation de la terre les dévie vers l'ouest; en sorte que les alizés de l'hémisphère Nord soufflent du N. E. ou de l'E. N. E., tandis que les alizés de l'hémisphère sud soufflent du S. E. ou de l'E. S. E. Ces vents sont d'une régularité remarquable. Ils favorisent singulièrement le voyage d'Europe dans l'Amérique centrale, et on les recherche dans ce parcours. Ils gênent au contraire pour le retour; aussi en quittant l'Amérique, les bâtiments à voile cinglent-ils vers le nord pour sortir de la zone des alizés et retrouver, à une latitude plus élevée, une zone de vents soufflant généralement d'une direction opposée. Les alizés de l'océan

Pacifique poussent avec tant de régularité les navires de l'Amérique centrale aux côtes d'Asie, que les Espagnols l'avaient nommé l'*océan des dames* (mare de las damas). Le mot pacifique a même origine.

Entre les deux alizés se trouve la zone des calmes équatoriaux. Là est installée la nappe ascendante. La vitesse de l'air n'y est pas nulle, mais elle est dirigée de bas en haut et sa composante tangentielle à la surface du globe est très-faible. On pourrait tout aussi bien l'appeler zone des brises variables, zone des nuages perpétuels, zone des pluies et des orages. Cette zone suit de loin la marche du soleil et se déplace comme lui, mais après lui et moins que lui.

Les vents alizés de l'Atlantique semblent, sur la figure 15, émerger de la partie orientale de l'océan Atlantique; c'est qu'en effet la circulation aérienne est plus libre à la surface des mers qu'à la surface des continents; que, d'autre part, les courants inférieurs allant vers l'équateur portent tous à l'ouest, tandis que les courants supérieurs, s'éloignant de l'équateur, portent tous à l'est. Il en résulte que les alizés tirent la plus grande partie de leur masse d'air de la partie orientale de l'Océan, et que leur alimentation par les courants supérieurs a lieu pareillement, sur-tout par là.

35. Moussons. — Quand les alizés du S. E. dépassent l'équateur vers le nord; ils gagnent des parallèles de plus en plus petits. Leur vitesse vers l'ouest diminue graduellement; ils se redressent vers le nord et soufflent du S. S. E., du S. et même du S. S. O., suivant la distance de l'équateur à laquelle ils atteignent. C'est dans ce fait, conséquence naturelle de ce qui précède, que réside l'explication des moussons. Les moussons, mot probablement dérivé de l'arabe *Mausim*, saison, soufflent particulièrement dans la mer des Indes. Ce sont des vents réguliers dont la direction change périodiquement chaque année, suivant le cours des saisons.

Dans l'océan Indien, au sud de l'équateur, l'alizé du S. E. règne toute l'année sans partage. Pendant l'hiver, la nappe équatoriale ascendante, ou zone des calmes, y occupe une région voisine de l'équateur. Au nord de cette zone souffle l'alizé du N. E. : c'est la mousson d'hiver ou mousson du N. E. Le mot hiver, ici, ne veut plus dire froid : c'est la saison sèche, la belle saison pour la plus grande partie de l'Inde méridionale, des royaumes de Siam et de Cambodge.

Pendant l'été, la nappe équatoriale ascendante se trouve brusquement reportée sur l'Asie méridionale qui entre alors dans la saison des pluies. L'alizé du N. E. disparaît ; l'alizé du S. E. franchit l'équateur, et, à mesure qu'il se rapproche de l'Inde, il incline de plus en plus vers le S., le S. S. O. et le S. O. C'est la mousson du S. O.

Le passage de l'une à l'autre mousson est une époque critique pour les mers de l'Inde. C'est alors que se forment ces terribles *typhons* si redoutés à cause des ravages qu'ils exercent au loin sur leur route.

Au reste, les directions des deux moussons et leurs effets ne sont pas partout les mêmes ; ils sont modifiés par l'influence des terres et de leurs saillies.

34. Vents Étésiens. — Les vents Étésiens sont des espèces de moussons affaiblies qui règnent sur la partie orientale de la Méditerranée. La mousson d'été, soufflant du N. ou du N. E., y est seule un peu caractérisée.

35. Contre-alizé, courant équatorial. — Le contre-alizé supérieur est placé à une trop grande hauteur pour que l'on puisse constater directement son existence. Pour y pénétrer, dans sa partie la plus écartée de l'équateur, celle où il est le plus bas, il faut monter au sommet de pics élevés, comme le pic de Ténériffe. Il n'en est plus de même lorsqu'il s'est abaissé à la surface du sol.

Pendant son parcours supérieur, il incline graduellement vers l'est, par la même raison générale qui fait incliner les alizés vers l'ouest. La direction générale du contre-

alisé de l'hémisphère nord est donc celle du S. O. au N. E. : ce contre-alizé souffle en moyenne du S. O. Quand il s'abaisse vers le sol pour se transformer en alizé, il se redresse peu à peu et passe graduellement du S. O. au N. E. par le N. Les régions où cette transformation a lieu sont le siège des *calmes tropicaux* de Maury. Mais la zone des calmes équatoriaux ; tantôt elle s'efface ou se retire sur le nord de l'Afrique, tantôt elle s'étend de l'Espagne au centre nord de la Russie en traversant obliquement l'Europe. Au nord de cette ligne le ciel est variable ou pluvieux ; au sud il est généralement beau

Toute la masse d'air du contre-alizé supérieur ne retourne pas ainsi directement sur ses pas pour constituer l'alizé ; une partie plus ou moins grande continue sa route dans le sens de l'ouest à l'est à la surface du globe et ne revient à l'alizé qu'après avoir parcouru un assez long trajet : c'est cette branche du contre-alizé supérieur qu'on nomme *contre-alizé inférieur*, ou plus généralement *courant équatorial*, parce que l'air qu'il charrie vient de régions équatoriales par les parties élevées de l'atmosphère. Ce courant, avant d'arriver jusqu'à nous, a traversé une partie de l'Atlantique. Il est tiède et humide en hiver. En toute saison, il sème sur sa route les pluies ou les orages. Il règne presque sans interruption d'un bout à l'autre de l'année ; mais sa ligne de parcours oscille fréquemment du nord au midi, ou du sud au nord, comme s'il voulait arroser successivement toutes les contrées de l'Europe. Très-fréquemment aussi, dans la masse d'air qu'il entraîne, il se produit des mouvements tournants ou tourbillons auxquels se rattachent particulièrement les tempêtes et les orages.

La figure 16 nous donnera une idée de la circulation de l'atmosphère, dans sa partie qui touche la surface du globe. Les contre-alizés supérieurs n'y figurent pas. De chaque point partent des lignes tirées sous le vent, dans la direction vers laquelle il souffle. L'écartement angulaire de ces lignes est en rapport avec la variabilité du vent.

En dehors de ces mouvements généraux, il en est un autre d'une aussi grande importance. Les deux hémisphères



ont alternativement leur saison chaude. Quand l'hémisphère nord se refroidit, l'hémisphère sud se réchauffe: ici l'air

se dilate, là il se contracte. L'hémisphère nord doit donc recevoir plus d'air par le contre-alizé qu'il n'en rend par l'alizé : c'est la saison des grands vents d'O. ou S. O. Au printemps l'inverse a lieu : c'est la saison des giboulées avec alternance des vents de S. O. et de N. E.

56. Vents locaux. — Les influences locales viennent à leur tour imprimer leur cachet spécial aux vents qui dominent en chaque lieu particulier. Si nous considérons le courant équatorial en lui-même, le plateau central de la France, qui comprend le Puy-de-Dôme, le Cantal et une partie des départements voisins, produit un premier partage des masses d'air en mouvement ; la plus grande partie est déviée vers le nord ; le reste dérive vers le midi pour franchir la chaîne moins élevée des Cévennes. Une seconde bifurcation a lieu à la rencontre du grand massif des Alpes, et les vents dominants dans la vallée du Rhône sont les vents du nord.

Quand le centre d'un mouvement tournant un peu intense passe à proximité de nos côtes, son action s'étend sur toute la surface du territoire, et les vents, en Provence comme dans la vallée du Rhône, soufflent plus ou moins directement du sud ; mais, quand le centre du tourbillon a franchi vers l'est le méridien de Paris, les vents inclinant vers l'O. ou O. N. O. sur la France occidentale, les dérivations vers le sud reparaissent et acquièrent d'autant plus d'énergie que la direction du mouvement général incline plus du N. O. au S. E. Le mistral, qui a remplacé le vent du sud, devient alors très-violent, parce que la masse d'air qui recouvre la France s'engage dans le défilé compris entre les Alpes et les Pyrénées pour s'établir ensuite sur le large bassin de la Méditerranée. Il en est alors du vent comme de l'eau dans un rapide produit par l'étranglement du lit d'un fleuve.

Les montagnes donnent en outre lieu à des brises toutes locales dues à l'inégalité des températures. Durant le jour, le sol frappé par les rayons solaires est, à toute hauteur,

plus chaud que l'air ambiant. L'air directement en contact avec lui participe de cet excès de température; devenu plus léger, il monte: une brise ascendante s'élève ainsi le long des flancs des montagnes. La nuit il se produit un phénomène inverse; le sol se refroidit plus que l'air; une brise descendante succède à la première. Les brises de terre et de mer qui soufflent alternativement sur les côtes ont une origine semblable.

57. Action des vents sur la mer. Courants marins.—

L'inégale répartition des températures à la surface des mers tend à produire dans les eaux de l'Océan des mouvements analogues à ceux dont nous avons constaté l'existence dans l'atmosphère. Mais, comme l'eau se dilate peu, que l'échauffement ou le refroidissement s'y font, non plus par le fond, comme dans l'air, mais par la superficie, cette cause de mouvement produit des effets peu marqués. Les différences de salure provenant de l'évaporation, de la fonte des glaces ou de l'apport des fleuves, auraient une influence plus grande, mais souvent contraire à la première. C'est à l'action des vents qu'il faut, surtout, attribuer les courants marins.

Si nous comparons les planches 13 et 16, nous reconnaitrons immédiatement la relation qui lie les deux circulations atmosphérique et océanique.

Dans les régions équatoriales des deux océans Atlantique et Pacifique, nous avons deux zones de vents alizés soufflant d'un bout à l'autre de l'année avec une grande régularité et portant uniformément vers l'ouest. Un grand courant marin circule de l'est à l'ouest, dans ces parages, et transporte vers les côtes orientales de l'Amérique et de l'Asie des eaux chauffées par leur long séjour sous la zone torride.

A des latitudes plus élevées, en dehors des deux tropiques, nous trouvons des vents moins constants, mais souvent très-forts et portant au contraire vers l'est. Dans ces parages existent des courants marins marchant d'une manière générale de l'ouest vers l'est. La configuration

des bassins des mers apporte ses modifications à ces phénomènes généraux.

58. Courants de l'Atlantique nord, Gulf-stream. — L'Atlantique équatorial est complètement fermé vers l'ouest par l'Amérique. Les eaux du courant équatorial y sont déviées et relevées vers le nord par les côtes inclinées du Brésil. Une grande partie de ces eaux passe au travers des Antilles; les autres pénètrent dans le golfe du Mexique, dont elles font le tour, et s'écoulent par la passe de la Floride. Elles ressemblent alors à un fleuve majestueux dont le courant dépasse en rapidité ceux du Mississipi et de l'Amazone. C'est à elles particulièrement qu'on donne le nom de *Gulf-stream*, rivière du golfe; mais ce grand courant, au sortir du canal de la Floride, est renforcé par les eaux du courant équatorial qui ont passé au travers des Antilles et même au nord de ces îles.

Le Gulf-stream longe d'un peu loin les côtes méridionales des États-Unis, dont il est séparé par un courant inverse à température beaucoup moins élevée. Soit par l'effet de la direction des côtes américaines, soit surtout par l'influence de la rotation de la terre et par l'influence des vents d'ouest dominant aux latitudes moyennes, le Gulf-stream incline graduellement vers l'est, puis court franchement à l'est et vient s'étaler sur les côtes occidentales de l'Europe, qu'il enveloppe dans toute leur étendue.

Dans ce long parcours, les eaux du Gulf-stream se refroidissent graduellement, mais avec une grande lenteur. Leur température est, au maximum, de 30 degrés à leur sortie du golfe du Mexique. Le capitaine Duchesne, d'un vapeur Transatlantique, voulut bien, dans une de ses traversées, prendre, à notre prière, quelques températures de ce courant aux latitudes moyennes. Le 11 novembre 1865, à huit heures du soir, étant par 40° 25' de latitude nord et par 70° 5' de longitude ouest, il trouva pour température de la mer 15°, celle de l'air étant de 4°. Le lendemain, 12, à neuf heures du matin, étant par 40° 56' de latitude nord

et par 67° 15' de longitude ouest, il trouva pour température de la mer 21°, celle de l'air étant toujours de 4°. « La mer fumait comme une chaudière en ébullition, » nous écrivait le capitaine Duchesne. La vitesse du courant était d'environ un kilomètre par heure. Tous nos vents d'ouest et de sud-ouest ont parcouru la surface de ces eaux chaudes; ils s'y sont attiédés, mais, en même temps, ils s'y sont chargés de vapeur.

Arrivé sur les côtes d'Europe, le Gulf-stream se partage en deux branches : l'une descend vers les côtes d'Espagne et retourne au courant équatorial, l'autre longe les côtes de Norvège. Le parcours de cette dernière branche est nettement accusé par l'élévation vers le nord des lignes d'égale température annuelle et surtout des lignes d'égale température de l'hiver. Son influence reste sensible jusqu'au pôle, où de Haven, Penny, Kane ont constaté l'existence d'une mer libre entourée d'une ceinture de glaces.

Cet afflux d'eaux chaudes vers le pôle doit donner lieu à un contre-courant d'eaux froides qui, descendant du nord vers des parallèles à plus grand rayon, tend toujours à porter vers l'ouest. Entre les côtes de Norvège d'une part, et, d'autre part, celles du Groënland et du Canada, le Gulf-stream est bordé, particulièrement sur sa rive gauche ou occidentale, par des courants froids. Ces courants s'étendent jusque sous le Gulf-stream, qui coule ainsi sur un lit creusé dans leurs eaux; et, dans la mer des Antilles, des mouvements verticaux viennent en certains points porter les eaux fraîches du fond jusqu'à la surface. Dans les mers très-froides, au contraire, les eaux chaudes, opérant la fusion des glaces polaires, donnent lieu à des eaux peu chargées de sel et plus légères malgré leur température moins élevée. Le Gulf-stream plonge alors au-dessous de ces eaux froides, comme il plonge sous les glaces polaires avant d'arriver à la mer libre. Un effet de ce genre se produit dans le détroit de Davis. Le courant polaire y est superficiel et glisse à la surface du courant du sud-ouest. La rigueur du climat du nord-est de l'Amérique et celui du

Groënland est accrue par ces eaux froides, tandis que le nôtre est adouci par le Gulf-stream.

59. Courants de l'Atlantique sud. — L'Atlantique sud n'est pas fermé vers sa partie polaire comme l'Atlantique nord; d'ailleurs, la branche du courant équatorial qui descend le long des côtes orientales de l'Amérique méridionale contient des eaux peu abondantes. La circulation y est donc moins nette; elle y est également moins connue. L'inclinaison vers le sud des lignes isothermes dans la partie occidentale de cet océan, leur inclinaison vers le nord dans sa partie orientale témoignent cependant que là prédominent les eaux chaudes descendant de l'équateur vers le sud; qu'ici, au contraire, prédominent les eaux froides affluant des pôles vers l'équateur. Entre ces deux régions et vers le parallèle de 40° , les eaux portent généralement de l'ouest à l'est comme la moyenne des vents.

60. Courants du Pacifique nord. — Le Pacifique nord offre une certaine analogie avec l'Atlantique nord. Il en diffère cependant par plusieurs points importants. Sa partie équatoriale est très-étendue; et rien n'y met obstacle à la dérive des eaux vers le sud, tandis que l'Amérique du sud concentre dans l'Atlantique nord la plus grande partie des eaux du courant équatorial de cet océan. D'un autre côté, le Pacifique est très-incomplètement fermé à l'ouest par l'Australie et les îles de l'Archipel de la Malaisie. Une partie des eaux du courant équatorial peut donc pénétrer dans la mer des Indes et quitter l'océan Pacifique. On rencontre cependant dans la partie occidentale du Pacifique nord un courant analogue au Gulf-stream. Ce courant, qui longe à distance les côtes de la Chine et celles du Japon, est appelé par les Japonais *Kuro-Sivo*, courant noir, à cause du bleu foncé de ses eaux, analogue à celui du Gulf-stream. Le Kuro-Sivo suit de loin les côtes qui bordent l'Océan au nord, puis il redescend

vers le sud près des côtes occidentales de l'Amérique septentrionale. Les habitants des îles Aléoutiennes, qui ne possèdent aucune espèce d'arbre, n'ont pour construire leurs canots et pour leurs usages domestiques d'autre bois que ceux jetés par la mer sur leurs côtes. Parmi ces bois, se rencontrent souvent des débris de camphriers et d'autres arbres de la Chine et du Japon.

CHAPITRE VIII.

PERTURBATIONS ATMOSPHÉRIQUES.

OURAGANS. — ORAGES.

61. Tempêtes tropicales, cyclones. — La circulation atmosphérique, telle que nous l'avons résumée dans son ensemble, chapitre VII, est fréquemment troublée, surtout aux latitudes moyennes, par des phénomènes accidentels plus ou moins étendus.

Les perturbations atmosphériques, telles que les orages, les tourbillons de vent, sont à peu près l'état normal dans la zone des calmes équatoriaux; mais ces orages, souvent très-violents, sont toujours circonscrits et peu durables.

Dans les deux zones des alizés, la constance du vent et du ciel est au contraire l'état habituel; mais, quand des perturbations s'y produisent, elles y acquièrent une incomparable violence. Il n'est personne qui n'ait lu quelque relation des désastres causés par les ouragans des Antilles, par les typhons de l'Inde, qu'un caractère constant, commun aux uns et aux autres, a fait nommer *cyclones*, du grec *cuclos*, cercle.

Le cyclone est constitué par une masse d'air considérable animée d'un mouvement de rotation très-rapide autour d'un axe presque vertical. C'est un gigantesque tourbillon de vent dont nos trombes sont une imitation sur une très-petite échelle. La rotation a constamment lieu, dans notre hémisphère, de l'ouest à l'est en passant par

le sud. Dans l'hémisphère opposé elle a lieu en sens contraire.

Les cyclones prennent naissance dans la zone des calmes équatoriaux, à l'époque où cette zone tend à rétrograder à la suite du soleil. Une fois formés, ils vont presque toujours en s'éloignant de l'équateur. Dans l'Atlantique nord, ils montent à peu près parallèlement aux côtes nord du Brésil, passent en vue des Antilles qu'ils atteignent et ravagent trop fréquemment, s'approchent des côtes méridionales des États-Unis, s'y redressent vers le nord, puis vers le nord-est en suivant à peu près le cours du Gulf-stream; ils inclinent ensuite comme ce fleuve océanien pour courir dans l'est et abordent finalement l'Europe à des latitudes plus ou moins élevées. Leur diamètre initial varie de 250 à 400 kilomètres; vers la fin de leur course, après huit ou dix jours de durée, ils s'étalent sur une superficie de 1500 à 2000 kilomètres de diamètre. Leur énergie s'est affaiblie en raison de leur accroissement d'étendue. La figure 17 nous montre la trajectoire d'un de ces météores.

Leur vitesse de translation varie de 15 à 45 kilomètres par heure; leur vitesse de rotation est également variable d'un tourbillon à l'autre et suivant la distance au centre. Au centre même, règne souvent un calme complet, interrompu quelquefois par de violentes rafales avec sauts brusques de vent. La force du vent augmente graduellement à mesure qu'on s'éloigne du centre jusqu'à une certaine distance où elle est maxima, et au delà de laquelle elle décroît de nouveau. Mais cette force n'est pas la même tout autour et à égale distance du centre. Sur une partie du disque tournant, sur la droite de la route suivie par le centre, les vitesses de rotation et de translation sont de même sens et s'ajoutent : c'est le *côté dangereux des cyclones*. Dans la moitié opposée, les deux vitesses sont de sens contraires et se retranchent : c'est le *côté maniable*.

A l'arrivée des cyclones dans nos parages, la vitesse apparente du vent est très-faible sur le côté maniable dirigé

le plus souvent vers le nord, là où les vents devraient souffler d'entre S. E. et N. E. La vitesse du vent est au

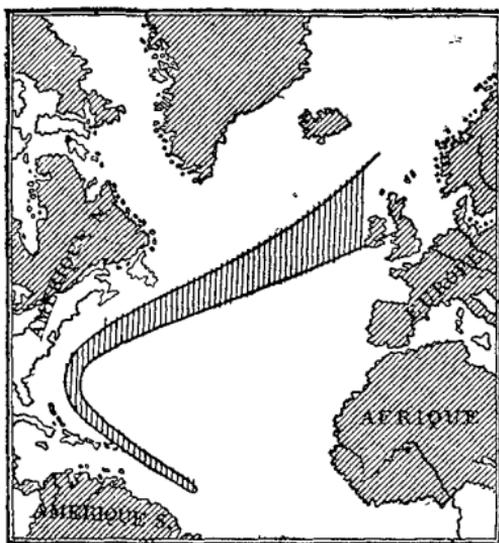


Fig. 17.

contraire considérable sur le côté dangereux dirigé d'ordinaire vers le sud, là où les vents soufflent d'entre S. O. et N. O. C'est ce qui, pendant longtemps, a fait méconnaître le caractère de rotation propre à ces grandes tempêtes dans leur passage sur notre continent. La direction du vent maximum change du reste avec la direction de la route parcourue par le centre du cyclone.

62. Tempêtes d'Europe. — Les tempêtes d'Europe dues à des cyclones, parvenus de la région équatoriale de l'Atlantique jusqu'à nous, sont relativement rares. Nos tempêtes sont au contraire fréquentes; la plupart ont donc une autre origine. Toutes, cependant, revêtent le même caractère de tourbillonnement. Une circonstance en effet domine tous les troubles de l'atmosphère : c'est l'inégale vitesse de rotation des points du globe situés à des lati-

tudes différentes, inégale vitesse dont nous avons déjà signalé l'influence sur les directions successives des vents qui parcourent la surface terrestre.

Imaginons qu'en un point de la surface du globe, Paris, par exemple, il se produise une brusque condensation de vapeur et une sorte de vide résultant de cette condensation. L'air affluera de toutes les directions vers ce point d'appel. Mais l'air venu du nord, gagnant des parallèles où la vitesse va croissant, inclinera vers l'ouest, au lieu de converger directement vers le point central. L'air venu du sud, gagnant au contraire des parallèles dont la vitesse va en décroissant, inclinera vers l'est : il s'établira autour du point central un mouvement de tourbillonnement, marchant de l'ouest à l'est par le sud, comme dans tous les grands tourbillons de notre atmosphère.

D'un autre côté, quand un courant d'eau pénètre dans un bassin tranquille, on voit, des deux côtés du courant, naître des tourbillons dont le sens de rotation, déterminé par le courant, est opposé sur les deux rives. Or le courant équatorial règne très-fréquemment à la surface du Gulf-stream, parce que la chaleur de ses eaux empêche le contre-alizé supérieur d'y descendre aussi rapidement qu'à la surface des eaux voisines et de retourner aussi vite se perdre dans l'alizé. Sur les deux rives de ce courant, des tourbillons d'air tendront à se produire. Considérons d'abord sa rive gauche; elle confine des régions traversées par le contre-courant froid descendu des régions polaires, les côtes des États-Unis du nord, du Canada, du Groënland, dont la température est très-basse en hiver. Les tourbillons formés, dont la rotation a lieu de l'ouest à l'est par le sud, amèneront nécessairement un mélange de masses d'air inégalement chaudes et humides et détermineront des condensations de vapeur d'eau. Ces condensations, à leur tour, produiront un appel d'air du nord et du sud, et les inégalités de vitesse vers l'est, tendant par elles-mêmes à engendrer un mouvement tournant de même sens, leur action s'ajoutera à la première et entretiendra

l'effet commencé. En même temps qu'il tournera sur lui-même, le tourbillon progressera vers l'est entraîné par le courant équatorial. La plupart de nos tempêtes naissent ainsi sur la rive gauche ou septentrionale du Gulf-stream, dans les parages des États-Unis, de Terre-Neuve, de l'Islande, et nous arrivent ainsi toutes formées de la surface de l'Atlantique. Il est très-rare que le courant équatorial règne depuis quelques jours sur l'Europe ou seulement sur l'Atlantique, sans que nous voyions survenir des mouvements tournants plus ou moins nettement accusés, plus ou moins intenses.

Sur la rive droite ou méridionale du courant équatorial, des tourbillons inverses tendent à se produire; mais, d'une part, l'inégalité des températures et des vitesses est moindre que sur la rive opposée; d'autre part le tourbillon produit serait de sens inverse à celui que l'afflux des masses d'air du nord et du sud tend à engendrer. Ces tourbillons disparaîtront donc rapidement, ou se transformeront en tourbillons directs. On voit seulement la masse d'air comprise dans la concavité de l'orbe décrit par le courant équatorial, tourner lentement sur elle-même dans le sens de la circulation du courant qui la borde de toutes parts.

65. Circulation verticale de l'air dans les tourbillons. — Les tourbillons produits dans une masse d'eau sont accompagnés d'une dépression très-marquée de la surface liquide en leur centre. La force centrifuge née de la rotation porte le liquide, du centre où il se déprime, sur le pourtour où il se surélève d'une quantité correspondante. Un effet analogue se produit dans l'air; mais au lieu d'un changement de niveau des surfaces, on constate une diminution, souvent très-considérable, dans la hauteur de la colonne barométrique dans les environs du centre de rotation, tandis que, sur le pourtour du disque tournant, le baromètre est au contraire surélevé. La carte, fig. 18, nous donnera une idée de la manière dont les pressions barométriques sont réparties tout autour du

centre qui se trouvait le 18 novembre 1864, à huit heures du matin, dans le voisinage de Liverpool. Chacune des

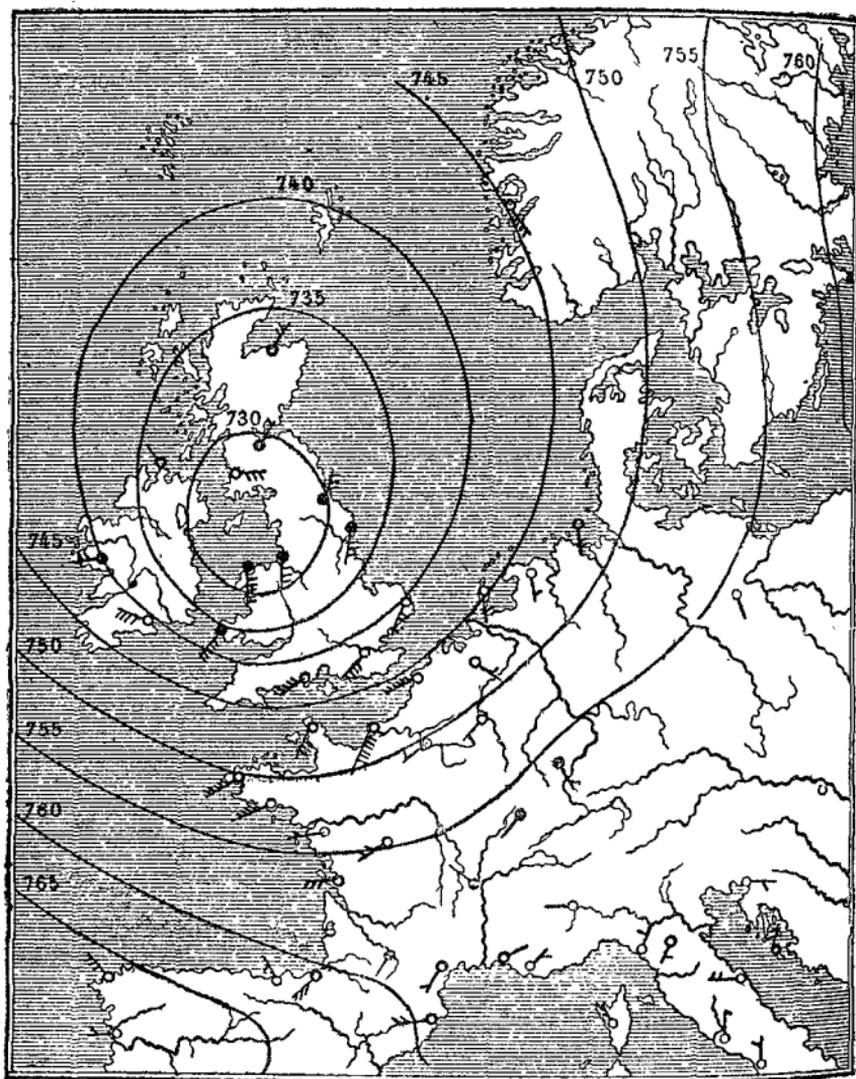


Fig. 8

lignes concentriques passe par les points où le baromètre avait même hauteur ; ce sont en quelque sorte des lignes

de niveau portant leur cote individuelle. A Liverpool la hauteur du baromètre était de 727 millimètres; en s'éloignant de ce point dans toutes les directions, la pression augmentait. Elle se trouvait déjà de 755 millimètres, sur une ligne passant près de Rochefort, puis s'élevant au nord de Besançon, de Metz, de Leipzig, et traversant la Suède du sud au nord.

Le vide qui se produit ainsi dans l'axe d'un tourbillon détermine un appel d'air à ses deux extrémités comme dans un gigantesque ventilateur. Cette aspiration est entièrement libre à l'extrémité supérieure de l'axe; à son extrémité inférieure qui avoisine le sol elle est au contraire gênée. L'air est donc en général descendant dans l'axe d'un tourbillon. De l'axe il est refoulé sur le pourtour par la force centrifuge. Là il prend une direction ascendante pour fournir à l'alimentation du courant axial. C'est à cette ascension de l'air produite par les mouvements tournants que sont dues les pluies qui les accompagnent invariablement; c'est à elle aussi que sont dus nos orages.

CHAPITRE IX.

VAPEURS ET NUAGES.

64. Vapeur d'eau. — L'air contient toujours une certaine quantité de *vapeur d'eau*, alors même qu'il nous paraît le plus sec. Tant que cette vapeur conserve l'état gazeux, elle est invisible et ne trouble pas la transparence de l'atmosphère, bien qu'elle ait la plus large part dans l'absorption des rayons solaires avant leur arrivée jusqu'à nous. Mais souvent elle prend l'état liquide sous forme de globules très-fins, creux ou pleins, qu'on nomme *vésicules* ou *globules*. La réunion de ces globules en masses diffuses et peu denses forme ce que l'on nomme vulgairement *les vapeurs* qui jettent un voile blanchâtre sur le ciel. Quand la concentration est plus accentuée, et qu'elle est vue à distance, elle constitue un *nuage*. Au milieu du nuage même on n'a que l'apparence d'un *brouillard*. Le nuage et le brouillard humide ne diffèrent, en effet, l'un de l'autre qu'en ce que le premier est élevé dans l'atmosphère tandis que le second repose sur le sol. En s'élevant, dans l'air, le brouillard devient nuage sans changer en rien de nature.

Souvent, cependant, surtout dans les pays froids, les brouillards ou nuages sont formés, non par de la vapeur condensée en globules, mais par des cristaux de glace excessivement ténus.

Que les globules de vapeur condensée se réunissent en gouttes plus volumineuses, on a de la *bruine* ou de la *pluie*;

que les cristaux de glace prennent de l'extension, on a de la *neige*; que les flocons de neige soient roulés par le vent, on a du grésil; que ces grains de grésil se forment dans une atmosphère chaude brusquement refroidie par une tempête orageuse, le grésil devient *grêle*.

Que la condensation de la vapeur, au lieu de s'opérer dans le sein même de l'atmosphère, s'effectue à la surface des objets terrestres, nous aurons de la *rosée* par une température supérieure à zéro; de la *gelée blanche* ou du *givre* par une température inférieure à zéro.

65. Degré hygrométrique de l'air. — Il convient de distinguer avec soin la quantité réelle de vapeur d'eau, à l'état gazeux, contenue dans un espace donné de l'atmosphère, de ce que l'on nomme ordinairement *degré d'humidité* ou *degré hygrométrique* de l'air. Ce degré a pour mesure le quotient que l'on obtient en divisant le poids de la vapeur réellement contenue dans l'air, par le poids de vapeur que cet air contiendrait au maximum, ou s'il était saturé. L'air paraît d'autant plus sec que son degré hygrométrique est plus faible; il paraît d'autant plus humide que son degré hygrométrique est plus élevé et plus près de l'unité. Mais cet état de sécheresse ou d'humidité n'est pas directement lié avec la quantité de vapeur réellement contenue dans l'air. Un même volume d'air peut, en effet, renfermer, au maximum, des quantités de vapeur gazeuse variables et croissantes avec sa température, ainsi que le fait voir le tableau suivant.

Poids de la vapeur contenue au maximum dans un mètre cube d'air.		Poids de la vapeur contenue au maximum dans un mètre cube d'air.	
Température.	Grammes.	Température.	Grammes.
— 20°.....	1,54	20°.....	17,18
— 15°.....	2,12	25°.....	22,52
0°.....	5,40	30°.....	29,38
5°.....	7,27	35°.....	38,09
10°.....	9,74	40°.....	49,16
15°.....	12,99	45°.....	62,74

Toutes les fois qu'un mètre cube d'air à 15 degrés, par exemple, renferme 12^s,99 ou, nombre rond, 13 grammes de vapeur d'eau, il est saturé. Il peut en avoir moins, il ne peut en garder davantage. S'il n'en possède que 6,5, la moitié de 13, il est dit à moitié saturé; sa fraction de saturation, ou son degré hygrométrique est de 0,5, ou de 50 en prenant le degré de saturation égal à 100 au lieu de 1. Mais, on le voit, l'air à demi saturé à la température de 15° renferme encore plus de vapeur que de l'air saturé à 0°, car celui-ci ne peut en retenir plus de 5^s,4. De l'air très-humide en hiver peut donc renfermer moins de vapeur d'eau que de l'air très-sec en été.

66. Brouillards. — Si nous prenons de l'air, même très-sec, et que nous le refroidissions graduellement, il arrivera un moment où sa vapeur sera parvenue à son degré limite; l'air est alors à la *température de son point de rosée*; à une température un peu plus basse, l'air ne pourra plus garder toute sa vapeur; une partie se condensera en globules aqueux restant en suspension dans l'atmosphère; la transparence de l'air en sera troublée, il s'y sera produit un brouillard. Ainsi, un mètre cube d'air à 45° a besoin de 62^s 7 de vapeur pour en être saturé; s'il n'est saturé qu'au dixième, il n'en contiendra que 6^s 27. Refroidissons cet air à 0° sans lui permettre de se contracter, le mètre-cube d'air à 0° étant saturé par 5,4 de vapeur, 0^s 87 de vapeur sur 6,27 se seront condensés. La condensation de la vapeur aura d'ailleurs lieu d'autant plus tôt que l'air était primitivement plus humide. Dans les lieux naturellement humides, des brouillards pourront se former presque toutes les nuits; dans les endroits plus secs ils n'apparaîtront qu'aux époques où l'humidité est accrue par l'influence des vents ou de la saison; dans d'autres ils ne se montrent que d'une manière exceptionnelle.

Les vents d'entre S. et O. sont favorables en France à la production des brouillards, parce que ces vents sont humides. Les vents de N. ou N. E. les produisent très-sou-

vent à leur début en hiver, lorsqu'ils pénètrent dans une atmosphère relativement tiède et humide qu'ils refroidissent; s'ils durent ou prennent de la force, le brouillard disparaît.

Pour une raison un peu différente, les vallées entourées de hauts plateaux sont plus fréquemment couvertes par le brouillard que les plaines largement ouvertes. Le refroidissement nocturne est rapide sur les lieux élevés, et l'air, devenu plus dense par le froid, glisse le long des pentes vers les lieux les plus bas. Dans ceux-ci, la température de l'air descend promptement au-dessous de la température du sol; et cet air est déjà saturé de vapeur que le sol lui en fournit encore. L'effet est surtout prononcé dans les vallées arrosées par des cours d'eau.

A mesure que le Gulf-stream s'avance vers le nord, sa température baisse beaucoup moins rapidement que celle des régions atmosphériques sous lesquelles il s'avance. Il fournit à l'air plus de vapeur que celui-ci n'en peut contenir; de là les brouillards épais et persistants qui couvrent les mers du nord, y rendent la navigation très-laborieuse et les atterrages du Canada très-dangereux. Ces brouillards s'étendent jusque sur l'Irlande, sur l'Angleterre, et quelquefois jusque sur la plus grande partie de l'Europe quand les vents les y poussent.

67. Nuages. — Souvent, dans les pays montagneux, on voit, des points élevés, les vallées couvertes le matin d'un épais brouillard semblable à une grande nappe d'eau d'où les pics se dégagent comme des îles au milieu de l'Océan. Quand le soleil monte au-dessus de l'horizon, la surface brumeuse devient tourmentée; des vallées s'y creusent, d'immenses vagues s'y élèvent; puis des lambeaux s'en détachent, montent le long des flancs des montagnes, et constituent enfin de véritables nuages isolés dans l'atmosphère.

Dans d'autres circonstances, des courants d'air échauffé par son contact avec le sol s'élèvent dans l'atmosphère,

emportant avec eux une quantité notable de vapeur. A mesure qu'il monte, l'air moins comprimé se dilate; en se dilatant il se refroidit avec une vitesse de 1° par 150 ou 200 mètres d'élévation; en sorte qu'à une hauteur de 1500 à 2000 mètres sa température a baissé de 10° . Il arrive donc qu'à une certaine altitude il ne peut plus garder à l'état gazeux toute la vapeur qu'il contenait: cette vapeur se condense en globules, il se produit un de ces nuages aux formes arrondies et mamelonnées si fréquents en été. Toutes les îles des régions intertropicales des grands océans sont surmontées pendant le jour par des amas de ces nuages qui permettent aux navigateurs de reconnaître au loin leur existence. L'île s'échauffant plus fortement que la mer donne lieu aux courants ascendants dont nous parlions plus haut.

Ce mouvement ascensionnel se fait sur une grande échelle dans la nappe équatoriale ascendante; aussi les nuages y sont-ils perpétuels.

Les nuages se forment encore fréquemment sur la surface de séparation de deux courants d'air inégalement chauds et humides. C'est ainsi que les vents N. ou N. E. soufflent encore à la surface du sol, que déjà on voit des nuages élevés se former et courir de S. ou S. O. à N. ou N. E., accusant l'apparition du courant équatorial dans les hauteurs de l'atmosphère. Dans une circonstance inverse, l'arrivée d'un vent de N. froid dans une région précédemment tiède et humide couvre tout le ciel d'un épais rideau de nuages plus ou moins bas, formés tantôt de globules aqueux, tantôt de fins cristaux de glace.

Les globules d'eau ou les paillettes de glace sont plus denses que l'air et tendent à tomber vers le sol; mais leur vitesse de chute est très-faible. Si la masse d'air dans laquelle ils se meuvent monte avec une vitesse plus grande qu'ils n'y descendent, la masse entière paraît monter. D'un autre côté, à mesure que le nuage descend, il pénètre dans des couches plus chaudes et peut s'y dissoudre. Dans ce cas, le nuage tombe réellement, mais il disparaît graduellement à une certaine hauteur, et, de loin, il nous paraît immobile.

68. Diverses formes des nuages. — Rien n'est changeant comme la forme et l'aspect des nuages. On en distingue cependant trois grandes classes présentant entre elles des transitions qui ont fait multiplier les dénominations sans utilité bien sérieuse. Nous indiquerons seulement les principales.

Les CIRRUS (*queues de chat* des marins) se composent de

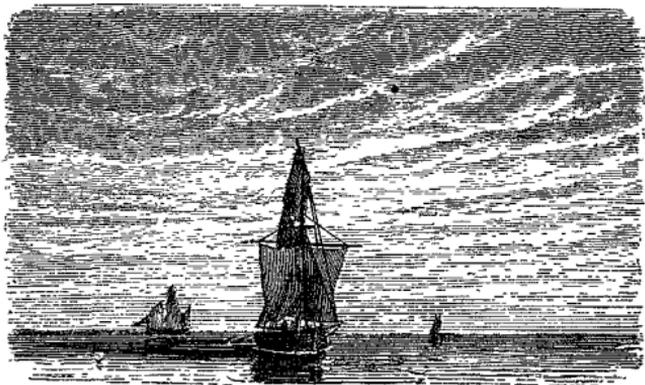


Fig. 19. Cirrus.

filaments déliés et transparents ressemblant à des barbes de plume ou à un réseau léger et inégal. Ce sont les nuages les plus élevés. Ils sont formés, non par des globules ou par des vésicules d'eau, mais par des cristaux de glace. On les retrouve même dans les régions les plus chaudes.

Dans nos climats, les cirrus accompagnent d'ordinaire le retour des vents de S. O. Leur marche y est généralement de S. O. Mais elle paraît très-lente à cause de leur grande hauteur; souvent même elle semble renversée par la comparaison qu'on en fait involontairement avec des nuages plus bas dont les vitesses apparentes sont plus grandes.

Lorsque le vent de S. O. annoncé par les cirrus gagne peu à peu les régions inférieures de l'atmosphère, les cirrus deviennent de plus en plus denses. Ils passent à l'état de *cirro-stratus* qui se montrent d'abord sous la forme

d'une masse semblable à du coton cardé dont les filaments seraient étroitement entrelacés. Leur blancheur se fond petit à petit dans une teinte grisâtre correspondant à la fusion des aiguilles de glace et à leur transformation en vapeur vésiculaire; ils s'abaissent en même temps, et la pluie ne tarde généralement pas à tomber.

Plus rarement, les *cirro-cumulus* succèdent au cirrus. Ces nuages, qui donnent au ciel un aspect pommelé, sont composés, comme les cirro-stratus, de vapeur vésiculaire. Ils n'indiquent pas une pluie aussi prochaine que les cirro-stratus.

Les CUMULUS ou nuages d'été (*balles de coton* des ma-

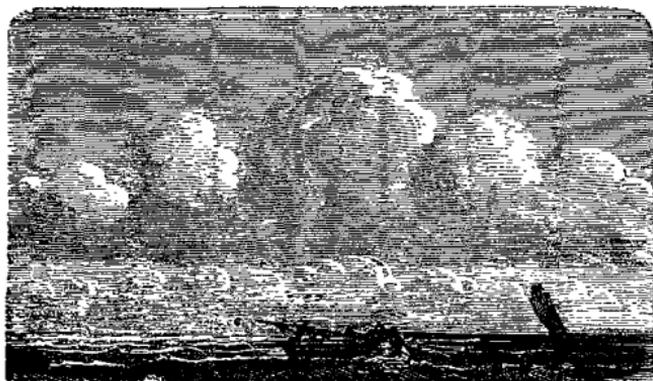


Fig. 20. Cumulus.

rins) sont le produit des courants ascendants, généraux ou locaux. Leur hauteur est très-variable, toujours moindre cependant que celle des cirrus. C'est dans les beaux jours de l'été que leur forme est le mieux caractérisée dans nos climats. Lorsque le courant de S. O. est peu éloigné de nous, on voit souvent le soleil se lever dans un ciel serein; puis, vers huit heures du matin, quelques nuages se montrent. Petits et rares d'abord, ils semblent croître de l'intérieur à l'extérieur; ils grossissent, s'accroissent et forment des masses toujours cir-

conscrites entassées, comme des montagnes, les unes sur les autres. Leur hauteur est assez faible le matin; ils montent jusqu'au moment de la plus forte chaleur, puis redescendent le soir. Souvent, dans les pays de hautes montagnes, le voyageur les voit au-dessous de ses pieds le matin; plus tard il se trouve enveloppé par eux comme par un épais brouillard; plus tard encore il les voit planer sur sa tête. L'inverse a lieu dans la soirée.

Les cumulus indiquent, dans nos climats, l'existence peu éloignée du courant du S. O. et un temps assez incertain. Au lieu de disparaître le soir, souvent ils deviennent plus nombreux et plus denses et constituent les *cumulostratus*. Leurs bords sont moins brillants, leur teinte plus foncée, surtout s'il existe au-dessus d'eux une couche de cirrus. Le courant équatorial est plus près de nous, l'air plus humide, la chaleur plus pénible: la pluie ou les orages deviennent imminents.

Les STRATUS sont de longues bandes de nuages s'éten-

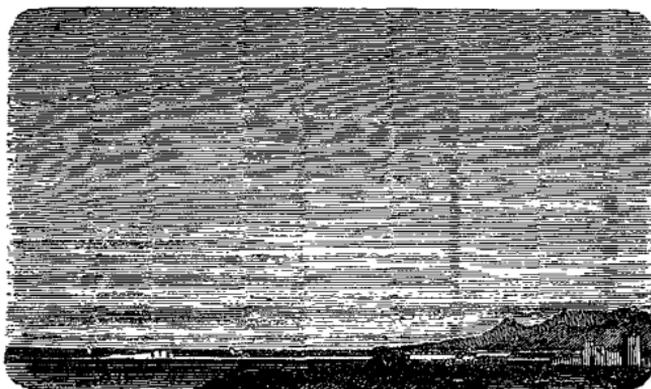


Fig. 21. Stratus.

dant à l'horizon, au coucher du soleil et quelquefois à son lever. Ce sont des couches de nuages que la perspective montre par leur tranche. Alors qu'ils sont formés par des vapeurs légères presque invisibles des lieux au-

dessus desquels ils sont placés, vus à l'horizon, ils ont une densité apparente assez considérable. Des cumulus ainsi vus de loin par la tranche produisent un effet semblable, en conservant toutefois une apparence mamelonnée. Il en serait de même des cirrus, des cirro-cumulus. Les cumulo-stratus doivent à leur faible altitude une partie de l'aspect qu'ils présentent. Le stratus est donc une apparence plutôt qu'une forme particulière de nuages.

Tout nuage bas se résolvant en pluie, ou près de le faire, est un NIMBUS.

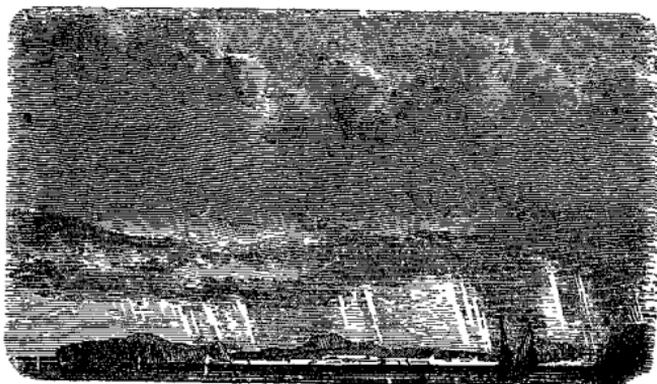


Fig. 22. Nimbus.

69. Rosée. — Pendant les nuits sereines, la surface terrestre ou les objets qui la recouvrent se refroidissent plus rapidement que l'air, de même qu'ils s'échauffent plus rapidement pendant le jour. Il n'est pas rare de voir, un peu avant le lever du soleil, un thermomètre couché sur l'herbe, dans un champ bien découvert, marquer 5 ou 6 degrés au-dessous de la température donnée par un thermomètre suspendu à 1 mètre plus haut, et, par suite, marquer 10 ou 12 degrés au-dessous d'un thermomètre suspendu à une fenêtre dans les rues d'une grande ville. Il arrivera donc souvent que la mince couche d'air qui touche directement aux objets terrestres, se trouvera descendue à une température inférieure à celle où elle pourrait conserver toute sa

vapeur, ou, comme on dit généralement, rester inférieure à son point de rosée, tandis que les couches d'air un peu plus élevées n'auront pas atteint cette limite. Il n'y aura pas formation de brouillard; l'air restera transparent; mais de la vapeur d'eau se condensera sur les objets, exactement comme il arrive en été à la surface d'une carafe d'eau froide qu'on introduit dans une atmosphère chaude et humide. Un semblable dépôt a souvent lieu à la surface des vitres des appartements quand, au dehors, le temps est froid. Pareil effet se produit encore à la surface des murs en hiver lorsqu'il survient un brusque dégel. La cause en est toujours la même: la présence au sein de l'air, d'un corps dont la température est plus basse que celle qui amènerait la saturation de cet air. Le dépôt nocturne de vapeur d'eau condensée à la surface des corps terrestres se nomme *rosée*.

La rosée est d'autant plus facile à produire, que, l'air étant naturellement plus humide, l'abaissement de température nécessaire est moins grand. Elle est d'autant plus abondante que le corps se refroidit plus aisément, c'est-à-dire qu'il perd plus facilement sa chaleur par rayonnement; qu'il en prend moins au sol par voie de conductibilité; que le ciel est plus pur, l'air plus calme, l'horizon plus étendu.

Dans les pays méridionaux, le ciel est généralement d'une pureté à peu près inconnue sous le climat de Paris; le refroidissement nocturne y est très-actif pour les objets terrestres, la rosée s'y produit fréquemment, et le désert même a ses rosées qui suppléent un peu à la rareté des pluies. En France, les rosées sont encore très-fréquentes sur les bords de la mer et dans les lieux humides; elles sont assez rares dans l'intérieur du pays, si ce n'est au printemps et surtout en automne.

70. Gelée blanche, givre. — Que les objets terrestres descendent pendant la nuit à une température inférieure à zéro, la rosée deviendra *gelée blanche*. La vapeur, en se

condensant lentement, cristallisera en fines aiguilles entrelacées qui, en réfléchissant la lumière dans tous les sens, reproduiront la blancheur de la neige.

Le givre est une sorte de gelée blanche produite pendant le jour. Qu'un corps se recouvre de gelée blanche pendant la nuit, le dépôt se continuera pendant le jour si la température reste basse et l'air près de son point de saturation, alors même que le corps et l'air auraient même température. Le même effet pourra se produire encore si un objet, sans avoir reçu de gelée blanche, renferme par lui-même une certaine dose d'humidité pouvant cristalliser par le froid.

La pluie tombant sur un sol gelé produit le *verglas*.

CHAPITRE X.

PLUIE ET NEIGE.

71. Pluie. — Les globules de vapeur d'eau condensée, qui constituent généralement les nuages et les brouillards, obéissent aux mouvements de l'air qui les entoure. Quand plusieurs d'entre eux viennent à se rencontrer, ils se fondent en un seul, d'un poids égal à la somme de leur poids, et dont la vitesse de chute se trouve par cela même augmentée. Le globule grossi, descendant plus vite que les autres, rencontrera sur son passage un certain nombre de ces derniers, qu'il réunira à sa propre masse pour former une goutte d'eau ou *goutte de pluie*.

Les gouttes de pluie s'accroîtront ainsi avec rapidité tant qu'elles seront comprises dans l'intérieur du nuage. Une fois sorties de ce milieu, elles continuent à croître avec lenteur, ou diminuent au contraire de volume, suivant les circonstances.

A leur sortie du nuage, elles ont une température à très-peu près égale à celle du nuage ; mais, dans leur chute, elles traversent des couches atmosphériques de plus en plus chaudes.

Si la température de la goutte de pluie est inférieure au point de rosée de la couche d'air traversée, de la vapeur d'eau se déposera sur la goutte, dont le poids augmentera, mais dont la température montera d'une manière encore plus rapide. La vapeur d'eau, en se condensant, dégage, en effet, une quantité considérable de chaleur. Il suffit

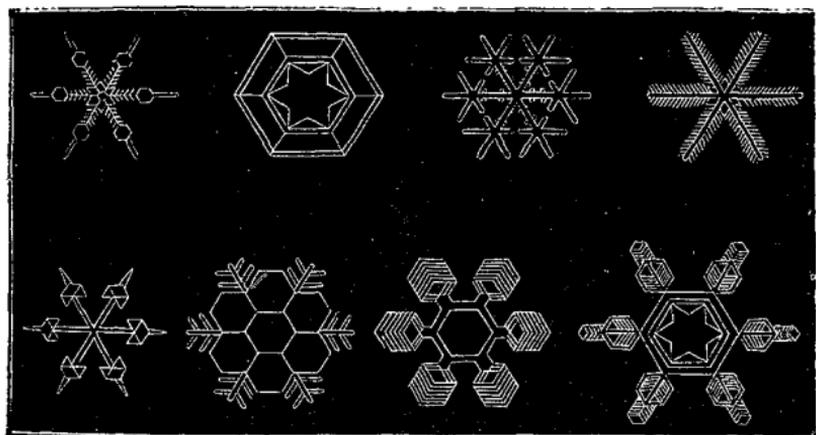
que le volume d'une goutte de pluie s'accroisse d'un cinquante-sixième environ, par condensation de vapeur à sa surface, pour que sa température monte de 10 degrés.

Si, au contraire, la goutte de pluie a une température supérieure au point de rosée des couches d'air qu'elle traverse, elle s'y évapore en partie. Cette évaporation tend à la refroidir, comme la condensation la réchauffe; mais la chaleur propre aux couches d'air traversées vient neutraliser en partie ce refroidissement, en sorte que les gouttes de pluie pourront tantôt s'accroître, tantôt diminuer de volume, suivant la variation de la température avec la hauteur et le degré d'humidité de l'air; mais elles diminueront plus souvent qu'elles n'augmenteront; et, dans ce dernier cas même, leur accroissement est toujours très-faible. Elles doivent donc sortir du nuage toutes formées, et souvent on les voit disparaître dans l'air avant d'atteindre la surface du sol.

Généralement il tombe plus d'eau sur les montagnes que dans les plaines circonvoisines. Ainsi, la quantité d'eau qui tombe annuellement à l'hospice du Saint-Bernard, sous forme de pluie ou de neige, est évaluée à une couche de 1^m,46 d'épaisseur, tandis qu'elle ne serait que de 0^m,75 à Genève. Cette énorme différence ne tient pas à un simple effet d'évaporation. Les vents, pour franchir les chaînes de montagnes, sont obligés de gravir leurs pentes et de s'élever plus ou moins obliquement dans les régions élevées de l'atmosphère. Pendant cette ascension, l'air se dilate par diminution de pression et se refroidit. Une partie de sa vapeur se condense en pluie ou en neige. Quand les sommets sont franchis et que l'air descend les rampes opposées, il se contracte et se réchauffe, mais il est privé d'une partie de sa vapeur d'eau et devient sec. Toutes les chaînes de montagnes dessèchent ainsi l'air pour les lieux qu'elles abritent du vent pluvieux; mais, par contre, leur versant exposé à ce vent reçoit plus d'eau que la région n'en recevrait si elle était plane.

72. Neige. — La glace fond invariablement à zéro degré; mais l'eau peut rester liquide à une température notablement inférieure, surtout quand elle est sous forme de globules très-fins en suspension dans l'air calme. Cependant, si une parcelle de glace vient à se former par l'action du froid, elle devient un centre d'appel autour duquel se juxtaposent d'autres parcelles provenant de la cristallisation de la vapeur contenue dans l'air. C'est ainsi que se produisent les flocons de neige. Souvent le vent, en agitant les flocons, les jette les uns sur les autres; plusieurs d'entre eux se réunissent en un seul, plus volumineux, mais ayant alors l'aspect de neige roulée.

Les flocons primitifs, examinés à la loupe, sont d'une délicatesse et d'une variété admirables. La figure 23 re-



‡ Fig. 23. Cristaux de neige.

présente quelques-unes de leurs formes principales. Mus-schenbrock en avait dessiné vingt-six, et ce nombre a été porté à quarante-huit par M. Scoresby, durant ses voyages aux régions polaires. La température et le degré de froid sont les causes principales de ces variétés, se rattachant toutes à l'hexagone.

La chute de la neige est très-lente, à moins qu'elle ne

soit fouettée par le vent, à cause de son faible poids et de la grande surface qu'elle présente à l'air. L'épaisseur de la couche qu'elle forme à la surface d'un sol congelé est ordinairement six fois l'épaisseur de la couche d'eau qui proviendrait de sa fusion. Le rapport des deux épaisseurs peut même s'élever jusqu'à quinze ou vingt.

La neige, en tombant, fond souvent avant d'arriver jusqu'à nous, et il n'est pas rare de voir les montagnes se couvrir de neige quand la pluie tombe dans les plaines ou les vallées. Il existe même, à toutes les latitudes, des montagnes assez élevées pour en être couvertes en toute saison, les neiges de l'hiver n'ayant pas le temps de fondre entièrement pendant la saison chaude.

Les neiges perpétuelles se rencontrent à 4800 mètres de hauteur dans les Andes situées sous l'équateur, à 2670 mètres dans les Alpes, et à 1060 mètres vers l'extrémité septentrionale de la Norvège. Leur plan s'abaisse à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur.

La couche de neige qui recouvre la terre dans la saison la plus rigoureuse de l'année empêche le sol de se refroidir autant qu'il le ferait s'il était nu : elle forme donc un abri contre la gelée des racines des plantes utiles. En fondant lentement, elle permet à l'eau qui imbibe la surface du sol de pénétrer peu à peu dans ses couches profondes et de raviver les sources naturelles. Au printemps, elle retarde la végétation ; et dans quelques pays montagneux on hâte sa fusion en répandant à sa surface un peu de terre noire. Celle-ci absorbe plus rapidement la chaleur que ne l'eût fait la neige restée blanche.

Quelquefois on a trouvé sur les hautes montagnes de nos contrées et dans les régions polaires une espèce de neige rouge. L'examen microscopique a montré que cette coloration est due à un champignon de très-petite dimension, appelé *uredo nivalis*.

La neige, roulée en petites pelotes par le vent, ou mieux par un commencement de fusion auquel a succédé un retour de froid plus vif, porte le nom de *grésil*. Le grésil

se montre surtout dans les giboulées du printemps ; il accompagne quelquefois de véritables grêlons pendant certains orages.

73. Pluies entre les tropiques. — Dans les régions des vents alizés, le ciel est généralement pur et la pluie très-rare ; elle n'y survient guère que dans certaines régions marquées par le passage des ouragans. On conçoit qu'il en doive être ainsi. L'air y progresse régulièrement des régions tropicales vers la zone du globe où la température est le plus élevée ; sa capacité de saturation va donc sans cesse en augmentant. Tout s'y réduit à des rosées nocturnes généralement très-abondantes.

L'aspect du ciel change d'une manière complète quand on approche de la zone des calmes équatoriaux qui sépare les deux alizés. Là viennent s'accumuler toutes les vapeurs amassées par les alizés dans leur long parcours à la surface de l'Océan. Ces vapeurs sont entraînées par la nappe équatoriale ascendante dans les hautes régions de l'atmosphère, où elles trouvent des températures de plus en plus basses ; elles s'y condensent en grande partie et forment cette voûte de nuages qui, vers l'équateur, entoure la terre comme d'un anneau obscur. Les marins anglais et américains le nomment *cloud ring* (anneau de nuages) ; nos marins l'appellent *pot-au-noir*. Les pluies y sont fréquentes et torrentielles, la chaleur molle et accablante, les orages nombreux et violents, le bruit du tonnerre presque incessant.

Tout ce qui ne se résout pas en pluie se déverse latéralement, entraîné par les contre-alizés. Mais ces nuages interceptent les rayons solaires ; ils s'échauffent de toute la chaleur qui, sans eux, arriverait jusqu'à la surface de l'Océan ; ils se fondent graduellement à mesure qu'ils s'écartent de l'anneau central, et quelques lambeaux seulement passent au-dessus des régions où règnent les alizés.

Les contre-alizés, chargés de cette masse de vapeur, marchant vers des latitudes où la température est de moins en moins élevée, finissent par se saturer ; et, vers les tro-

piques, nous verrons reparaître deux autres anneaux de nuages, moins continus cependant et moins abondants que dans la zone des calmes équatoriaux.

Dans cette dernière zone elle-même, les pluies ne sont pas permanentes. Les variations diurnes de la température, et surtout les mouvements de l'atmosphère qui en sont la conséquence, y produisent quelques intermittences. En mer, le ciel est assez clair le matin; souvent aussi les nuits s'écoulent sans pluie. C'est de quatre heures du matin à quatre heures du soir que l'eau tombe en plus grande abondance.

Sur les continents, la différence entre les températures du jour et de la nuit est beaucoup plus grande qu'à la surface des océans. Il en résulte des oppositions périodiquement alternantes entre la terre et l'eau. Des oscillations correspondantes, favorisées par les saillies du sol, se produisent dans les mouvements de l'atmosphère et constituent les brises alternantes. La pluie et l'orage peuvent éclater plus tard, mais alors ils se prolongent plus avant dans la nuit. Dans certaines parties du Mexique, l'orage et la pluie commencent régulièrement vers deux heures du soir, et la pluie continue jusque vers cinq heures du matin; dans d'autres, la pluie cesse pendant la nuit; dans d'autres encore, elle dure à peine quelques heures. Ces divergences résultent des rapports de position de la terre et de l'océan, de la direction des chaînes de montagnes, de la hauteur du lieu considéré, et de sa situation sur le versant exposé aux vents marins ou sur le versant contraire.

La zone des calmes équatoriaux se déplace annuellement à la surface du globe en suivant d'un peu loin la marche du soleil vers le nord ou vers le sud. La zone des pluies éprouve un déplacement semblable. Entre les limites extrêmes de son parcours, à Bogota, par exemple, il existe annuellement deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. En s'approchant de ces limites, les deux saisons pluvieuses se rapprochent l'une de l'autre, et l'une des deux saisons sèches diminue graduellement de durée. Aux li-

mites mêmes, elles se confondent en une seule saison pluvieuse alternant avec une saison sèche. Cette saison pluvieuse unique correspond à notre été vers le tropique nord, et à notre hiver vers le tropique sud.

Dans la partie de l'Amérique méridionale située au nord de l'équateur, le ciel est sans nuages depuis décembre jusqu'en février; vers la fin de février ou le commencement de mars, le bleu du ciel devient moins foncé, l'air se charge d'humidité; l'alizé souffle avec moins de force et tombe entièrement par instants. Des montagnes de nuages s'accumulent au S. S. E. et parcourent quelquefois le ciel avec une extrême vitesse; quelques éclairs sillonnent le ciel au sud: c'est un signe certain de l'approche des pluies. Le ciel se trouble et devient gris; l'après-midi, au moment où la chaleur est à son maximum, un orage éclate accompagné de fortes pluies. Au commencement, les nuages et la pluie se forment seulement pendant les heures brûlantes du jour et disparaissent le soir; à mesure que la saison avance, ils se montrent de plus en plus tôt vers le matin; puis l'heure de leur apparition rétrograde vers le soir quand la saison sèche veut reparaître¹.

A Panama, les pluies commencent dans les premiers jours de mars; elles n'arrivent guère que vers la fin d'avril sur les bords de l'Orénoque, et vers le milieu de juin à San-Blas en Californie. A la Havane, dans l'île de Cuba et à Rio-Janeiro, on est déjà sorti des limites des pluies équatoriales; les conditions climatériques y présentent plus d'analogie avec celles des hautes latitudes.

Au Sénégal, la saison des pluies dure depuis le commencement de juin jusqu'au commencement de novembre.

Dans l'Inde, le régime des pluies est sous la dépendance des moussons. La côte occidentale de la presque île est pluvieuse tant que dure la mousson du S. O., la saison

1. *Traité des mouvements de l'atmosphère*, par H. Marié-Davy.

sèche y règne pendant la mousson du E. N. La figure 24 nous montre la répartition des pluies par saisons à Anjarakandy et à Calcutta.

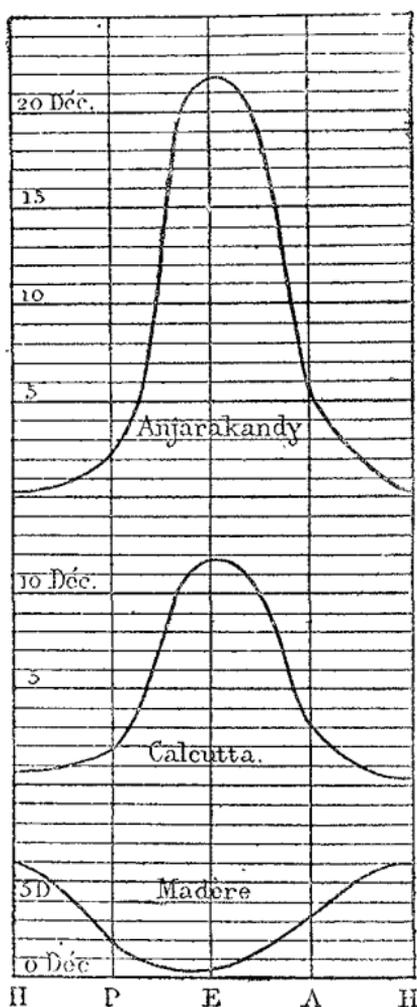


Fig. 24.

chaque saison y est désignée par son initiale; chaque interligne horizontal correspond à 1 décimètre de hauteur de pluie.

Pour la côte orientale, du Coromandel, il pleut au contraire par les vents du N. E.; mais les pluies y sont moins abondantes que sur la côte Malabar; elles ne sont plus à proprement parler dues à l'anneau de nuages, mais à l'ascension sur les plateaux de l'Inde des alizés qui se sont chargés de vapeur sur le golfe du Bengale. Une opposition semblable se retrouve sur les côtes occidentales et orientales de l'Indo-Chine.

74. Pluies en dehors des tropiques. — En dehors des tropiques, au-delà des régions alizées, nous retrouvons les deux zones des calmes tropi-

caux, là où les contre-alizés supérieurs s'abaissent vers la surface du globe pour alimenter les alizés. Cette masse d'air descendante se contracte et s'échauffe à mesure qu'elle

s'abaisse; des nuages peuvent accidentellement s'y former, mais les pluies y sont rares, surtout dans la portion qui s'incline vers le sud, dans notre hémisphère, pour se fondre dans l'alizé du N. E. Il n'en est plus de même dans la portion qui incline vers le nord pour former le courant équatorial ou du S. O. Ce dernier gagnant des latitudes de plus en plus froides, sa vapeur se condense en nuages et en pluies. Nous retrouvons ainsi une seconde zone pluvieuse au nord du tropique boréal. Une troisième, semblable à la seconde, existe au sud du tropique Austral.

Ces deux zones tropicales se déplacent à la surface du globe, comme la zone des pluies équatoriales, suivant le cours des saisons. A la limite de leur excursion vers le tropique correspondant, nous trouvons une seule saison pluvieuse, comme à Madère (fig. 24). Un peu plus loin vers le pôle, cette saison se partage en deux autres qui s'écartent graduellement l'une de l'autre, mais qui ne sont jamais séparées par une saison complètement sèche comme entre les tropiques. Tel est le cas de Montpellier (fig. 25). Les pluies se diffusent de plus en plus sur tout le cours de l'année à mesure que l'on monte vers le pôle.

Dans la figure 24 nous avons joint aux courbes des pluies intertropicales de l'Inde, celle des pluies extra-tropicales de Ma-

dère. A Madère, comme à Calcutta, nous n'avons qu'une saison sèche et une saison pluvieuse; mais on voit qu'elles sont opposées dans ces deux localités. Dans l'Inde il pleut l'été, et il en

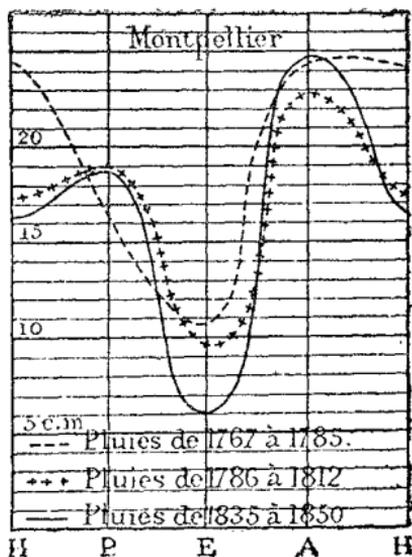


Fig. 25 .

est de même sur toute la limite nord des pluies intertropicales. A Madère, au contraire, et sur toute la limite sud de la région des pluies extra-tropicales de notre hémisphère, l'été est sec et les pluies tombent en hiver. Entre ces deux zones à pluies inverses, nous trouvons une longue bande de déserts où il ne pleut presque jamais.

75. Abondance des pluies. — Sous le rapport des quantités, les pluies donnent une hauteur totale d'eau annuelle d'autant plus grande en général, qu'on est plus rapproché de l'équateur dans la région intertropicale, ou qu'on est moins éloigné des tropiques dans les latitudes plus élevées. Toutefois, la position des lieux par rapport à la mer et à la direction du vent dominant, comme aussi la configuration du sol, exercent une grande influence sur le phénomène.

C'est surtout à la surface des mers que l'air va puiser les vapeurs qu'il répandra sur la surface des continents. Tous les vents marins sont humides ; les côtes exposées à leur action seront donc les plus mouillées : elles le seront d'autant plus abondamment que, l'air étant plus chaud, sa capacité de saturation sera plus grande, et que le refroidissement du courant aérien sera plus rapide à mesure qu'il progresse, soit parce qu'il monte vers des latitudes plus hautes, soit parce qu'il s'élève dans le sens vertical pour franchir des rampes plus fortement inclinées.

Tandis qu'à Paris il tombe en moyenne 0^m,50 ou 0^m,60 d'eau pluviale annuelle, Saint-Benoît, dans l'île de la Réunion, en reçoit plus de 4 mètres ; le mois de janvier seul en donne 0^m,74, plus qu'il n'en tombe dans toute l'année la plus pluvieuse de Paris. Dans l'Inde, la quantité annuelle varie de 2 à 3 mètres suivant les localités ; il en est de même dans l'Amérique centrale, particulièrement sur ses côtes orientales ; sur les côtes orientales de l'Afrique méridionale, jusqu'à la hauteur de Madagascar ; sur tout l'archipel de la Malaisie et sur une partie de l'Australie.

Si l'on considère que, dans ces régions, il ne pleut que

pendant un petit nombre de mois, et seulement pendant quelques heures par jour, le contraste avec les pluies de nos climats semblera plus frappant. Les gouttes d'eau sont énormes, très-serrées, et arrivent à terre avec une grande vitesse. Une seule averse peut donner de 50 à 60 millimètres d'eau, ce qui, dans nos pays, produirait de véritables désastres. Dans l'intérieur des terres, cependant, l'abondance des pluies diminue d'une manière notable. A Seringapatam dans l'Inde, et à Bogota en Amérique, elle est à peine supérieure à celle des pluies d'Europe.

Les quantités d'eau annuellement versées sur les latitudes moyennes des deux continents présentent, entre elles, des différences du même ordre que dans les régions intertropicales. Les averses y sont beaucoup moins copieuses ; mais, en quelques points, les brouillards ou les pluies sont presque continuels. On dit quelquefois en Bretagne : « Quand il pleut tous les jours, c'est trop ; quand il ne pleut que tous les deux jours, ce n'est pas assez. » C'est exagéré comme un dicton ; mais il y a loin de là au régime des pluies intertropicales.

CHAPITRE XI.

DES ORAGES.

76. Électricité de l'atmosphère. — L'atmosphère est constamment chargée d'électricité, même pendant les plus beaux temps. Le Monnier, de Saussure, Becquerel et Breschet, Peltier... l'ont démontré successivement à l'aide d'électromètres divers, et ces observations se font régulièrement plusieurs fois par jour dans les observatoires de Bruxelles, de Rome, de Naples, de Vienne, de Bude, ainsi qu'en Angleterre et aux États-Unis.

On n'obtient, en général, aucun signe d'électricité dans les lieux bas, dominés par des arbres ou par des édifices. En rase campagne, et même sur les hauts plateaux, c'est seulement à quelques mètres au-dessus du sol que ces signes deviennent sensibles; ils augmentent graduellement à mesure qu'on élève plus haut l'appareil, ou qu'on le met en rapport par des fils conducteurs avec des objets lancés à une plus grande hauteur.

Par un temps serein, quand l'atmosphère est complètement dépourvue de nuages, les signes obtenus sont constamment positifs : l'atmosphère est donc normalement chargée d'électricité positive, à la manière du verre frotté avec de la laine; par contre, le sol est électrisé négativement ou à la manière de la résine frottée avec de la laine.

On ignore les variations que peut éprouver dans sa quantité l'électricité totale de l'atmosphère; aucune expérience n'a pu être établie d'une manière permanente à

de très-grandes hauteurs; mais on sait que, dans les couches inférieures, elle subit une double oscillation diurne et annuelle, et, de plus, des oscillations accidentelles acquérant quelquefois une grande amplitude. Les oscillations diurnes sont dues au mouvement d'électricité qui s'opère avec une facilité variable des hautes régions vers la surface terrestre, combiné avec la facilité variable avec laquelle les couches inférieures se dépouillent de leur électricité par leur contact avec le sol. C'est à l'action de causes analogues que sont dues l'oscillation annuelle et la supériorité des signes électriques obtenus en hiver sur ceux qu'on observe pendant l'été. Mais les variations accidentelles sont beaucoup plus développées que les fluctuations régulières, comme il arrive d'ailleurs pour le baromètre. L'état du temps et la direction du courant aérien général ou local produisent des changements très-prononcés dans l'état électrique des couches inférieures de l'atmosphère.

Quand le ciel se couvre de nuages, le phénomène prend un tout autre caractère. Non-seulement les signes électriques acquièrent plus d'énergie, mais leur mobilité est extrême, et la nature même de l'électricité change fréquemment.

77. Origine de l'électricité atmosphérique. — L'origine de l'électricité atmosphérique est mal connue; l'hypothèse la plus probable la rattache à l'évaporation et peut-être même au retour de la vapeur gazeuse à l'état de vapeur vésiculaire, de pluie ou de neige. C'est dans les régions intertropicales, là où l'évaporation est la plus active et la condensation la plus abondante, que les orages se montrent avec le plus de fréquence et d'énergie. Les aurores boréales, qui ne sont que de grandes manifestations électriques dans les régions voisines du pôle, sont toujours accompagnées du retour du courant équatorial dans ces hautes régions; nos orages eux-mêmes apparaissent invariablement dans des conditions analogues. La princi-

pale source de l'électricité atmosphérique doit donc être placée au foyer de l'évaporation la plus active, dans les régions intertropicales. De là elle se répand sur les deux hémisphères par le contre-alizé supérieur et le courant équatorial. L'évaporation produite à la surface des régions tempérées apporte aussi son contingent à l'atmosphère.

78. Électricité des nuages. — La plupart des nuages sont électrisés *positivement*, comme l'atmosphère où ils se forment. Ils réunissent en eux l'électricité disséminée dans la masse d'air qui leur a fourni sa vapeur; et comme ils sont bons conducteurs de l'électricité, ce fluide se condense à leur surface au lieu de rester dans l'intérieur de leur masse; il y acquiert alors un haut degré de tension.

Les nuages négatifs sont toutefois très-loin d'être rares. L'électricité négative du sol, attirée par l'électricité positive de l'air, se porte sur le sommet des pics montagneux. Les courants d'air ascendants, qui suivent les rampes de ces montagnes, atteignant une certaine hauteur où la température devient inférieure au point de rosée, des nuages apparaissent qui, par leur contact avec les sommets du massif, lui prennent son électricité négative. D'autres nuages, voyageant en liberté dans l'atmosphère, se trouvent souvent compris entre le sol négatif et une couche de nuages positifs placés à une hauteur plus grande; leur électricité positive est repoussée vers la terre et emportée par les premières pluies; de l'électricité négative s'y montre graduellement à l'état de liberté.

79. Orages. — L'orage éclate lorsque des nuages parvenus à un certain degré d'électrisation se trouvent à proximité d'autres nuages ou des objets terrestres sur lesquels ils peuvent se décharger de leur excès d'électricité. Il n'est cependant pas rare de voir un éclair jaillir d'un nuage isolé, dans lequel la tension électrique dépasse la

limite de résistance de l'air. Ces éclairs se ramifient généralement beaucoup en se perdant dans l'espace.

Le bruit du tonnerre peut être entendu à six ou sept lieues de distance du point où jaillit l'éclair; l'éclair, ou l'illumination qu'il produit dans le ciel, peut être aperçu à une distance de trente ou quarante lieues; de là *les éclairs sans tonnerre*, ordinairement appelés *éclairs de chaleur*: ils sont dus à des orages lointains.

Lorsque la foudre rencontre sur son chemin un corps lui faisant obstacle par son défaut de conductibilité, elle le contourne si l'accroissement de résistance provenant de ce détour est moindre que la résistance du corps; dans le cas contraire, elle le perce, le brise, et quelquefois le disperse au loin. Son passage est toujours marqué par un dégagement de chaleur en rapport avec la résistance vaincue. Les métaux, bons conducteurs, sont à peine échauffés si leur section est suffisante; mais, s'ils offrent à l'électricité une route trop étroite, ils peuvent être volatilisés. C'est l'effet ordinaire produit par la foudre sur les arbres. La sève réduite en vapeur au milieu du tissu ligneux dans sa partie la plus étranglée, le tronc, le fait éclater et le réduit en espèces de filaments comme des allumettes.

Le nombre des personnes foudroyées en France est, en moyenne, de soixante-dix-neuf ou quatre-vingts. Plus de la moitié l'ont été sous des arbres. Dans l'intérieur des habitations, les accidents sérieux de cette nature sont beaucoup plus rares, parce que tout l'effort de l'électricité se porte sur les murs, surtout quand ils sont mouillés par la pluie. Il est difficile, quand on est surpris par un orage au milieu des champs, de ne pas profiter d'un abri voisin. L'inconvénient immédiat fait négliger un danger éventuel auquel on échappe souvent. Il conviendrait, du moins, de prendre certaines précautions propres à diminuer le péril. Il faut choisir de préférence pour abri quelques arbres bas, situés à une petite distance des grands arbres, y occuper le moins de place possible en hauteur, et, surtout, ne jamais s'appuyer au tronc.

80. Paratonnerre. — Un paratonnerre bien construit est un préservatif certain contre les dangers de la foudre; mais une condition indispensable à remplir est que la tige du paratonnerre soit mise en communication intime avec le sol au moyen d'une nappe d'eau souterraine ne tarissant pas. Une citerne, une mare, seraient de détestables récepteurs. Tous les accidents qui ont pu survenir malgré l'abri des paratonnerres, sont dus à de mauvaises communications avec le sol.

L'action préservatrice d'un paratonnerre est toutefois limitée à un cercle dont le rayon est d'autant plus étroit que les nuages orageux sont plus bas et le danger de foudre plus grand. D'après Arago, il ne doit y avoir sur un comble ou une terrasse aucun point dont la distance à la tige du paratonnerre soit supérieure au double de la hauteur de la pointe au-dessus de ce point. Toutes les grandes pièces métalliques du bâtiment doivent communiquer avec le conducteur.

81. Formation des orages. — Les orages des régions intertropicales, dans la zone des pluies, se forment généralement sur place, au milieu de la masse de nuages produits par la condensation des vapeurs de la nappe équatoriale ascendante. Ils y sont en permanence.

Dans nos régions tempérées, les orages se forment dans des conditions analogues, mais ne se reproduisent que dans des circonstances spéciales et accidentelles.

Les brises ascendantes le long des flancs méridionaux des massifs montagneux produisent des nuages locaux, assez fréquemment accompagnés d'orages également limités; mais c'est particulièrement sur le parcours du courant équatorial, et lors du passage d'un mouvement tournant, que les orages se produisent en Europe. Nous avons vu, chapitre VIII, que ces mouvements sont accompagnés d'une double circulation — horizontale tout autour de l'axe vertical, — verticale et descendante dans l'axe, ascendante au contraire sur le pourtour du disque tournant. Dans

son mouvement ascensionnel, ainsi favorisé par l'action du tourbillon, l'air se refroidit graduellement en atteignant les hauteurs de l'atmosphère; sa vapeur se condense, et l'on voit apparaître les cumulus, gros nuages à formes arrondies, qui croissent rapidement sur place et deviennent des foyers d'orages. L'électricité dont ils sont chargés les attire vers la terre électrisée d'une manière inverse, et les oblige souvent à descendre très-bas. Depuis que nous avons commencé l'étude des orages à l'aide des documents recueillis simultanément sur toute la surface de la France, nous n'avons pas vu un seul orage un peu étendu se produire, sans qu'un mouvement tournant n'apparaisse en même temps, et toujours les rapports généraux entre ces deux ordres de phénomènes sont restés les mêmes.

La zone orageuse est concentrique au mouvement tournant, et, notablement éloignée du centre, elle le suit au loin dans ses pérégrinations à la surface de l'Europe; dans le déplacement graduel de cette zone, une même localité peut traverser deux fois la zone orageuse, d'abord sur sa partie antérieure où les vents généraux soufflent du S. O., puis sur sa partie postérieure où les vents généraux soufflent d'entre O. et N. O., ce qui donne deux séries d'orages distincts. A chaque passage d'ailleurs, il peut se présenter des interruptions dans la masse des nuages, ce qui multiplie le nombre des orages successifs.

Plus la saison est chaude, moins il est nécessaire que le mouvement tournant soit intense pour amener des orages; mais il peut en produire même en hiver, quand il a une certaine énergie.

Les orages, à leur tour, par la pluie qu'ils versent à la surface du sol, par les actions électriques intenses qu'ils déterminent entre eux et la terre, peuvent engendrer des mouvements tournants secondaires, très-limités mais très-énergiques: ce sont les trombes orageuses, dont les effets destructeurs sont quelquefois si redoutables.

Les deux cartes figure 26 et figure 27 nous donneront

une idée de la propagation des orages à la surface de la France.

Le 7 mai (fig. 26), trois centres de mouvements tour-

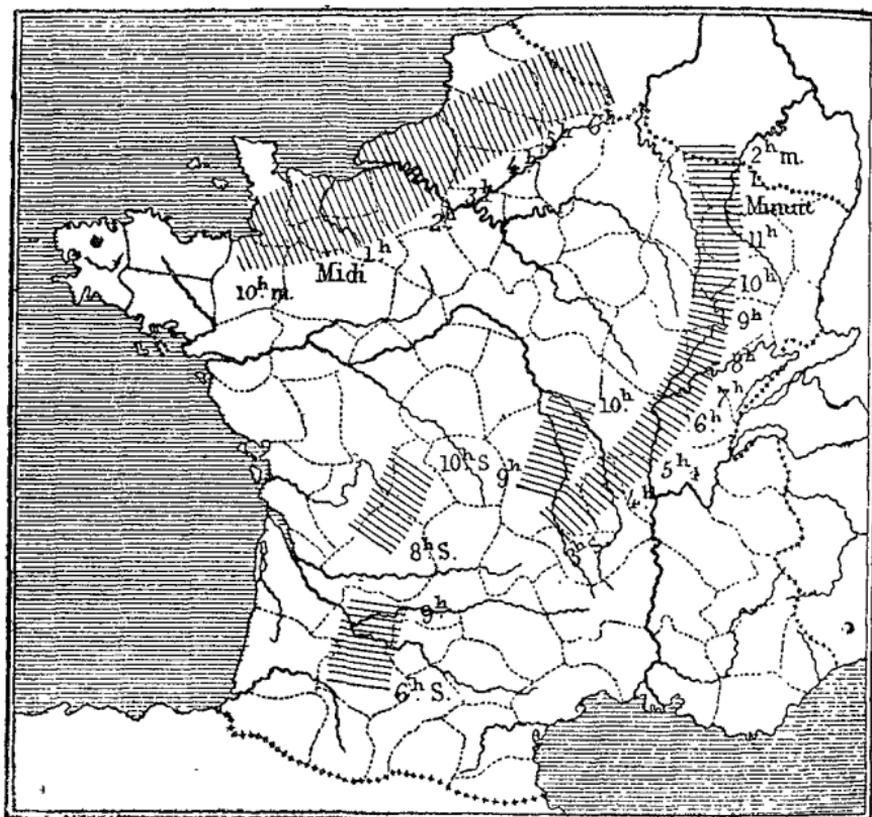


Fig. 26. Orages du 7 mai 1865.

nants existaient simultanément autour de la France. Au premier, situé le matin vers les côtes orientales de l'Écosse, correspond le groupe d'orages situés dans le nord de la France. Ce groupe débute dans le département de la Manche à 10 heures du matin, puis se propage à l'est jusqu'à 7 heures du soir, où l'on perd ses traces dans la Belgique. Au second, dont le centre est sur la Manche, cor-

respond le second groupe d'orages, qui débute vers 3 heures du soir dans le département du Puy-de-Dôme, traverse les départements de l'Allier, de la Loire, du Rhône, de l'Ain, de la Saône-et-Loire, du Jura, du Doubs, de la Côte-d'or, de la Haute-Saône, des Vosges, de la Meurthe, de la Meuse, de la Moselle, et arrive le lendemain à 2 heures du matin sur la frontière Belge. L'Allier, la Loire et la Saône-et-Loire sont très-maltraités par la grêle. Au troisième

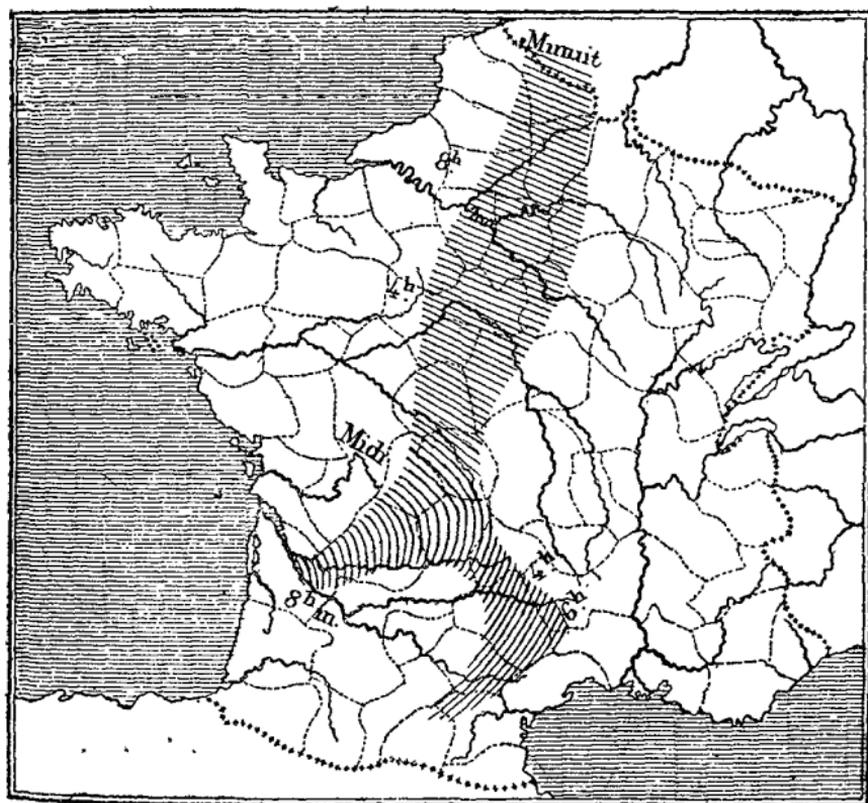


Fig. 27. Orages du 9 mai 1865.

centre, situé à 50 ou 60 lieues dans l'ouest de Rochefort, correspondent les trois autres groupes secondaires d'ora-

ges, qui sont situés dans le sud et dans l'est des deux premiers.

Le 9 mai, le centre d'une quatrième bourrasque tournante apparaît sur l'Océan à la hauteur de la pointe de Bretagne. Sous son influence éclatent les orages dont nous avons retracé la marche dans la figure 27. Ces orages débutent dans la Gironde à 8 h. $\frac{1}{2}$ du matin, marchant vers l'est-nord-est. En approchant du plateau central, le courant se partage en deux branches, dont l'une se relève vers le nord et l'autre s'incline vers le midi. Cette dernière branche éprouve un ralentissement sensible dans sa marche sur les rampes des Cévennes, et s'élargit rapidement vers les Pyrénées. Les derniers orages signalés y ont paru, à 7 heures du soir, aux limites de l'Aveyron et de l'Hérault. La première branche prend au contraire une marche plus rapide vers le centre de la France; les orages arrivent à minuit sur les frontières belges. Les grêles et les dégâts produits par eux ont commencé, presque dès leur début, dans la Dordogne et la Haute-Vienne; ils ont continué jusqu'à 4 heures dans la branche méridionale, et jusqu'à 10 heures dans la branche septentrionale.

Les inégalités du sol donnent lieu à des déviations analogues, mais plus locales, dans la marche des orages sur chaque zone principale.

82. Grêles. — Le mode de formation de la grêle est encore fort obscur. Pendant longtemps on admit, d'après Volta, qu'elle prenait naissance entre deux couches de nuages superposés, électrisés de sens contraires, et donnant lieu à un va et vient rapide des grêlons de l'une à l'autre. Mais des grêles redoutables se produisent même dans une seule couche de nuages. Par contre, il n'est pas de grêle qui ne soit accompagnée d'une violente agitation dans la masse nuageuse, et, très-souvent, elles sont accompagnées de véritables trombes dont l'axe descend plus ou moins jusqu'à la surface du sol. Ces trombes, qui se produisent surtout quand la température décroît très-rapidement à

mesure que l'on s'élève dans l'air, ont pour effet de mélanger brusquement ces couches d'air inégalement chaud, d'accroître l'abaissement de température par la raréfaction de l'air dans l'axe du tourbillon, de brasser violemment les grains de neige, de grésil ou de grêle, de les entre-choquer, de les souder les uns aux autres dans leur passage d'une couche plus froide à une couche plus chaude, et d'augmenter ainsi leur volume par des condensations et des congélations successives, ou par des agglomérations de grêlons entre eux. Ce sont les chocs des grêlons les uns contre les autres, qui produisent le bruit caractéristique des nuages à grêle ; tous les observateurs qui se sont accidentellement trouvés au milieu de ces nuages, ont été témoins de la violente agitation qui se produit en eux, et dont l'apparence est encore visible à de grandes distances.

CHAPITRE XII.

L'ÉCORCE TERRESTRE. — SA NATURE. SES MOUVEMENTS.

85. Température de l'écorce terrestre. — La terre subit près de sa surface à très-peu près les mêmes variations de température que l'air. Mais, à mesure que l'on étudie des couches plus profondes, on voit les variations s'y produire plus lentement, en même temps que leur amplitude diminue. La cause de ce fait est l'imparfaite conductibilité calorifique de la matière qui forme notre globe. Comme conséquence, les variations diurnes cessent, à une faible profondeur, d'être sensibles à nos instruments. Il en est de même des variations annuelles. La température est constante à partir d'une couche dont la position varie avec la nature du sol et avec sa situation géographique. On la rencontre, à Paris, à 30 mètres environ de la surface, et sa température est peu éloignée de 10 degrés. Au-dessous, le thermomètre ne varie plus, quel que soit le temps pendant lequel on le laisse en expérience.

A partir de la couche à température invariable, la température est de plus en plus élevée à mesure qu'on s'enfonce davantage, ainsi que l'ont prouvé les observations faites dans les sondages pratiqués jusqu'à ce jour. Ces observations ont amené les géologues à admettre que, dans l'intérieur du globe, la température augmente de 1 degré centigrade pour chaque intervalle de 25 à 30 mètres.

84. Épaisseur de la croûte solide. — En admettant que cette loi se continue, on trouverait l'eau bouillante à 2500 mètres ou 3000 mètres de la surface. Mais il n'en est pas ainsi, et, dans un même lieu, l'échauffement se ralentit un peu à mesure que l'on s'enfonce davantage ; c'est seulement, pense-t-on, vers 3200 mètres que l'on aurait 100 degrés de température. D'après les calculs de Studer, à 48 kilomètres, aucune substance connue ne pourrait conserver l'état solide. Telle serait donc à peu près l'épaisseur de l'écorce solide de notre globe. Il serait, en tout cas, difficile de la considérer comme supérieure à 50 kilomètres. Le reste serait encore à l'état de fusion.

85. Formation successive de l'écorce terrestre, ses plissements. — Le refroidissement successif des masses incandescentes qui formaient la terre à l'origine les a solidifiées près de la surface. Jusque-là, le refroidissement avait pu se répartir sur une assez grande profondeur, par l'effet des courants produits dans la masse fluide ; mais, à partir de la congélation de la surface, le refroidissement s'est d'abord concentré sur elle. La surface a dû se contracter, tandis que la masse fluide intérieure conservait à très-peu près son volume. Il en est résulté des ruptures de la croûte solide, et des éruptions de masses fluides dont le refroidissement postérieur a cicatrisé les déchirures de l'écorce terrestre. Le même effet a dû se reproduire à des intervalles plus ou moins éloignés, jusqu'à ce que, le flux de la chaleur s'étant régulièrement établi dans la croûte solide, la déperdition a été alimentée surtout par le noyau central. A partir de ce moment, la nature des phénomènes géologiques a changé d'aspect. Le noyau central, se refroidissant et se contractant plus vite que la croûte solide, celle-ci, devenue trop grande pour son contenu, s'est plissée, et les plis figurent, dans nos grandes chaînes de montagnes, de nouveaux soulèvements relatifs, mais sans hernie nécessaire de la masse fluide intérieure.

Dans l'intervalle, la température de la surface du globe

et de la couche gazeuse qui l'enveloppe, s'était assez abaissée pour amener la condensation de l'eau contenue dans cette atmosphère. Le contact de cette eau avec la surface terrestre encore chaude, a dû produire la désagrégation rapide des roches de nature ignée dont elle était exclusivement formée, et les premiers dépôts sédimentaires se sont produits. Ceux-ci se sont continués jusqu'à nos jours et se continuent encore, après avoir changé de nature en même temps que la température descendait au point où elle est aujourd'hui.

Pendant cette longue période de siècles, les êtres vivants se montrent, et présentent d'abord une grande simplicité de structure ; les mêmes espèces peuvent habiter sur toute la terre.

Les soulèvements ne cessent d'augmenter le nombre et l'étendue des terres émergées. Des fleuves et des lacs se forment ; aux dépôts exclusivement marins se mêlent ceux des eaux douces et des eaux saumâtres. Des plantes de marais ou de terre ferme croissent et pullulent sur les continents nouveaux.

L'inégalité de la température aux différents points de la terre augmente, les montagnes s'accroissent en hauteur, de nouvelles s'ajoutent aux premières, les faunes et les flores sont de plus en plus localisées, les courants marins et atmosphériques s'approchent insensiblement de leur forme actuelle.

La forme tourmentée de la surface terrestre montre l'étendue des déformations qu'elle a subies dans les temps passés. Dans la période actuelle, le calme est loin d'être complet. Les tremblements de terre sont encore fréquents dans certaines régions ; dans d'autres, l'écorce terrestre subit des oscillations extrêmement lentes, mais cependant appréciables.

86. Mouvements brusques de l'écorce terrestre. — Les mouvements, plus généralement connus sous le nom de *tremblements de terre*, ont peu de durée. Ils sont tou-

jours le résultat de modifications plus ou moins profondes subies par l'écorce terrestre dans son intérieur. Très-souvent ces modifications paraissent liées intimement à celles de la région non solidifiée sur laquelle repose l'écorce solide.

Parfois les *tremblements de terre*, ou *mouvements séismiques*¹, sont peu sensibles, et il faut, pour les révéler, des appareils très-déliçats. D'autres fois ils sont accompagnés de phénomènes terribles. Dans tous les cas, il existe une région centrale dans laquelle l'ébranlement a eu le plus de force, pour rayonner à des distances plus ou moins grandes suivant la nature des terrains à travers lesquels se propage l'*onde séismique*, et suivant l'intensité du premier ébranlement.

La mer joue dans les tremblements de terre un rôle important. Ces phénomènes sont en effet généralement suivis d'une déformation de l'écorce terrestre sur une étendue plus ou moins considérable, et, dans certains cas, cette déformation entraîne un déplacement des eaux.

Les relations entre les tremblements de terre et les phénomènes dont la partie liquide de la terre est le siège, nous donneront l'occasion de revenir plus loin sur ce sujet.

87. Mouvements lents de l'écorce terrestre. — A côté de ces brusques secousses, de cette palpitation de l'écorce terrestre, d'autres mouvements se produisent avec une extrême lenteur, mais sans jamais s'arrêter, et ils embrassent à la fois de très-vastes régions. C'est ici que la mer joue un rôle important, non-seulement comme agent modificateur, mais aussi comme appareil propre à nous révéler un mouvement que nos instruments les plus délicats ne nous auraient jamais fait découvrir.

Si le sol se disloque bruyamment près de nous, pendant que la terre tremble sous nos pas, nous n'aurons

1. Du mot grec *σειω* (*scíō*), j'agite

aucune peine à le remarquer. Mais, qu'après un tremblement de terre ou toute autre perturbation de cette nature, le sol reste soulevé ou abaissé de plusieurs mètres, les habitants de l'intérieur d'un continent n'en auront aucunement conscience. Ils ne s'apercevront pas davantage d'un mouvement lent et continu de soulèvement ou d'abaissement. Les riverains en seront avertis par les variations du niveau de la mer.

En certains points, le lit de l'Océan s'abaisse, en d'autres il s'élève ou tend à se combler sous l'influence de causes diverses. Toutes ces causes lui laissent un niveau moyen sensiblement constant. La quantité dont la mer s'élève est donc égale à celle dont le sol s'abaisse, et la hauteur dont la mer s'abaisse mesure, pour la région où on l'observe, celle dont le sol s'élève.

L'étude attentive des mouvements apparents de la mer a fait reconnaître la généralité des mouvements lents de l'écorce terrestre. Il se fait, de nos jours, un pli d'affaissement vers le nord de l'Europe et de l'Amérique. Tandis que les régions voisines du pôle s'élèvent, les rives de la Manche, de la mer du Nord, de la Baltique, s'abaissent insensiblement. La Suède et la Norvège sont, par suite, animées d'une sorte de mouvement de bascule, dont la ligne fixe, dirigée presque de l'est à l'ouest, passerait au nord de la Scanie. Deux vastes régions s'affaissent dans l'hémisphère sud : l'une d'elles comprend les îles Basses, les îles de la Société, les Carolines, les îles Gilbert, Marshall, etc.; sa longueur est de plus de 13 000 kilomètres, et sa largeur moyenne de plus de 2000 kilomètres. La seconde région d'affaissement comprend la Nouvelle-Calédonie, l'Australie et le bassin de l'océan Indien. Entre ces deux zones, le sol se soulève. La zone de soulèvement est formée, dans le sud, par un demi-cercle d'îles : la Nouvelle-Zélande, l'île Kermadec, l'île des Amis, les Nouvelles-Hébrides, les îles Salomon, la Nouvelle-Guinée. Plus loin, cette ligne se bifurque. L'une des branches passe par les Philippines, Formose et le Kamtchatka, se dirige

vers l'est, puis vers le sud-est, passe aux îles Sandwich, et côtoie le versant occidental des Andes sur une étendue de plus de 4000 kilomètres. L'autre branche, allant vers l'ouest, passe à Timor, Java, Sumatra, et se retrouve à la mer Rouge, aux Seychelles, à Madagascar, à la Réunion et à l'île Maurice.

88. Age relatif des chaînes de montagnes. — Tous ces mouvements, tantôt brusques, tantôt d'une telle lenteur qu'une élévation ou un abaissement de 1 centimètre par an peut compter parmi les plus sensibles, ont contribué pour leur part à donner à la terre sa forme actuelle.

Les agents atmosphériques de toute nature agissent d'une manière efficace pour modifier le relief du globe, mais ils n'ont pu que gratter, pour ainsi dire, son enveloppe extérieure, la ronger, tendre à la niveler en entraînant au fond des mers, à l'état de *sédiments*, les matériaux arrachés pièce à pièce aux plus hautes montagnes. La charpente de l'écorce terrestre a reçu sa forme des mouvements de toute nature dont elle est constamment animée. On conçoit dès lors la possibilité de fixer à peu près l'époque des divers plissements, de reconnaître leur ordre de succession, autrement dit, de déterminer l'âge relatif des chaînes de montagnes.

Si, par exemple, nous observons dans un terrain sédimentaire des strates horizontaux A, nous pouvons admettre qu'ils sont restés dans la position qu'ils occupaient lors de leur formation. Si, les suivant sur une vaste région, nous les voyons se redresser plus loin, c'est qu'une force quelconque les a dérangés de leur position primitive. Descendons à des couches de plus en plus profondes, c'est-à-dire dont le dépôt s'est produit plus anciennement, et arrivons jusqu'à l'axe du système montagneux; nous trouvons ces matières dites éruptives, dont il a déjà été question, et dont l'apparition a provoqué le soulèvement et la dislocation des sédiments primitivement horizontaux. Si, d'une autre part, nous remontons jusqu'à des

sédiments plus modernes, il nous arrivera d'en rencontrer dont les strates, encore horizontaux B, seront en stratification discordante avec les premiers objets de notre étude. Les terrains sédimentaires B, superposés aux premiers, et par suite plus récents, ont été formés évidemment après le soulèvement qui a dérangé les autres de leur primitive horizontalité. Le soulèvement est antérieur à la formation des sédiments B, postérieur à celle des couches A.

Rencontrons-nous ailleurs une chaîne de montagnes sur les flancs de laquelle les sédiments B sont eux-mêmes disloqués et ont perdu leur horizontalité, tandis que d'autres C viennent s'appuyer en stratification discordante sur les strates de B et sont restés horizontaux, il est de même évident que la seconde chaîne de montagnes s'est soulevée avant le dépôt des couches C, et lorsque les sédiments B existaient déjà. Cette chaîne est, par suite, plus récente que la précédente.

Quelle que soit, plus tard, l'inclinaison que prendra l'ensemble de ces terrains sédimentaires, les dislocations, et surtout les discordances de stratification, resteront pour témoigner qu'entre les deux dépôts il s'est passé un phénomène géologique incontestable, un soulèvement, qu'on lui attribue une longue durée ou qu'on le considère comme le résultat d'un changement subit, d'une véritable révolution du globe.

Telle est, en peu de mots, la base sur laquelle M. Élie de Beaumont a pu s'appuyer pour établir, par exemple, que l'Erzgebirge est antérieur au Jura, celui-ci aux Pyrénées et aux Apennins; que les Apennins, comme les Alpes occidentales, apparurent avant les Alpes centrales; que ces dernières sont presque contemporaines de l'Himalaya; enfin, que la Cordillère des Andes américaines est le plus jeune des systèmes montagneux.

39. Matériaux des montagnes. — On comprend, d'après ce qui précède, que les montagnes offrent tous les matériaux constitutifs de l'écorce terrestre, depuis les

roches éruptives jusqu'aux roches métamorphiques et aux sédiments les plus modernes. L'ordre de superposition de ces terrains a déjà été exposé dans d'autres parties du cours. On a vu que chaque époque géologique a eu ses soulèvements, ses dislocations, et par suite ses éruptions de matières incandescentes à travers des sédiments métamorphosés plus ou moins profondément par le voisinage de ces matières ; qu'elle a ses *filons* de toute nature.

Il est difficile d'énoncer sur ces différents points des règles d'une grande généralité. Cependant on conçoit qu'un sédiment puisse être d'autant plus riche en filons qu'il sera plus ancien, toutes choses égales d'ailleurs. C'est également dans le voisinage des grandes chaînes de montagnes que les phénomènes de métamorphisme devront être le plus fréquents, et que les roches éruptives seront le plus abondantes. C'est du reste ce qui résulte d'un examen, même rapide, de la distribution géographique des principaux minéraux.

90. Distribution géographique des minéraux. — Les minéraux, au point de vue de leur application à nos besoins, peuvent être considérés comme devant servir aux constructions, à la fabrication d'instruments de toutes sortes, aux objets de luxe et en général aux ornements.

Toutes les masses rocheuses, capables d'être taillées en blocs assez consistants pour résister à l'action de l'eau et des intempéries, fournissent des matériaux de construction plus ou moins avantageux. Les formations granitiques, et spécialement celles où le feldspath est rare pendant que l'albite y abonde, sont excellentes pour les grands monuments. Les constructions gigantesques des Égyptiens sont presque entièrement de granite syénitique et de porphyre. Un grand nombre des édifices les plus célèbres de la Rome antique sont faits de travertin, calcaire déposé par de nombreuses sources qui jaillissent au pied des Apennins, surtout à Volterra et à Terni. Les marbres architecturaux sont assez communs ; mais, en revanche, on en

trouve rarement de propres à la sculpture. Les carrières du Pentélique, près d'Athènes, du mont Marpèse dans l'île de Paros, de Carare en Italie, ont acquis, par la beauté de leurs marbres, une grande célébrité.

Les formations calcaires, qui fournissent les ciments, sont encore d'une grande utilité; les coquilles marines y suppléent parfois plus ou moins dans les régions littorales. Enfin la chaux est elle-même un important auxiliaire de l'agriculture; dans certains cas spéciaux, la magnésie la remplace avec avantage.

Ajoutons enfin à l'énumération des matériaux de construction, les ardoises, dont l'emploi est si souvent avantageux, à cause de leur grande résistance et de leur structure schisteuse. Citons, parmi les ardoisières les plus célèbres, celles de Lavagna en Ligurie, de Penrhyn dans le pays de Galles, et d'Angers.

Les minéraux employés dans la fabrication de nos outils et de nos instruments sont principalement les métaux et les substances utilisées pour la céramique et la verrerie. Le fer est incontestablement le plus utile des métaux, et c'est avec raison que Thénard voyait la mesure de la civilisation d'un peuple dans la quantité de fer qu'il consomme. Le fer a une grande affinité pour l'oxygène, aussi le trouve-t-on rarement à l'état natif. On en voit pourtant des exemples à Steinbach, à Kamsdorf, et, en France, au mont d'Oule, près de Grenoble, sans y comprendre les masses météoriques qui ont, comme on le sait, une origine cosmique. Combiné avec l'oxygène et le soufre, le fer est très-abondamment répandu sur le globe. Dans l'île d'Elbe, des montagnes entières consistent en oxyde spéculaire de fer. Les montagnes de Taberg, en Laponie, et de Pumacanche, dans le Chili, se composent presque uniquement de fer magnétique. Cet oxyde est aussi très-abondant en Corse, en Savoie, en Bohême, en Saxe, et dans les Indes orientales. Mais le pays le plus favorisé à cet égard est la Grande-Bretagne, dont les immenses mines de fer touchent à des gisements de houille,

de sorte que le combustible nécessaire au traitement du minerai s'obtient au plus bas prix possible. La même coïncidence, bien qu'à une proportion moindre, se trouve en Belgique et dans les districts miniers de Saint-Étienne.

Parmi les autres métaux, le manganèse, comme le fer, se trouve principalement dans les roches les plus anciennes. L'étain, le molybdène, le tungstène, le titane, le césium, l'urane, le chrome et le bismuth se rencontrent presque uniquement en filons qui traversent les roches cristallines inférieures. L'arsenic, le cobalt, l'argent, le nickel, le cuivre, ont leur place dans les mêmes roches, mais dans les plus modernes de la série. L'or, le tellure et l'antimoine sont cantonnés dans les terrains cristallins métamorphiques supérieurs, dans les terrains secondaires et dans les plus anciennes couches siluriennes. Dans les formations secondaires, on rencontre l'étain, le plomb, le zinc et le mercure. Jusqu'à présent, à part quelques exceptions, le platine n'a pas été trouvé en place dans les roches qui le renferment, mais, comme il arrive aussi pour l'or, il est dispersé dans des sables et des dépôts alluviaux.

Le plus souvent, les métaux ont pour gisement des veines ou filons qui, tout en ayant une direction prédominante, sont rarement rectilignes, mais forment généralement des zigzags, le plus souvent inclinés d'environ 45° sur l'horizon. Ces veines s'étendent du reste à d'immenses profondeurs.

Il y a de l'or presque partout, mais en très-petite quantité.

L'Europe (en exceptant la Russie) ne verse sur le marché qu'une faible partie de l'or en circulation. L'Autriche est, à cause de ses mines de Schemnitz, la contrée qui, dans cette partie du monde, en renferme le plus, et cependant elle n'en fournit que 2000 kilogrammes par an. La Suède, l'Espagne, le Piémont, la Valachie et la Moldavie en fournissent le reste qui, pour toute l'Europe, ne dépasse pas 2210 kilogrammes.

Le gouvernement russe découvrit de vastes alluvions

aurifères dans les montagnes de l'Oural, puis dans le nord de la Sibérie, dans les monts Altaï, enfin dans le Caucase, de sorte qu'aujourd'hui l'extraction de l'or s'étend en Russie sur une zone immense, longue de plus de 5000 kilomètres. Les dépôts de l'Oural fournissent environ 5500 kilogrammes d'or pur par an, ceux de la Sibérie et de l'Altaï au moins 15 000 kilogrammes. Le produit total, qui, de 1745 à 1826, n'avait été que de 41 972 kilogrammes, c'est-à-dire de 524 kilogrammes par année moyenne, fut de 3875 kilogrammes en 1826, de 27 862 en 1847, et il s'accrut encore les années suivantes.

Le reste de l'Asie fournit beaucoup d'or; on peut évaluer à 7000 kilogrammes celui que l'on extrait du Thibet et de l'Inde. La Chine et le Japon en possèdent des mines très-riches, mais on a trop peu de documents précis sur ces contrées pour donner sur leur production des chiffres précis. Enfin l'archipel de la Sonde livre au commerce au moins 20 000 kilogrammes d'or par an.

Il y a de nombreux terrains aurifères en Afrique. Du temps de Salomon, des flottes entières étaient envoyées par ce roi sur les côtes de Sofala et de Monomotapa à la recherche de ce métal précieux. Les poudres d'or du Cordofan et du Rambouk sont, aujourd'hui même, transportées par des nègres jusqu'à la côte, où elles sont échangées contre les produits de l'industrie européenne. Les évaluations les plus certaines portent à 12 millions de francs la valeur de l'or qui nous vient par cette voie.

Le Brésil, le Pérou et le Mexique donnaient, il y a quelques années, 15 215 kilogrammes d'or; mais la découverte des gisements de la Californie a considérablement augmenté cette production, qui ne s'est pas élevée, pour la seule Californie, à moins de 800 000 ou 900 000 kilogrammes en dix ans.

L'Australie commença, en 1851, à rivaliser avec la Californie, et la constitution géologique de ce nouveau continent fait présumer que toute la chaîne qui le traverse renferme de l'or en grande quantité.

L'argent est plus abondant que l'or sur notre planète. La Hongrie est la partie de l'Europe qui renferme les mines les plus riches de ce métal ; celles de l'Erzgebirge et de Christiania sont aussi remarquables. On trouve encore l'argent en Saxe, en Transylvanie et en Autriche. Mais aucune partie de l'ancien continent n'est aussi riche en argent que l'Oural ou l'Altaï, surtout dans la province de Kolyvan. L'Arménie, la Turquie d'Asie, le Thibet, la Chine, la Cochinchine et le Japon renferment également des mines d'argent.

Mais la richesse du nouveau monde en argent est immense, au point que, suivant A. de Humboldt, la chaîne des Andes repose sur des fondations d'argent. Le Chili, le Pérou et le Mexique sont, à cet égard, les pays les plus privilégiés du monde. Le tableau suivant donne les quantités moyennes d'argent fournies chaque année par les diverses parties du monde.

Amérique.....	701 000 kil. corresp. à	155882000 fr.
Europe (excepté la Russie)	150 000	— 33333 000
Russie	24 000	— 5333 000
Autres parties du monde	100 000	— 22222 000
	<hr/>	<hr/>
Total...	975 000	— 216770 000

Le cuivre est très-abondant dans l'écorce terrestre. L'Angleterre, où sont les mines de Cornouailles, les plus riches du monde, extrait annuellement 16 000 tonnes de cuivre de son propre territoire. On en trouve de grandes quantités en France, en Allemagne, en Suède, en Espagne et en Russie. La partie occidentale de Cuba, le Mexique, les États-Unis, l'Australie, la Perse et l'Inde sont, en dehors de l'Europe, les contrées où ce métal se rencontre en plus grande quantité.

Les gisements de l'étain sont moins répandus. Ici encore l'Angleterre occupe le premier rang. Ce sont ensuite la Gallicie, l'Erzgebirge, la Saxe, la Bohême, la Malaisie et

la Chine, qui en fournissent à l'industrie les quantités les plus considérables.

Par sa durée et sa malléabilité, le plomb est l'un des métaux les plus utiles. Il est souvent allié à l'argent. Les Iles britanniques en fournissent des quantités immenses. De nombreuses mines de plomb sont aussi exploitées en France, en Allemagne, en Sardaigne, et surtout en Espagne.

Les minerais du zinc, la calamine et la blende, abondent en Belgique, dans les provinces rhénanes, en Cilicie, en Malaisie et dans la province chinoise de Yun-nan.

Les mines de mercure les plus célèbres sont, pour l'Europe, celles d'Almaden en Espagne et d'Idria en Illyrie. La Chine, le Japon et la Californie en fournissent de grandes quantités.

Le platine provient à peu près entièrement des mines de l'Oural et de Sibérie. Le Brésil et Saint-Domingue en paraissent aussi pourvus, quoique moins abondamment.

Le bismuth se trouve dans plusieurs parties de l'Allemagne, de la Suède et de la France.

L'antimoine s'extrait de la Saxe, du Hartz, du Cornouailles, de l'Espagne, de la France, du Mexique, de la Sibérie et de l'île de Bornéo.

L'aluminium est extrêmement répandu dans la nature; c'est un des éléments de l'argile.

Parmi les minéraux les plus utiles à l'homme, citons encore le sel, le soufre et le charbon fossile. L'homme extrait le sel de la mer; mais, outre cette source, la terre nous fournit d'immenses dépôts de sel gemme. Ceux que possède l'Angleterre dans le comté de Chester semblent inépuisables; ceux des monts Karpathes sont encore plus considérables. On en trouve aussi beaucoup en Autriche, en Gallicie, en Espagne et en France.

Bien que limité aux régions où les terrains de la période carbonifère affleurent à la surface, ou du moins sont à une faible profondeur, le charbon fossile est heureusement très-abondant. Les lits de charbon correspondent aux grandes dépressions de ces strates. Ils sont d'une richesse immense

dans la Grande-Bretagne, principalement dans le Northumberland, le Durham, le Yorkshire, le Straffordshire, la principauté de Galles, l'Irlande, etc. La quantité de charbon extraite annuellement des mines anglaises dépasse 66 000 000 de tonnes.

Sur le continent d'Europe, on trouve le charbon fossile en Belgique et en France, mais le Midi de l'Europe en est généralement dépourvu. Il est rare en Russie.

Le dépôt le plus vaste que l'on connaisse de cette matière est celui des États-Unis d'Amérique. On estime que le seul État de Pensylvanie consiste, pour un tiers de sa surface, en des champs de charbon s'étendant sur 60 000 milles géographiques carrés.

L'Illinois, l'Indiana et le Kentucky forment un autre dépôt aussi grand que l'Angleterre. Le Michigan, le Nouveau-Brunswick, la Nouvelle-Écosse, l'île de Vancouver, les Andes péruviennes et le Brésil en renferment de grandes quantités.

Le charbon de terre existe dans beaucoup d'autres pays, spécialement dans l'Asie Mineure, à Bornéo, dans l'île de Formose, la Tasmanie, la Nouvelle-Zélande, l'Inde, etc.

En dehors de leurs propriétés, notamment de leur inaltérabilité relative, de leur dureté et des jolis effets de lumière qu'elles occasionnent, les *pierres précieuses* doivent à leur grande rareté une partie de leur valeur.

Le diamant, qui n'est autre chose que du carbone pur, se trouve presque uniquement dans des dépôts alluviaux. On ne le recueille que dans de rares contrées.

Les principales sont: dans l'Inde, les terrains qui s'étendent entre Golconde et Masulipatan; dans la presqu'île de Malacca; à Bornéo, où l'on découvrit le plus gros diamant connu, dont le poids est de 367 karats; au Brésil, dans le district de Cerro di Frio, sur les deux versants de la Sierra Espenhaco, et dans les affluents du fleuve San-Francisco. Les monts Oural sont aussi adamantifères, surtout dans l'important district minier de Beresowsk.

Le saphir, le rubis et le spinelle se trouvent principa-

lement à Ceylan, dans le lit des fleuves ; à Gharan, sur les bords de l'Oxus, dans les monts Capellan près de Sirian, dans le Pegû. On rencontre aussi le saphir près de Billin et de Merowitz en Bohême, près d'Expailly en France, à Brendola dans le Vicentin, et sur le Saint-Gothard.

Le spinelle et la topaze sont assez abondants au Brésil. Le béril est très-pur et abondant à Nertschinsk, en Perse, à Limoges ; on le voit aussi dans le Pérou, le Brésil, la Saxe, l'île d'Elbe et l'Irlande.

Le Mexique, la Hongrie et la Bohême fournissent les plus belles opales et les grenats. La turquoise vient de Perse. Le *lapis-lazuli* se trouve dans le Thibet, le Beloot-Tagh, le Badaskhan, l'Indu-Ko et la Sibérie.

L'astérie est une pierre spéciale à Ceylan. L'améthyste vient du Brésil et de la Sibérie ; l'agate, du Thibet et du grand désert de Gobi.

CHAPITRE XIII.

VOLCANS. — LEUR DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE.

91. Définition d'un volcan. — Ses diverses parties.

— Les matières incandescentes enfouies à de grandes profondeurs se font jour en certains points. Tantôt des régions se fissurent, et des flammes, — des matières ignées, — des gaz, s'échappent de terre d'une manière continue ou temporaire. Tantôt l'activité interne paraît concentrée en un ou plusieurs points, et des montagnes plus ou moins élevées sont le siège d'éruptions de torrents liquides ou gazeux entraînant généralement des débris arrachés aux roches avoisinantes, des scories, des cendres. Ces montagnes sont nommées des *volcans*.

Les volcans se distinguent généralement par leur forme arrondie. Leur sommet est presque toujours tronqué; il est formé par un *cône* ou talus de matières solides, le plus souvent des scories ou des cendres rejetées par la montagne pendant ses éruptions. Si l'on gravit les parois du cône, on parvient sur le bord supérieur d'un *cirque*, sorte de vaste entonnoir au fond duquel se voient des ouvertures vomissant de la fumée, et où l'on aperçoit souvent le bouillonnement des matières en fusion. Le cirque est le *cratère*, les ouvertures sont les extrémités des *cheminées* qui établissent une communication entre l'extérieur et les couches profondes de l'écorce terrestre. Parfois ces cheminées se bouchent, mais la montagne garde tous ses autres caractères, et porte toujours le nom de volcan.

92. Phase d'activité. — Volcans éteints. — Quand un volcan est, soit continuellement, soit fréquemment en éruption, on dit qu'il est dans sa *période d'activité*. Il est dit *éteint* quand, depuis un temps fort long, il a cessé de signaler d'une manière quelconque sa présence. Mais on conçoit immédiatement tout ce qu'une pareille distinction a d'artificiel.

Ainsi, depuis les temps historiques les plus reculés, jamais le Vésuve n'avait montré en aucune manière sa nature volcanique. Jusqu'au commencement de l'ère vulgaire, il était couvert de villes et de jardins. Sa première éruption dont parle l'histoire, est celle qui arriva l'an 79, sous le règne de Titus, et qui ensevelit Stabies, Herculanium et Pompéi.

Cet imposant spectacle se renouvela ensuite plusieurs fois ; mais de 1500 à 1631, le Vésuve fut dans un repos absolu. L'éruption de 1631 fut de toutes la plus terrible après celle de 79.

Les gigantesques volcans qui couronnent la Cordillère ne renouvellent guère leurs éruptions qu'une fois par siècle ; mais, quand elles se produisent, elles sont terribles.

La Sardaigne, la France, l'Allemagne, l'Asie, l'Océanie et l'Amérique ont leurs volcans éteints, mais rien ne pourrait nous faire dire *a priori* que ces volcans ne reprendront pas tôt ou tard une certaine activité.

On trouve, du reste, tous les genres d'activité dans les volcans. A côté des précédents on voit le Stromboli, qui est continuellement en ignition, le Guacamayo (province de Quiros) qui gronde tous les jours, etc.

93. Fréquence relative des éruptions aux diverses époques de l'année. — Un certain nombre de faits recueillis par les modernes paraissent établir une liaison entre les phénomènes volcaniques et les modifications de l'atmosphère. Émile Kluge a même pu, à la suite de longs relevés, établir que les éruptions sont plus fréquentes en été, que les tremblements de terre le sont plus en hiver. Ce

géologue va plus loin. Suivant lui, les conflagrations volcaniques dépendent des changements de saisons. La fusion des neiges ou des glaces, la chute de la pluie, les oscillations de la température et de la pression barométrique sont, pour lui, les vraies causes de ces incendies souterrains. De simples réactions chimiques et la chaleur qu'elles dégagent, suffiraient pour expliquer ces phénomènes à l'aide des agents extérieurs à notre planète, au lieu d'en voir la cause dans une sorte d'océan de feu existant à de grandes profondeurs.

Les agents externes ont certainement une action notable sur les phénomènes volcaniques, mais il est bien difficile, dans l'état actuel de la science, d'être aussi affirmatif que le géologue allemand.

95. Caractères des éruptions. — Des tremblements de terre, des sortes de craquements de la montagne et des bruits particuliers annoncent l'approche d'une éruption. Puis, tout à coup, une épaisse colonne de fumée s'élève du sommet de la montagne, s'aplatit et s'étale à une certaine hauteur, ce qui l'a fait comparer parfois à un pin immense.

Des cendres, des scories tombent comme une pluie épaisse à une très-grande distance de la montagne, et le vent les emporte quelquefois à plusieurs centaines de kilomètres.

Puis la lave s'élève dans le bassin qui forme le cratère, elle le remplit et déborde en torrents de feu qui courent sur les flancs de la montagne.

D'autres fois, des crevasses gigantesques se forment sur les versants, et la lave s'échappe par ces nouveaux chemins

Dans tous les cas, du haut en bas de la montagne, et jusqu'à une assez grande distance de son pied, il se produit des fissures d'où se dégagent des gaz ou des vapeurs de natures très-diverses.

Toute éruption comprend, comme l'a démontré M. Char-

les Sainte-Claire Deville, quatre périodes successives et bien distinctes. Dans la première, caractérisée par une température très-élevée, s'observent en grande quantité le sel marin et divers composés de soude et de potasse. Dans la seconde, la température est moindre, il se forme des dépôts de chlorure de fer aux brillantes couleurs, et des acides chlorhydrique et sulfureux. Pendant la troisième période, la température est descendue aux environs de 100°; on trouve des sels ammoniacaux et des aiguilles de soufre, qui se déposent sur les scories. Enfin, dans la quatrième période, lorsque la température est inférieure à 100 degrés, les fumerolles ne donnent plus que de la vapeur d'eau, de l'azote, de l'acide carbonique et divers gaz combustibles.

La quantité de vapeur d'eau qui se dégage pendant les éruptions est du reste extrêmement considérable; elle constitue, suivant M. Ch. Sainte-Claire Deville, au moins les 999 millièmes de ce que l'on appelle la fumée du volcan, et M. Fouqué a calculé que, pendant 100 jours de l'éruption de 1865, l'Etna a vomi au moins 2 160 000 mètres cubes de vapeur d'eau.

D'une manière générale, on peut dire que tous les éléments de l'eau de mer se retrouvent, soit dans les gaz, soit dans les dépôts formés par les fumerolles. Nous avons vu plus haut qu'on retrouve le sel marin et divers composés de soude et de potasse. Les sels de magnésie se retrouvent aussi, mais l'action de la chaleur leur donne quelquefois une autre forme; le chlorure de magnésium, par exemple, se change en acide chlorhydrique et en magnésie. Le premier se dégage dans les fumerolles, la seconde se fixe dans les laves.

Malgré les différents aspects qu'elles présentent, les laves diffèrent peu de composition. Toutes sont formées par des silicates d'alumine ou de magnésie, unis à du protoxyde de fer et de la potasse ou de la soude et de la chaux. La prédominance de l'une ou l'autre de ces bases les distingue les unes des autres, et constitue le point de départ de leur classification.

94. Distribution géographique des volcans. — L'eau de mer se retrouve, avons-nous vu, par ses éléments, dans les déjections volcaniques, dans lesquelles elle paraît jouer un rôle très-important. La distribution géographique des volcans n'est pas moins remarquable à cet égard.

Tous les volcans sont sur le bord de la mer, ou de cavités lacustres dans l'intérieur des continents. Ce fait n'avait pas, du reste, échappé à la sagacité des anciens, qui croyaient que l'Etna ne faisait que vomir, sous forme de vapeur, l'eau engloutie à ses pieds dans le gouffre de Charybde. C'est la traduction un peu poétique de l'importance accordée par les modernes à l'arrivée des eaux d'infiltration dans l'intérieur de la montagne.

L'océan Pacifique, notre plus grand réservoir d'eau, est bordé par une série de montagnes ignivomes, tantôt disposées en chaînes, tantôt éloignées les unes des autres, mais reliées évidemment entre elles par une étroite connexion, et formant, dans leur ensemble, comme un immense cercle de feu dont le développement total est d'environ 35 000 kilomètres. On y trouve, en partant du sud-est, les bouches fumantes de la Nouvelle-Zélande, le Tongariro et le puissant cône de Whakari, dans l'île Blanche. Un peu au nord de ce premier anneau volcanique, nous rencontrons les îles Viti, dont les volcans sont assez calmes aujourd'hui. Une ramification, après avoir traversé obliquement la mer du Sud jusqu'aux îles basaltiques de Juan Fernandez, rejoint la chaîne principale qui va contourner l'Australie et la Nouvelle-Guinée. Entre les îles Viti et l'Archipel de la Sonde se succèdent les pics volcaniques d'Abrim et de Tanna dans les Nouvelles-Hébrides, de Tanahoro dans le groupe de Sainte-Croix, de Semoya dans les îles Salomon. C'est dans l'archipel de la Sonde que l'on voit un des centres les plus puissants, le plus puissant peut-être de notre globe. Toutes les îles qui relient Sumatra à la Papouasie : Timor, Flores, Sumbava, Lombok, Bali, Java, sont volcaniques, de même que Sumatra, Ceram, Amboine, Gigolo, Ternate, Célèbes, Mindanao, Min-

doro et Bornéo. Au nord de Luçon, le grand anneau volcanique se courbe graduellement. Une branche immense passe par Formose, Kieou, l'archipel du Japon, les Kourilles jusqu'au Kamtschatka. A l'est de cette presqu'île, la ligne des cratères s'infléchit vers Alashka, à l'extrémité de laquelle s'élève le cône d'Umnak.

La ligne de feu se prolonge sur le continent américain, tout le long de la côte occidentale. C'est là qu'on trouve le Saint-Élie (5400 mètres), le Beautemps (4380 mètres). Les chaînes de l'Orégon, de la Sierra-Nevada et des Montagnes-Rocheuses sont toutes dominées par des cônes volcaniques, éteints pour la plupart, et dont quelques-uns, le Baker, le Renier, le Saint-Helen, sont d'énormes pics de 3 à 5000 mètres de hauteur. Les montagnes basaltiques et trachytiques de la Californie et du Mexique n'ont pas, aujourd'hui du moins, de volcans en activité; mais, en revanche, on en trouve de colossaux sur les hauts plateaux du Mexique. C'est là que se dressent le Colima, le Jorullo, le Nevado de Tolima, l'Istachihuetl, le Popocatepetl, l'Orizaba, le Tuxtla. Les trente montagnes ignivomes qui s'élèvent dans l'Amérique centrale, formant 2 lignes, dont l'une est parallèle à la côte du Pacifique, tandis que l'autre est oblique, dans l'isthme de Nicaragua, sont bien plus terribles encore par leur énorme activité. Les principales sont le Fuego, l'Agua, le Phare d'Isalco, le San-Salvador, le Coseguina.

La série des volcans bornant la mer du Sud est interrompue par les dépressions de Panama et du Darien.

Le plus septentrional des volcans actifs de Colombie est le Tolima (5400 mètres), l'une des montagnes ignivomes les plus éloignées de la mer; elle en est à environ 200 kilomètres. Plus au sud, les forces volcaniques déploient une nouvelle activité dans un groupe de seize volcans, dont quelques-uns sont en repos tandis que les autres furent continuellement. Les principaux sont le Tunguagua, le Carahuirazo, le Cotopaxi, l'Antisana, le Pichincha, l'Imbabura, le Sangay et le gigantesque Chimborazo. La

série des montagnes fumantes ne recommence qu'à 1500 kilomètres au sud du Sangay, dans le Pérou méridional. Les monts d'Antuco, de Villarica, d'Osorno, dans le Chili, complètent la série des grands volcans américains. Mais les forces intérieures se font encore jour plus au sud : à la pointe extrême de la Terre-de-Feu, dans les îles Shetland du sud et dans le grand continent austral, où J. Ross découvrit les deux volcans Érebe et Terror. De là, s'infléchissant vers le nord, le grand cercle de feu, après avoir fait à peu près le tour du monde, se referme vers la Nouvelle-Zélande.

L'océan Indien a, comme le Pacifique, sa ceinture de volcans, bien qu'elle soit un peu moins accentuée. Dominé à l'est par les cônes de Java et de Sumatra, il présente au nord les pics volcaniques de Nicobar et d'Andaman ; à l'ouest, la presqu'île de Kutch et le delta de l'Indus, si souvent ravagés par des tremblements de terre ; sur les côtes arabiques, de nombreuses collines de lave ; enfin le Kenia, le seul volcan, dit-on, de l'Afrique orientale. A l'est de ce continent, la chaîne des volcans se continue par un grand nombre d'îles telles que Socotora, Maurice, la Réunion, Saint-Paul et Amsterdam.

Les bords de l'Atlantique sont aussi couverts de volcans. Au nord sont les pics de Jean-Mayen et de l'Islande. Dans cette dernière île, les volcans abondent ; les principaux sont le Krabla, le Cattalogia, l'Eifialla-Jokull, l'Eirefa-Jokull, le Skaptaa-Jokull, le Skaptaa-Sissel, le Wester-Jokull, l'Héklä et son cortège de geysers. A 2500 kilomètres environ plus au sud se dressent au milieu de la mer les pics des Açores, dont quelques-uns seulement sont aujourd'hui en activité. Cette grande ligne se continue au sud par les Canaries, les îles du Cap-Vert et le Camerone, unique volcan actif de la côte occidentale d'Afrique. La côte américaine de l'Atlantique est plus riche en volcans. C'est là que, dans un espace relativement étroit, sont groupées les cimes fumantes, les solfatares, les sources thermales ou boueuses de la Trinité, de Gre-

nade, de Saint-Vincent, de Sainte-Lucie, de Saint-Domingue, de la Guadeloupe, de Montserrat, de Nevis, de Sainte-Croix, de Saint-Eustache.

La Méditerranée n'est pas, au moins à l'époque actuelle, entourée, comme les deux grands océans, par un cercle de volcans. Mais les lacs des Apennins occupent presque tous le fond d'anciens cratères; on trouve aussi des preuves évidentes d'une ancienne activité volcanique dans les champs phlégréens, dans les monts Euganiens, dans les montagnes du centre et du sud de la France, en Espagne, dans les Baléares. Du reste, aujourd'hui encore, la Méditerranée nous offre des confirmations de la loi citée au commencement de ce chapitre. L'Etna, le Vésuve, Stromboli, Vulcano, l'Epoméo et Santorin sont tous, soit dans de petites îles, soit tout près du rivage. C'est, de même, près de la mer Caspienne que se trouvent les volcans de boue et de gaz de la presqu'île d'Apchéron et la cime escarpée du Démavend.

On ne peut pas voir davantage une exception à la loi dans les volcans mongols, le Turfan, qui fume, dit on, toujours, et le Pe-Cham qui aurait été, suivant l'histoire, actif jusqu'au septième siècle. En effet, la partie de l'Asie où ils s'élèvent, bien que continentale, est précisément celle où s'amassent les plus grandes quantités d'eaux lacustres et saumâtres; c'est le débris d'une ancienne mer intérieure presque aussi grande que l'Europe.

95. Nombre des volcans. — Il est difficile de fixer exactement le nombre des volcans aujourd'hui en activité. Humboldt en a compté 223, et Keith Johnston 270, dont 190 dans les îles et le cercle de feu du Pacifique. Mais ces chiffres sont probablement au-dessous de la vérité, beaucoup de volcans considérés comme éteints reprenant de temps à autre leur ancienne activité.

CHAPITRE XIV.

DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DES VÉGÉTAUX.

La vie des végétaux est liée aux conditions de l'atmosphère et du sol dans le lieu où ils sont implantés. Nous avons examiné sommairement les agents dont ils dépendent; nous allons en résumer les diverses combinaisons.

96. Évaporation à la surface de la terre. — La porosité des sols cultivés leur permet de recevoir une quantité d'eau considérable et de la retenir avec une assez grande énergie. Cette eau n'y est pas à l'état de continuité; lorsque la pluie ou la fonte des neiges en ont rempli momentanément les vides du sol, elle s'écoule généralement avec assez de rapidité au travers du sous-sol par les drains naturels ou effectués de main d'homme. Les plus petits interstices capillaires restent seuls remplis et ne cèdent leur eau qu'avec une extrême lenteur. La vacuité des interstices grands et moyens est indispensable à la plupart des plantes cultivées qui périssent dans un sol trop gorgé d'eau; par contre, ces plantes en puisent encore dans un sol en apparence sec et friable, ne laissant rien couler même sous une forte pression. Mais l'évaporation vient souvent réduire considérablement la part d'humidité que le sol peut fournir à la végétation.

Les expériences faites par M. Maurice, de Genève, sur

l'évaporation à la surface de l'eau et du sol l'ont conduit aux résultats suivants :

	Évaporation à la surface			Pluie.	Reste de l'eau pluviale.
	de l'eau, millim.	du sol.			
Janvier.....	4,5	5,6	53,5	+ 47,8	
Février.....	5,0	27,3	111,7	+ 84,4	
Mars.....	46,0	35,6	10,4	- 24,3	
Avril.....	136,3	23,2	9,2	- 14,0	
Mai.....	109,4	31,8	23,7	- 8,1	
Juin.....	116,2	66,1	97,2	+ 31,1	
Juillet.....	147,5	58,2	79,2	+ 21,0	
Août.....	219,7	47,4	42,9	- 4,5	
Septembre...	163,5	33,4	40,8	+ 7,4	
Octobre.....	191,7	35,4	95,4	+ 60,0	
Novembre...	63,4	20,3	42,9	+ 22,5	
Décembre....	7,0	17,9	46,7	+ 28,8	
Totaux..	1210,2	402,3	643,5	+ 252,2	

De son côté, M. de Gasparin a trouvé pour Orange les résultats suivants :

	Évaporation à la surface			Pluie.	Reste de l'eau pluviale.
	de l'eau, millim.	du sol.			
Janvier.....	57,2	12,3	46,1	+ 33,8	
Février.....	88,2	56,0	52,7	- 3,3	
Mars.....	159,0	77,0	41,4	- 35,6	
Avril.....	186,7	49,0	57,6	+ 8,6	
Mai.....	227,7	68,8	61,5	- 6,5	
Juin.....	297,3	85,0	47,0	- 38,0	
Juillet.....	378,5	21,7	28,1	+ 6,4	
Août.....	306,1	17,7	49,2	+ 31,5	
Septembre..	180,7	35,4	105,0	+ 69,6	
Octobre.....	181,2	76,0	101,5	+ 25,5	
Novembre..	103,2	45,2	82,6	+ 37,4	
Décembre....	115,4	36,0	49,3	+ 13,3	
Totaux.	2281,3	579,3	722,0	+ 142,7	

Ainsi, à Genève l'évaporation à la surface de la terre enlevait les 0,61 de la pluie tombée; à Orange elle en ôtait

les 0,80. Dans l'une et l'autre localité, la pluie laisse un excédant sur l'évaporation terrestre. Cet excédant est, à Genève, des 0,386 de la totalité; à Orange, il n'est que des 0,17 pour toute l'année; il y descend à 0,09, si on ne considère que les sept mois compris de février à octobre; l'évaporation y est même supérieure à la pluie si l'on s'arrête à la fin du mois d'août. Bien qu'il tombe à Orange plus de pluie qu'à Genève, les plantes y ont donc moins d'eau pluviale à leur disposition.

97. De l'humidité ou de la sécheresse d'un climat.

— L'humidité d'un climat ne se juge pas d'après la quantité d'eau qui y tombe chaque année. Il pleut à Orange plus qu'à Paris, et cependant le climat d'Orange est plus sec que celui de Paris. Le nombre des pluies annuelles donnerait une mesure plus approchée, et pourtant inexacte encore. Une ondée, précédée et suivie chaque jour d'un soleil chaud et d'un vent assez fort, ne produira pas le même effet qu'une pluie fine, prolongée, avec un ciel entièrement couvert. L'hygromètre lui-même donnerait des résultats incertains avec l'emplacement à l'ombre qu'on lui donne d'ordinaire. Le moyen réellement pratique consiste dans l'emploi de l'évaporomètre. Tel jour ou tel mois seront humides si l'évaporation y est inférieure à la pluie tombée; ils seront secs au contraire si l'évaporation l'emporte sur la pluie; ils seront d'autant plus secs que l'excès sera plus grand.

Les climats secs et les climats humides ont, les uns et les autres, leurs avantages et leurs inconvénients.

Les climats humides sont pourvus d'une riche végétation herbacée; mais la lumière et la chaleur y font généralement défaut dans nos régions tempérées; les herbes y manquent de principes nutritifs et les blés de gluten.

Dans un climat sec, l'évaporation est très abondante, et, tant que le sol fournit à la plante une quantité d'eau suffisante et suffisamment chargée de substances assimilables, la croissance du végétal est considérable; le développe-

ment de ses parties est complet, si de plus la chaleur atteint le degré voulu. Mais, si l'humidité de la terre fait défaut, la plante meurt. A côté de la sécheresse ou de l'humidité de l'air, il y a donc à considérer l'état du sol.

Pendant les mois où la quantité d'eau tombée l'emporte sur l'évaporation, les terrains qui, à saturation, retiennent plus de 0,40 de leur poids d'eau sont humides; ils deviennent secs quand l'évaporation l'emporte sur la pluie; mais ici les circonstances locales jouent un très-grand rôle. Les irrigations peuvent suppléer à l'absence de pluie; le sol pourra être argileux, peu profond, dominé par des hauteurs, dont les pentes s'égoutteront sur sa surface, et ayant lui-même peu d'inclinaison. Il sera humide, tandis que l'air sera sec.

Dans les climats secs, nous trouverons donc des terrains secs, où la végétation languit et disparaît, et des terrains humides, où la végétation luxuriante bénéficie de l'abondance de la chaleur et de la lumière. Là, tous les soins de l'agriculture doivent se tourner vers l'aménagement et la distribution des eaux courantes.

Dans les climats humides, il y a des terrains humides par nature ou par position, propres aux herbages si l'humidité du sol n'est pas trop grande; nous y trouvons aussi des terrains secs par nature, par position, ou par le travail de l'homme, les céréales peuvent y prospérer, si les pluies ne sont pas intempestives. Dans les régions ordinaires des céréales, si les mois du printemps sont secs, la récolte du blé souffre, cette plante ne talle pas et monte sur un seul pied. Quand ils sont tous humides, le blé jaunit, donne peu de grain et renferme peu de gluten.

98. Zones climatériques. — Sous la zone des calmes équatoriaux, le ciel est presque toujours couvert de nuages qui se déplacent avec elle. Sous les zones des alizés, le ciel est, au contraire, toujours pur. A mesure qu'on s'éloigne des tropiques vers les pôles, au delà des calmes tropicaux, les nuages reparaissent avec la saison plu-

vieuse; mais, cette saison tombant d'abord en hiver, l'été conserve un ciel généralement pur. A des latitudes encore plus élevées, les nuages s'étendent à tous les mois de l'année, avec des alternatives de temps couvert et de temps clair. Sur la partie des côtes occidentales de l'Europe, où affluent les eaux du Gulf-stream et où dominent les vents d'ouest, les nuages se montrent plus denses et plus persistants. Le ciel de l'Irlande est presque toujours couvert ou fortement nuageux, un ciel complètement dégarni de nuages y est très-rare; il l'est moins sur le nord-ouest de la France, moins encore dans l'est et sur l'Allemagne, moins encore dans le midi de la France où les jours couverts sont moins nombreux que les jours sans nuages.

Dans les régions intertropicales, où les pluies sont nettement groupées sur une ou deux saisons pluvieuses alternant avec une ou deux saisons sèches, la végétation subit de semblables intermittences. Le sommeil des plantes y correspond à la saison sèche, quelle que soit l'élévation de la température. La végétation continue seulement sous l'abri des forêts et dans les lieux où le sol est maintenu à un degré d'humidité suffisante. La zone des déserts n'est pas infertile par elle-même, et les oasis y naissent partout où les eaux souterraines peuvent être ramenées à la surface pour suppléer, par les irrigations, à l'extrême rareté des pluies. La culture y est, toutefois, spécialisée par l'élévation extrême de la température, par la sécheresse habituelle de l'air et par l'extrême rapidité de l'évaporation. Il ne suffit pas, en effet, de donner de l'eau aux racines, il faut encore que ces dernières puissent pourvoir aux pertes effectuées par la surface des feuilles. Là même où les pluies abondent, nos plantes et nos arbres ne pourraient vivre, ou leurs produits changeraient de valeur; ils font place à des végétaux plus précieux. Mais quand, dans ces régions, on s'élève à une hauteur telle que la température moyenne s'y rapproche de celle de nos pays, comme sur les hauts plateaux du Mexique,

nos céréales et nos arbres fruitiers y reparaissent avec avantage.

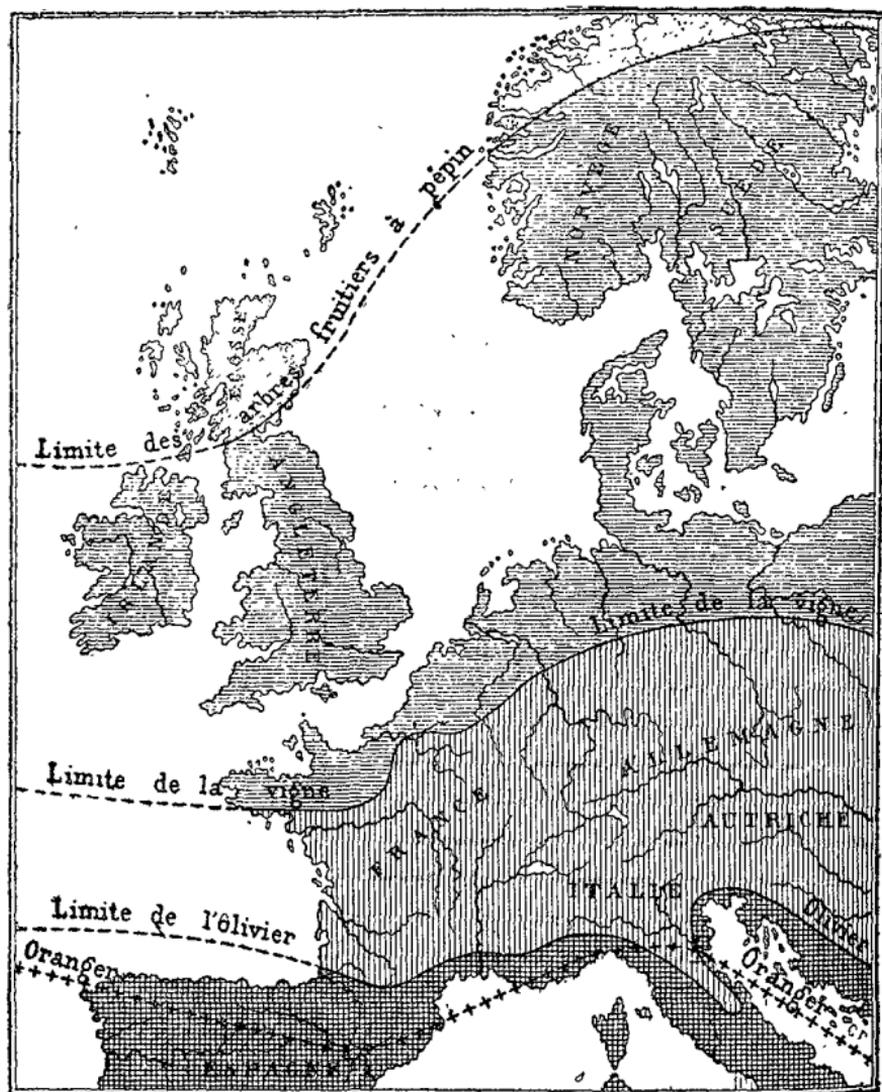


Fig. 28.

Dans nos régions tempérées, la distribution de la cha-

leur et des pluies amène dans les climats des différences moins prononcées, mais cependant encore assez importantes pour qu'Arthur Young ait essayé d'en déterminer les limites. On peut ainsi partager l'Europe en cinq régions principales : celles des oliviers, des vignes, des céréales, des pâturages et des forêts.

99. Région des oliviers. — La côte septentrionale de l'Afrique paraît être la patrie de l'olivier, bien que la rareté de la population ne lui permette pas de prendre l'extension que comporte le climat. La récolte du blé s'y fait vers le 25 mai; puis la terre se repose jusqu'à l'automne, à cause de la rareté des pluies d'été, lorsqu'elle n'est pas occupée par la végétation arbustive. Les îles de la Méditerranée, la Sicile, la Sardaigne, la Corse, les îles Baléares sont dans le même cas; il en est de même de la Grèce, de la Judée, de l'Asie Mineure. Sur la côte ouest de la Péninsule Ibérique, l'olivier ne remonte pas au delà du Portugal; les vents de sud-ouest et les nuages commencent à s'y montrer en été, abaissent la température et rendent l'été moins sec; mais, sur la côte orientale, on voit partout l'olivier au premier rang. En France, nous le trouvons sur le versant méditerranéen, jusqu'à Arles (Ariège), Olette, Carcassonne, Sidobre, Saint-Chignan, Saint-Pons, Lodève, Le Vigan, Saint-Jean-du-Gard, Alais, Le Vans, Joyeuse, Aubenas, Beauchâtel, Donzère, Montségur, Nyons, Villeperdrix, Le Buis, Sisteron, Digne, Bargemont, etc. Il y succombe souvent aux rigueurs du froid et y est maintenu bas, à portée de la main; mais ses produits y sont rémunérateurs. L'olivier exige que les froids de l'hiver ne descendent pas au-dessous de 7 ou 8 degrés, ou qu'une température un peu plus basse ne dure pas au delà de quelques jours; autrement il périt. Il exige également, en été, un ciel clair et peu nuageux, autrement son fruit ne mûrit pas. La culture des céréales peut être fructueuse dans une grande partie de la région des oliviers, où la sécheresse est moins grande en été; mais

la culture arbustive, et spécialement celle de l'olivier, y est partout la grande ressource des habitants.

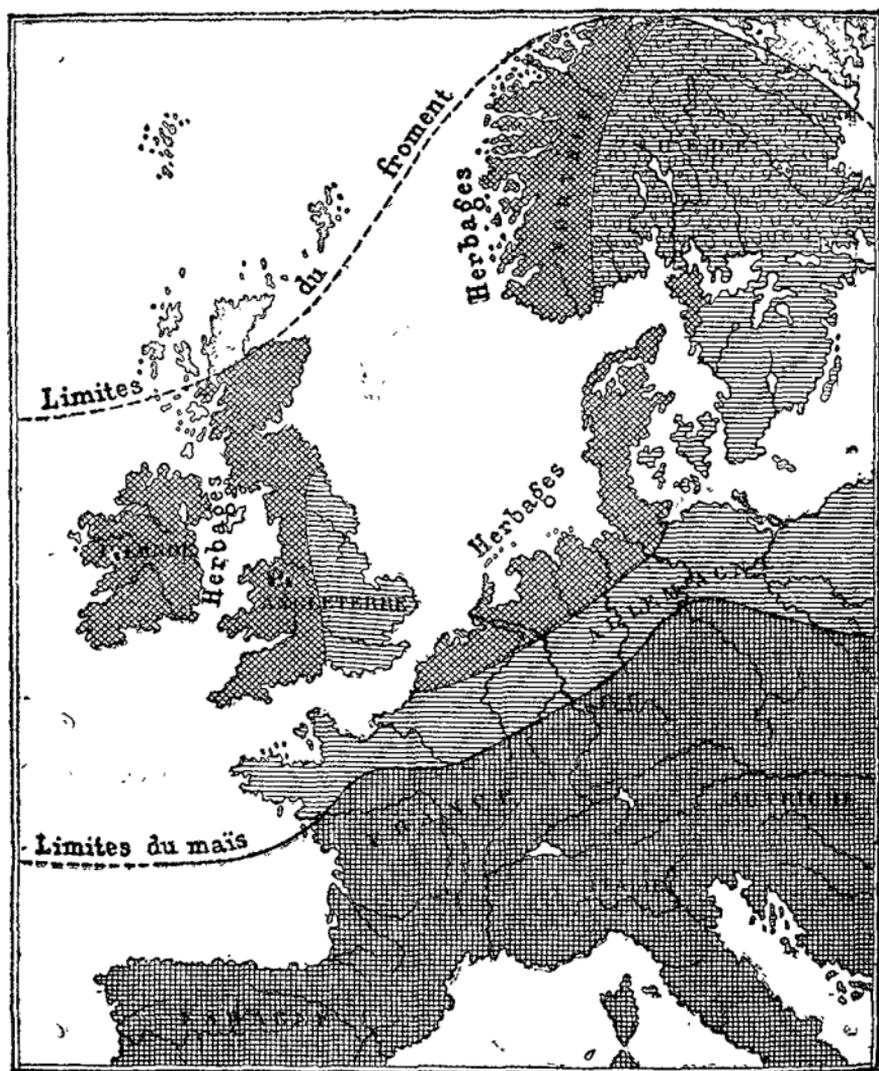


Fig. 29.

La figure 28 nous donne sommairement les limites de la culture en grand de cette précieuse plante.

100. Région du maïs et des vignes. — Le maïs a besoin de chaleur, comme l'olivier; mais il lui faut de plus un sol frais, et, par conséquent, des pluies en été, pas trop nombreuses, ou des irrigations. Sa culture est donc repoussée de la région des oliviers par la sécheresse de l'été; elle s'arrête au nord, là où le ciel, trop nuageux, restreint la chaleur solaire. Elle est limitée au nord par une ligne dirigée de l'embouchure de la Garonne à Spire. (Fig. 29.) Dans les pays qu'elle embrasse, le maïs est surtout cultivé dans les plaines qui bordent les Pyrénées, dans les vallées qui descendent du Jura, dans la Lombardie, la Vénétie, la Carinthie, l'Autriche, la Hongrie; dans les plaines, en un mot, les plus chaudes ou les moins nuageuses, et, en même temps, dont la terre est la plus fraîche de toute la région.

La région des vignes se partage en deux parties assez distinctes : celle où la vigne mûrit en plaine et sans abri, c'est à peu près la région du maïs; celle où la vigne ne mûrit que sur les pentes plus ou moins dirigées vers le midi. Dans ce dernier cas, la vigne n'étant plus la culture générale du pays, elle devient la spécialité de certaines expositions; elle n'est la culture la plus profitable que dans ces expositions dont le climat diffère de celui de l'ensemble du pays : c'est aussi la région des céréales.

La vigne, en y comprenant ces deux sous-régions, a pour limites au midi celles de l'olivier. Elle embrasse ensuite une grande partie du plateau central de l'Espagne et toutes ses côtes ouest et nord; la France, à l'ouest des Corbières et au nord de la limite des oliviers, jusqu'à une ligne qui, partant de Guérande, à l'embouchure de la Loire, se dirige vers le Rhin, en passant un peu au nord de Paris, et s'arrête aux environs de Dresde. De là, rétrogradant le long des frontières de la Bohême pour venir reprendre le Rhin au nord de Coblenz, la ligne-limite suit ce fleuve, enferme les bords du lac de Constance, retourne alors vers l'ouest à l'approche des hautes montagnes de la Suisse. ne comprend dans son enceinte

que les parties inférieures des vallées de l'Aar, de la Thiele, du lac Léman et le Valais. Traversant les Alpes vers le milieu de ce dernier canton, elle en suit les pentes méridionales, embrasse la terre ferme de Venise, revient traverser les Alpes pour enfermer la basse Autriche, la Hongrie, la Valachie, et s'étend en Orient jusqu'en Crimée. Les pays montagneux, la Serbie, la Bulgarie, sont seuls exceptés et forment des îles terrestres appartenant à la région des céréales et à celle des pâturages.

La région des vignes se distingue de celle des oliviers par une moindre température de l'été et de l'automne. A mesure qu'on monte vers le nord, cette température s'affaiblit graduellement, les ceps de vigne perdent de leur grosseur, s'effilent, la maturité devient moins complète, le sucre diminue dans le raisin. Il faut avoir recours à des espèces hâtives. Mais le vin acquiert des qualités inconnues dans le midi, jusqu'à ce qu'on s'avance trop près des limites du nord, auquel cas, la maturité devient trop incomplète. La culture de la vigne, plus délicate, s'y spécialise de plus en plus dans la main des vigneron, et exige plus de soins et plus de frais.

La culture de la vigne est associée à celle du maïs ou du froment, suivant qu'on entre dans la subdivision méridionale ou qu'on passe dans l'autre. La Lombardie regarde le maïs comme l'aliment de première nécessité que le froment ne peut suppléer. Dans le Languedoc et la Franche-Comté, ces deux grains servent concurremment à la nourriture; ils occupent les terres les plus fertiles de la région; la vigne, moins exigeante, occupe les coteaux, et, d'autant plus qu'en s'avancant vers le Nord elle a besoin d'une meilleure exposition. Le trop fréquent retour des sécheresses y rend les récoltes fourragères incertaines et s'oppose à l'extension de l'élève du gros bétail; mais, dans les terres relativement humides, dans celles que l'on peut arroser copieusement, les plantes fourragères prospèrent; la luzerne et le sainfoin donnent des coupes abondantes et nombreuses. Dans la région plus septentrionale, la

sécheresse moindre permet de donner plus d'extension aux prairies naturelles et au trèfle qui exige un sol plus humide et ne porte que là de pleines récoltes.

101. Région des céréales. — Au nord et à l'est de la région des vignes se trouve la région des céréales. Elle s'étend avec plus ou moins de succès sur toute la région précédente; mais elle ne devient la principale et la plus riche culture qu'au delà de la région du maïs, sauf l'intervention de circonstances locales, car en agriculture surtout on ne saurait poser de règles absolues. Sa limite, au nord, rencontre la région des pâturages et celle des forêts. Elle laisse en dehors, en France, une partie des côtes du Poitou, de la Bretagne, de la Normandie, de la Picardie, que leur climat et la nature de leur sol placent dans la région des pâturages; il en est de même des côtes de Belgique, de la Hollande tout entière, de la Westphalie, du Danemark et de la Norvège. La partie orientale de l'Angleterre, où il pleut moins que dans la partie occidentale, rentre dans la même région, bien qu'on puisse aussi la comprendre dans la région des pâturages.

A mesure que le climat est moins favorable à la vigne, les céréales restent de plus en plus maîtresses du terrain, mais elles s'arrêtent pour prendre une position secondaire quand l'humidité du sol ou du climat favorise la production spontanée des herbages et des récoltes racines. Elles disparaissent entièrement dans le nord quand la chaleur et la lumière estivales descendent au-dessous d'une certaine limite. On les retrouve cependant dans quelques cantons du nord de la Norvège, dans certaines localités convenablement abritées contre les nuages et les pluies. A Lyngen, par le 70° degré de latitude, le ciel est d'une sérénité constante et le soleil restant près d'un mois sur l'horizon, il n'y a pas de réfrigération nocturne. Le blé y donne dix à douze fois la semence; à la fin de juin les lilas sont en fleur.

La région des céréales est la terre classique des assole-

ments où l'on fait alterner les grains avec les fourrages, les plantes à cosse et les racines. L'ordre des cultures y est aussi régulier que celui des assolements. La terre ouverte au printemps peut continuer à recevoir des labours tout l'été. L'hiver est un temps de repos qui permet de s'occuper des travaux industriels et de l'instruction populaire. Cette régularité du climat et des opérations de la culture réagit sur les populations qui sont les plus instruites et les plus morales de l'Europe.

102. Région des pâturages. — Les pâturages peuvent exister partout en plus ou moins grande abondance. Ils se divisent naturellement en trois classes.

1° *Les pâturages d'hiver* comprenant les Landes, les plaines de la Crau, près d'Arles, et d'autres terrains caillouteux en Languedoc et en Provence, le basse Camargue et plusieurs autres espaces attenant à la mer en Languedoc et en Provence, les côtes de Corse et de Sardaigne, des terrains fort vastes en Algérie, les Maremmes de la Toscane, les marais Pontins, des sites très-nombreux dans le royaume de Naples et en Sicile. Ce sont des terrains arides manquant de fertilité, qui se couvrent d'herbe en hiver et au printemps, mais ne sont pas susceptibles de porter des récoltes qui payent les cultures; ou bien, ce sont des terres fertiles que le mauvais air et la dépopulation empêchent de livrer à une culture active.

2° *Les pâturages d'été*, déterminés par la permanence des neiges en hiver, comprennent toutes les cimes et les plateaux des montagnes suffisamment élevées, suivant la latitude, la Westphalie, le Danemark, la Norvège, la Laponie, la Russie et une partie de la Sibérie, jusqu'à une latitude où le peu de durée des étés ne permet plus de recueillir la pâture nécessaire aux animaux pendant l'hiver.

3° *Les pâturages pérennes* comprennent: sur les côtes de France, la partie du Poitou, de la Bretagne, de la Normandie, la plus rapprochée des côtes et surtout celle qui

forme le fond des vallées ; la moitié occidentale de l'Angleterre, l'Irlande, l'Écosse, la Hollande, certaines parties des côtes de Norvège, de Suède et du Danemark. La croissance des herbages y est en toute saison si abondante et si assurée que le résultat économique de cette récolte venant sans frais l'emporte sur celui des autres récoltes. L'Irlande est la terre classique des pâturages. La culture du froment y est un contre-sens. L'Angleterre jouit d'un climat moins humide, et cependant, surtout dans l'ouest, les herbages y sont l'emploi du sol le plus rationnel en général. La Bavière est dans des conditions à peu près analogues ; mais la plus grande rigueur des hivers oblige à des approvisionnements pour cette saison et à des constructions dispendieuses qui sont inutiles dans les régions voisines de la mer et où la température de l'hiver est plus douce ; ou bien il faut faire voyager les troupeaux des pâturages d'été aux pâturages d'hiver.

105. Région des forêts. — La région des forêts embrasse au nord une vaste étendue où la longueur des hivers et le peu de développement des herbes pendant l'été ne permettent plus aux habitants de nourrir avec profit des animaux. Elle occupe, aux latitudes moins élevées, la partie la plus haute et la plus escarpée des montagnes où l'altitude produit les mêmes effets que la latitude au nord. La rareté des pâturages dans le midi a conduit les habitants à déboiser beaucoup de montagnes qui se sont dénudées par l'effet de ravinement des pluies, la sécheresse habituelle du sol ne permettant pas aux herbes de le fixer d'une manière suffisante et encore moins de le renouveler. Le reboisement de ces montagnes est une œuvre utile. La nécessité des bois de chauffage et de construction a fait au contraire conserver, dans la région des céréales et dans celle des pâturages, des forêts qui pourraient être livrées à la culture.

L'isolement des peuples, les difficultés artificielles ou naturelles des transports d'une région à l'autre, ont pen-

dant longtemps obligé à réunir dans une même région des cultures pour lesquelles elle n'est pas faite. Le premier acte de sagesse en agriculture consiste à mettre les saisons de son côté : « Il n'est pas d'ennemi avec lequel on lutte plus désavantageusement que le climat, dit M. de Gasparin. Quand, avec toutes les ressources de l'art, on cultive les plantes qui sont le mieux appropriées aux conditions du sol et du climat, on peut braver tous les rivaux qui, moins favorisés, voudraient se présenter sur le marché avec des productions venues sous des circonstances plus défavorables. » Depuis 1844, époque où M. de Gasparin publiait son *Cours d'agriculture*, bien des progrès ont été réalisés, bien des barrières se sont abaissées. L'adaptation des cultures au climat est devenue plus impérieuse encore.

Il y a des lois générales en physique, en physiologie, en économie sociale qu'il faut savoir appliquer à l'agriculture ; mais il n'y a pas d'agriculture générale ; chaque région, chaque fraction spéciale de région, doit avoir la sienne propre, qu'il ne faut pas confondre avec les pratiques nées d'un autre temps.

FIN.

CARTE DE L'EUROPE
après un affaissement du sol de 160 mètres.

Fig.



Dessiné par E. Guillemin, d'après Olsen, Berghaus et Sonrel

Gravé par Erhard.

TABLE DES CHAPITRES.

Chapitre I.	Distribution des eaux à la surface du globe.	1
— II.	Lacs et mers intérieures.....	17
— III.	Fleuves et bassins hydrographiques.....	28
— IV.	Orographie du globe.....	38
— V.	Principales chaînes de montagnes.....	54
— VI.	Température du globe.....	71
— VII.	Circulation générale de l'atmosphère.....	90
— VIII.	Perturbations atmosphériques.....	105
— IX.	Vapeurs et nuages.....	112
— X.	Pluie et neige.....	123
— XI.	Des orages.....	134
— XII.	Température de l'écorce terrestre.....	144
— XIII.	Volcans. — Leur distribution géographique.....	159
— XIV.	Distribution géographique des végétaux.....	167

FIN DE LA TABLE.