

# NOTICE

SUR LES

# TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

**M. CHARLES LORY**

PROFESSEUR DE GÉOLOGIE A L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE.

---

PARIS

A. COTILLON & C<sup>ie</sup>, IMPRIMEURS-ÉDITEURS,

*Libraires du Conseil d'État et de la Société de Législation comparée,*

24, RUE SOUFFLOT, 24.

— .  
1881

---

# NOTICE

SUR LES

# TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. CHARLES LORY.

---

M. Lory, ancien élève de l'Ecole Normale, a été professeur de sciences physiques dans les Lycées de Grenoble, de Poitiers et de Besançon; professeur suppléant du cours de minéralogie et de géologie à la Faculté des sciences de Besançon, en 1849, et de 1849 à 1881, professeur de minéralogie et de géologie à la Faculté des sciences de Grenoble. En 1869, il a fait, comme professeur suppléant, le cours de géologie à la Faculté des sciences de Paris. Il vient d'être appelé à succéder à M. Delesse dans l'enseignement de la géologie à l'Ecole Normale supérieure.

Ses principaux travaux se rapportent à la géologie de la région des Alpes françaises et du Jura, et embrassent surtout de nombreuses questions stratigraphiques concernant tous les termes de la série des terrains de cette région. En s'attachant particulièrement à étudier avec précision la structure orographique des Alpes et à en représenter les détails par des profils exacts, M. Lory a pu établir le rôle considérable qu'y jouent de grandes *failles* non encore signalées et les contacts

anormaux, les renversements de strates, qui sont subordonnés à ces grandes dislocations. Il en est résulté l'explication de diverses anomalies stratigraphiques apparentes, longtemps discutées, et le résultat général de ces recherches a été de montrer de plus en plus l'accord de la série stratigraphique des Alpes avec celle des régions voisines moins bouleversées.

Chargé, en 1854, en 1861 et en 1881, de diriger les excursions et de rédiger les comptes-rendus des réunions de la Société géologique de France dans la région des Alpes, M. Lory a pu soumettre à ses confrères, sur les lieux mêmes, les résultats de ses travaux. Il a eu l'occasion de résumer les principes de la structure des Alpes dans une conférence à la Sorbonne, en 1868, et il y a fait exécuter, à cette occasion et, plus tard, pour le cours qu'il y a professé comme suppléant, en 1869, et pour l'excursion des élèves de l'École des hautes études qu'il a été chargé de diriger dans les Alpes françaises, de nombreux profils géologiques originaux, en partie inédits.

Ces travaux ont donné lieu à une *Carte géologique du Dauphiné* (Isère, Drôme et Hautes-Alpes), publiée à l'échelle  $\frac{1}{230,000}$  (1858) et à une *Description géologique* de cette province en 3 vol. in-8° (1860-64). Toutes les explorations sur le terrain et la publication de cet ouvrage ont été effectuées aux frais de l'auteur. Depuis, il a exécuté, dans les mêmes conditions d'initiative, de concert avec MM. Vallet et Pillet, l'exploration du département de la Savoie, dont la minute géologique a été tracée et coloriée par lui, sur la carte de l'état-major italien, à l'échelle  $\frac{1}{50,000}$ . Cette carte a été publiée à l'échelle  $\frac{1}{150,000}$ .

Attaché depuis cinq ans au Service de la *Carte géologique détaillée de la France*, M. Lory a effectué les relevés des quatre feuilles de Grenoble, de St-Jean de Maurienne, de Vizille et de Briançon ; ces feuilles entièrement coloriées et accompagnées de nombreux profils géologiques à  $\frac{1}{40,000}$ , ont fait partie de l'Exposition du Ministère des Travaux publics à l'exposition universelle de 1878. Il y a joint depuis, les feuilles de Bonneval et d'Aiguilles et l'ensemble de ces six feuilles a figuré, cette année, dans l'envoi de la Direction de la *Carte géologique de la France* à l'Exposition internationale de Géographie de Venise.

L'ensemble des travaux géologiques de M. Lory a été honoré de deux médailles décernées par M. le Ministre de l'instruction publique, une médaille d'or, en 1869, au concours des sociétés savantes et une médaille de vermeil à la suite de l'exposition universelle de 1878.

M. Lory a été élu, en 1877, correspondant de l'Académie des sciences dans la section de Minéralogie et Géologie, en remplacement de M. Naumann.



# LISTE CHRONOLOGIQUE DES TRAVAUX

PUBLIÉS

PAR M. LORY.

---

1847. — 1. *Etudes sur les terrains secondaires des Alpes dans les environs de Grenoble*; thèse de géologie présentée à la Faculté des sciences de Paris, 1847, in-8°, 136 p., 2 pl.
1847. — 2. *Sur la respiration et la structure des Orobanches et autres plantes vasculaires dépourvues de parties vertes.* — Thèse de botanique pour le doctorat ès-sciences; travail inséré dans les *Annales des sciences naturelles*, septembre 1847.
1847. — 3. *Note sur la Dôle (Jura)* en collaboration avec M. Pidancet, *Bulletin de la Société géologique*, 2<sup>e</sup> sér., t. V, p. 20,
1849. — 4. *Sur la présence et les caractères de la craie dans le Jura*, *ibid.*, t. VI, p. 690
1849. — 5. *Fossiles d'eau douce dans une assise placée à la limite entre le terrain jurassique et le terrain néocomien, dans le Jura*; *Comptes-rendus de l'Acad. des sciences*, 14 octobre 1849.
1849. — 6. *Mémoire sur les terrains crétacés du Jura*, remis en 1849, mais publié seulement en 1857, dans les *Mém. de la Soc. d'émulation du Doubs* 3<sup>e</sup> sér.; t. II, p. 235 à 290.
1850. — 7. *Sur la composition minéralogique et chimique de quelques roches des Alpes du Dauphiné (diorites)*; *Bull. de la Soc. géol.*, sér. 2, t. VII, p. 540.
1850. — 8. *Note sur le terrain de craie dans le département de l'Isère*, *Bull. de la Soc. de stat. de l'Isère*, 2<sup>e</sup> sér., t. I, p. 194.
1851. — 9. *Recherches sur la composition minéralogique et chimique des roches dans les Alpes du Dauphiné*, *ibid.*, p. 242

1851. — 10. *Sur le plateau jurassique du nord du département de l'Isère et sur les dépôts erratiques dont il est recouvert*; *Bull. de la Soc. géol.*, t. IX, p. 48, et *Bull. de la Soc. de stat. de l'Isère*, 2<sup>e</sup> sér., t. I, p. 351.
1851. — 11. *Sur la série des terrains crétacés du département de l'Isère*, mém. lu à l'Académie des sciences, *Comptes-rendus*, 10 nov. 1851, et *Bull. de la Soc. géol.*, 2<sup>e</sup> sér., t. IX, p. 51.
1852. — 12. *Coupes géologiques des montagnes de la Grande-Chartreuse*; *Bull. de la Soc. géol.*, t. IX, p. 226, une planche de coupes; *Essai géologique sur le groupe de montagnes de la Grande-Chartreuse*; *Bull. de la Soc. de stat. de l'Isère*, 2<sup>e</sup> sér., t. II, 77 pages et une planche de coupes.
- 1852-53. — 13. *Sur les terrains du Dévoluy (Hautes-Alpes)*; *Bull. de la Soc. géol.* t. X, p. 20 et 318.
1854. — 14. *Notice sur deux gisements de roches amphiboliques, associées à des euphotides et à des serpentines, dans les environs de Grenoble*; *Bull. de la Soc. de stat. de l'Isère*, 2<sup>e</sup> sér., t. II, p. 353-367.
1854. — 15. *Procès-verbaux de la réunion extraordinaire de la Société géologique à Valence*; *Bull. de la Soc. géol.*, t. XI, p. 713.
1854. — 16. *Sur les terrains crétacés du vallon de la Charce et de quelques autres points du département de la Drôme*, *ibid.*, p. 775.
1854. — 17. *Sur le terrain nummulitique du département des Hautes-Alpes*; *Bull. de la Soc. géol.*, t. XII, p. 7.
1855. — 18. *Sur la composition géologique de la montagne de Crussol (Ardèche)*; *Bull. de la Soc. géol.*, 2<sup>e</sup> série., t. XII, p. 441 et 510.
1855. — 19. *Perforation du granite par des oursins (Echinus lividus) sur les côtes de Bretagne, entre le Croisic et Piriac (Loire-inférieure)*; *Bull. de la Soc. géol.*, 2<sup>e</sup> sér., t. XIII, p. 43.
1856. — 20. *Sur les terrains crétacés de la vallée de Dieulefit (Drôme)*; *Bull. de la Soc. géol.*, 2<sup>e</sup> sér., t. XIV, p. 47.
1857. — 21. *Gisements de phosphates minéraux en Dauphiné*; *Bull. de la Soc. de stat. de l'Isère*, 2<sup>e</sup> sér., t. IV, p. 423.
1857. — 22. *Communications sur divers sujets de la géologie des Alpes*, *Congr. scient. de France*, 24<sup>e</sup> session, t. I.

1857. — 23. *Esquisse d'une carte géologique du Dauphiné; Comptes-rendus de l'Acad. des sciences*, t. XLV, p. 570 (extrait), et *Bull. de la Soc. géol.*, t. XV, p. 10-69.
1858. — 24. *Réponse aux observations de M. Sc. Gras touchant les grès à anthracite du Briançonnais; Bull. de la Soc. géol.*, t. XVI, p. 27.
1858. — 25. *Carte géologique du Dauphiné, comprenant les trois départements de l'Isère, de la Drôme et des Hautes-Alpes, à l'échelle  $\frac{1}{250\ 000}$  gravée et chromo-lithographiée par Avril frères, Paris.*
1859. — 26. *Sur la carte géologique du Dauphiné et sur quelques points de la géologie de cette province; Bull. de la Soc. géol.*, t. XVI, p. 817.
1859. — 27. *Note sur l'anomalie stratigraphique de Petit-Cœur en Tarantaise; ibid.*, p. 825.
1859. — 28. *Sur des filons de pegmatite traversant un calcaire cristallin intercalé dans le gneiss, près de Montoir (Loire-inférieure); Bull. de la Soc. géol.*, t. XVII, p. 20.
1859. — 29. *Sur les grès de la chaîne des Aiguilles-d'Arves et leur prolongement en Maurienne et dans le Briançonnais; Bull. de la Soc. géol.*, t. XVII, p. 21.
1860. — 30. *Nouveaux documents sur les grès de la Maurienne et du Briançonnais; Bull. de la Soc. géol.*, t. XVII, p. 177.
1860. — 31. *Nouveaux détails sur un gisement de Nummulites, en Maurienne, et considérations sur l'usage des caractères stratigraphiques dans les Alpes; ibid.*, p. 481.
1860. — 32. *Sur le gisement de la craie blanche dans la vallée d'Entremont (Savoie); ibid.*, p. 796.
1860. — 33. *Sur des anomalies apparentes de superposition, par suite de failles ou de renversements, dans les environs de Besançon, pouvant servir à expliquer les mêmes phénomènes dans les Alpes; ibid.*, p. 870.
1860. — 34. *Sur la constitution stratigraphique de la Haute-Maurienne, avec une coupe transversale des Alpes, d'Allevard à Suse; Bull. de la Soc. géol.*, 2<sup>e</sup> sér., t. XVIII, p. 34.
1861. — 35. *Procès-verbaux de la réunion extraordinaire et des excursions de la Société géologique de France, en Maurienne et dans le Briançonnais,*

en septembre 1861; *Bull. de la Soc. géol.*, t. XVIII, p. 694-828, et deux planches de coupes.

1861. — 36. *Compte-rendu d'une excursion géologique dans la vallée d'Entremont* (Savoie); *ibid.*, p. 806.
1862. — 37. *Sur le gisement des gypses des environs de Vizille* (Isère); *Bull. de la Soc. géol.*, t. XIX, p. 720.
1863. — 38. *Carte géologique et coupes géologiques générales du Briançonnais*; *Bull. de la Soc. géol.*, t. XX., p. 3 et 4.
1863. — 39. *Sur les dépôts tertiaires et quaternaires du Bas-Dauphiné*, *ibid.* p. 363.
- 1860-64. — 40. *Description géologique du Dauphiné* (Isère, Drôme et Hautes-Alpes), pour servir d'explication à la carte géologique de cette province; publiée en trois parties dans les t. V, VI et VII du *Bull. de la Soc. de stat. de l'Isère*, et tirée à part, in-8°, 748 p., 5 pl. de coupes géologiques et une carte, imp. Maisonville, Grenoble; Paris, F. Savy.
1864. — 41. *Essai d'une nouvelle explication de l'anomalie stratigraphique de Petit-Cœur*, en Tarantaise; *Bull. de la Soc. géol.*, t. XXII, p. 48.
1866. — 42. *Notice sur une Carte géologique de la Maurienne et de la Tarantaise* (Savoie), par MM. Lory et Vallet.  
*Essai sur la structure géologique de la partie des Alpes comprise entre le Mont-Blanc et le Mont Viso*; *Bull. de la Soc. géol.*, t. XXIII, p. 480-497.
1866. — 43. *Sur le gisement de la Terebratula diphya dans les calcaires de la Porte-de-France*; *Bull. de la Soc. géol.*, t. XXIII, p. 516.
1866. — 44. *Sur les couches à poissons de Cirin et Zambites Feneonis de Morestel* (Isère); *ibid.*, p. 612.
1867. — 45. *Note sur la Carte géologique du département de la Savoie et sur quelques faits nouveaux de la géologie de cette province*; *Bull. de la Soc. géol.*, t. XXIV, p. 596.
1867. — 46. Lettre à M. Favre sur la constitution du *trias alpin*; *Archives des Sc. phys. et nat. de Genève*, mai 1867.
1867. — 47. *Sur la structure des Alpes occidentales; observations sur diverses notes de M. Ebray*; *Bull. de la Soc. géol.*, t. XXV, p. 215.
1867. — 48. *Sur la sinuosité des failles dans les Alpes*; *ibid.*, p. 235.



1868. — 49. *Les Montagnes*. — Conférence aux soirées scientifiques de la Sorbonne, avec coupes géologiques de la Chartreuse, de la Maurienne et du massif du Mont-Blanc; *Revue des cours scientifiques*, 5<sup>e</sup> année, n<sup>o</sup> 20.
1868. — 50. Note sur un procédé volumétrique de dosage des bicarbonates dissous dans les eaux de sources ou de rivières; *Comptes-rendus de l'Acad. des sciences*, juillet 1868, t. LXVII, p. 237.
1869. — 51. Deux feuilles autographiées de coupes géologiques, l'une des montagnes de la Chartreuse, l'autre de l'Oisans et de la Maurienne, pour l'excursion des élèves de l'École de hautes études, en juillet 1869; dans la seconde se trouve une coupe générale à travers les Alpes, des Echelles à Suse.
1869. — 52. Tableau comparatif des assises comprises entre le *gault* et l'argile *oxfordienne*, dans le Jura central et dans les environs de Grenoble; inséré dans un mémoire de M. Davidson, *Geological Magazine*, numéro de juin 1869.
1871. — 53. *Sur l'âge des calcaires de l'Echaillon* (Isère); *Bull. de la Soc. géol.*, t. XXIX, p. 80.
1872. — 54. *Carte géologique du département de la Savoie*, à l'échelle  $\frac{1}{150,000}$  en collaboration avec MM. Pillet et Vallet; Chambéry, lith. Perrin, coloriage à la main. Cette carte qui comprend 37 teintes ou divisions géologiques, dont plusieurs nouvelles, est une réduction de la minute au 50,000<sup>e</sup> relevée sur le canevas topographique de la carte de l'état-major italien.
1872. — 55. *Notice géologique et chimique sur les principales variétés de sols cultivables dans le département de l'Isère; et sur les gisements de phosphates de chaux fossiles dans la région des Alpes*; Conseil général de l'Isère, sess. de 1871; Grenoble 1872.
1873. — 56. *Notice géologique et chimique sur les pierres à chaux hydraulique et à ciment de l'arrondissement de Grenoble*; *ibid.*, sess. de 1872; Grenoble 1873.
1873. — 57. *Observations sur la stratigraphie des Alpes graies et cotliennes*; *Bull. de la Soc. géol.*, 3<sup>e</sup> sér., t. I, p. 266.
1873. — 58. *Sur quelques faits de la structure des massifs centraux des Alpes*; *ibid.* p. 397; publié aussi dans les *Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève*, même année.

1874. — 60. *Sur des gisements de gypse dans le terrain jurassique de l'arrondissement de Gap; Bull. de la Soc. géol., 3<sup>e</sup> sér., t. III, p. 17.*
1874. — 61. *Essai sur l'orographie des Alpes du Dauphiné et de la Savoie, considéré dans ses rapports avec la structure Géologique de ces montagnes; Ann. du Club alpin français, 1<sup>re</sup> année.*
1875. — 62. *Sur les alluvions anciennes et les dépôts glaciaires du bois de la Bâtie, près Genève; Bull. de la Soc. géol., 3<sup>e</sup> série, t. III, p. 720.*
1875. — 63. *Sur la structure de la vallée de Chamonix; ibid., p. 783.*
1875. — 64. *Sur les variations de composition minéralogique des schistes cristallins dans les Alpes occidentales; ibid., p. 794.*
1876. — 65. *Dosage de l'oxygène dissous dans les eaux des glaciers et celles des rivières qui en découlent; Bull. de la Soc. géol., t. V, p. 9.*
1878. — 66. *Les coupures transversales des Alpes et les principaux passages de France en Italie, au point de vue de l'orographie géologique; Ann. du Club Alpin français, 4<sup>e</sup> année.*
1878. — 67. *Profils géologiques de quelques massifs primitifs des Alpes; Comptes-rendus de l'Acad. des sciences, t. LXXXVI, 22 avril 1878.*
1878. — 68. *Essai sur l'orographie des Alpes occidentales, considérée dans ses rapports avec la structure géologique de ces montagnes; extrait du Bull. de la Soc. de statist. de l'Isère, 76 p., gr. in-8°, F. Savy, Paris.*
1878. — 69. *Coup d'œil sur les massifs primitifs du Dauphiné; Bull. du Club Alpin, section de l'Isère.*
1878. — 70. Feuilles de Grenoble, Vizille, Saint-Jean-de-Maurienne et Briançon, de la carte de l'état-major, coloriées géologiquement, avec profils à l'appui, à l'échelle  $\frac{1}{100,000}$  et notice explicative. — Ce travail a fait partie de l'exposition de la Carte géologique détaillée de la France, par le Ministère des Travaux publics, à l'Exposition universelle de 1878.
1878. — 71. *Sur la reproduction des dislocations de différentes époques suivant les mêmes directions, et les effets qui en sont résultés dans les Alpes; communication au Congrès international de géologie, à l'Exposition universelle de 1878.*
1879. — 72. *Sur un gisement de poissons fossiles, dans les marnes aptiennes de Rozans (Hautes-Alpes); Bull. de la Soc. géol., 3<sup>e</sup> série, t. VII.*

1879. — 73. *Sur les granulites des environs de Guérande (Loire-inférieure); Bull. de la Soc. géol., 3<sup>e</sup> série, t. VIII.*
1880. — 74. *Sur les étages crétacés supérieurs du département de l'Isère; ibid., t. IX.*
1880. — 75. *Observations sur la structure en éventail et les coins calcaires des Alpes Bernoises, à l'occasion de la carte du versant sud de ce massif, par M. de Fellenberg; Actes de la Société helvétique de sciences naturelles, réunion de Brigue (Valais), en 1880.*
1881. — 76. Feuilles de Bonneval et d'Aiguilles, de la Carte de l'Etat-major, à  $\frac{1}{80,000}$  relevé géologique effectué pour le service de la Carte géologique détaillée de la France. — Elles ont figuré avec les 4 feuilles ci-dessus (n<sup>o</sup> 70), dans l'envoi de la Direction de la Carte géologique à l'Exposition géographique internationale de Venise.



# ANALYSE DES TRAVAUX GÉOLOGIQUES

DE M. CH. LORY.



Le principal objet de mes travaux a été l'étude géologique des Alpes occidentales. Une longue résidence dans cette région m'a mis à même de l'explorer dans tous ses détails, d'en revoir plusieurs fois tous les points importants et d'apporter dans l'observation des faits et dans leur représentation graphique par des cartes et des profils la précision nécessaire pour résoudre des difficultés spéciales qui avaient donné lieu jusqu'à ces derniers temps à de longues discussions et aux opinions les plus contradictoires.

Quelques-uns de mes travaux se rapportent à la géologie du Jura ou des chaînes qui relient le Jura aux Alpes ; je crois devoir en indiquer d'abord les principaux résultats (1).

## TRAVAUX RELATIFS AU JURA.

*Craie dans les hautes vallées du Jura.* — J'ai fait connaître, en 1849, (n° 4), l'existence de la *craie inférieure* (étage *cénomannien*) dans les hautes vallées des environs de Pontarlier ; j'ai montré qu'elle y avait participé aux dislocations des calcaires jurassiques et qu'il n'y avait aucun indice de discordance de stratification dans la succession des étages intermédiaires.

*Dépôt lacustre à la limite supérieure du terrain jurassique.* — Cette même année, j'ai signalé (n° 5) l'existence de *fossiles d'eau douce* dans une assise placée à la limite entre le terrain jurassique et

(1) Les numéros entre parenthèses sont ceux de la liste précédente.

le terrain néocomien. Cette découverte, dans des couches qui avaient été diversement classées, et dans lesquelles on ne connaissait pas encore de fossiles, établissait nettement la séparation des deux terrains ; elle prouvait que, dans le Jura, comme dans le midi de l'Angleterre, le Hanovre, etc., un vaste lac d'eau douce avait subsisté après la retraite graduelle de la mer jurassique, et que l'on pouvait suivre sur presque toute la longueur du Jura, depuis Bienne jusqu'à Belley, le dépôt formé dans ce lac, indiquant une grande lacune entre les dépôts marins de la période jurassique et ceux de la période néocomienne. La continuité et les caractères uniformes de ce mince dépôt lacustre attestaient, d'ailleurs, que les deux périodes n'avaient été séparées, dans le Jura, par aucune dislocation et qu'il n'y avait point, comme les géologues les plus autorisés croyaient pouvoir l'admettre à cette époque, discordance de stratification entre le terrain néocomien et le terrain jurassique.

Dans un travail remontant à la même époque, mais publié seulement quelques années après (n° 6), j'ai étudié la stratigraphie comparée du terrain néocomien, dans toute la région du Jura où il se rencontre, depuis Gray et Bienne jusqu'à Belley, et j'ai discuté les faits d'après lesquels, dans le midi surtout de cette région, MM. Itier, Alphonse Favre et plusieurs autres géologues avaient cru trouver des preuves de discordance entre ce terrain et le terrain jurassique.

*Plateau jurassique de l'Isère; couches à poissons et à Zamites.*  
— En 1851 (n° 10), j'ai fait connaître la stratigraphie du *plateau jurassique* de Crémieu et de Morestel, dans le nord du département de l'Isère et les *failles* qui limitent, de trois côtés, ce plateau, qu'on peut appeler le *seuil méridional du Jura*. Revenant à l'étude de ce pays en 1866 (n° 44) j'ai établi que les couches à poissons fossiles de Cerin (Ain) et de Creys (Isère), rendues célèbres par les belles monographies de Thiollière, de Paul Gervais et de Jourdan, et classées par le premier dans l'étage *corallien*, étaient, ainsi que les couches à *Zamites* de Morestel, accompagnées de lits contenant en abondance la *gryphée virgule* et devaient être rapportées à l'étage *kimmeridgien*. On trouve d'ailleurs, au-dessous, les calcaires coralliens très déve-

loppés, semblables à ceux des gisements bien connus des environs de Saint-Claude et de Nantua.

*Calcaires de l'Echaillon.* — En 1871 (n° 53), j'ai montré que les calcaires à *Terebratula moravica* et *Diceras Lucii* de l'Echaillon (Isère) étaient la continuation des calcaires coralliens du Bugey, et que, dans les stations intermédiaires qui relient les uns aux autres, entre le Pont-de-Beauvoisin et les Echelles, on pouvait encore reconnaître des représentants des étages jurassiques supérieurs et surtout les couches à fossiles d'eau douce terminant la série jurassique. Ce fait démontre que ces calcaires coralliens appartiennent à la même succession de sédiments que ceux du Jura proprement dit. Leur présence est restreinte, dans le Dauphiné, au dernier chaînon par lequel le Jura se relie aux chaînes subalpines ; le gisement de l'Echaillon en montre l'affleurement le plus méridional.

#### TRAVAUX RELATIFS AUX TERRAINS SECONDAIRES ET TERTIAIRES DES CHAÎNES SUBALPINES.

Mon plus ancien travail géologique (n° 1), présenté comme thèse de doctorat à la Faculté des sciences de Paris, en 1846, eut pour principal objet les massifs crétacés de l'Isère et du nord de la Drôme. Depuis la publication de la Carte géologique de la France, l'existence du terrain *néocomien*, dont le nom était encore nouveau dans la science, avait été signalé dans les Réunions de la Société géologique, en 1840, à Grenoble et en 1844, à Chambéry, mais avec des erreurs locales attestant l'incertitude des données stratigraphiques que l'on avait alors sur cette région. Le principal résultat de mes études fut d'établir la distinction entre ce terrain et un ensemble de couches sableuses et de calcaires à silix désignés collectivement sous le nom de calcaires du grès vert, dans lesquels, quatre ans après, il devint possible de distinguer les représentants du *gault*, des étages *cénomaniens* et *séno-niens* et même un indice de l'étage *daniens*. Ce premier travail a été analysé et apprécié par d'Archiac dans *l'Histoire des Progrès de la Géologie*, t. IV, p. 524-529.

*Etages crétacés supérieurs.* — En 1850 et 1851 (nos 8 et 11), je pus établir la continuation, à travers les montagnes de la Chartreuse, des couches à *Belemnitella mucronata* dont les fossiles, venaient d'être signalées dans la vallée d'Entremont (Savoie), et je démontrai qu'il fallait rattacher à cet étage les calcaires à silex des environs de Grenoble et des autres massifs crétacés du Dauphiné. J'indiquais même (n° 11), au dessus des calcaires à silex, l'existence d'un gisement très-restreint de calcaires remplis d'Orbitoïdes, qui se montrait à Méaudre (Isère), comme un représentant rudimentaire de la *craie supérieure*.

Des recherches plus récentes (n° 74) m'ont permis d'établir que la *Belemnitella mucronata* caractérisait non seulement les calcaires à silex, mais encore l'assise, non moins considérable, des dalles sableuses ou argileuses, désignées vulgairement sous le nom de *lauzes*, qui est placée au dessous et qui repose, au Villard-de-Lans, sur les sables *cénomaniens* de la Fauge, et aux environs de Grenoble, directement sur le *gault*. Dans la Savoie, l'Isère, dans le nord de la Drôme, jusqu'à la rivière de ce nom, il en est généralement ainsi : l'étage *turonien* et la partie inférieure de l'étage *sénonien* manquent ; les couches à *Belemnitella mucronata*, représentées par l'ensemble des calcaires à silex et des *lauzes*, dont l'épaisseur dépasse souvent 200 mètres, reposent directement sur le *gault* ou sur l'étage *cénomaniens*, dont le développement est très variable. Au dessus des calcaires à silex viennent des bancs minces contenant une variété gigantesque d'*Ostræa vesicularis*, puis, à Méaudre, les couches à Orbitoïdes dans lesquelles j'ai trouvé l'*Ostræa larva* Lk et l'*Otostoma ponticum* d'Arch. : ces fossiles permettent d'établir des rapprochements intéressants entre la série crétacée supérieure de l'Isère et celle de la région des Pyrénées, ainsi que celle de la Belgique.

En 1852, dans mes *Coupes géologiques des montagnes de la Chartreuse* (n° 12), j'ai représenté par des profils précis l'ensemble de la stratigraphie des étages jurassiques et crétacés de cette région et j'ai donné la première démonstration rigoureuse de l'importance prédominante des *failles* dans la structure des massifs des Alpes.

*Terrain nummulitique.* — Bientôt après (n° 13), l'exploration du massif du Dévoluy (Hautes-Alpes) me fournit l'occasion de signaler la superposition indifférente des calcaires à silex *sénoniens* sur les marnes *aptiennes* ou sur les calcaires jurassiques *oxfordiens*, antérieurement disloqués; et de reconnaître, dans ce massif, le terrain tertiaire *nummulitique*, qui n'y avait pas été constaté: M. Elie de Beaumont citait même la terminaison de ce terrain au pied des escarpements orientaux du Dévoluy comme une des preuves stratigraphiques de son système de soulèvement du Viso.

En 1854 (n° 17) l'étude spéciale du terrain *nummulitique* des Hautes-Alpes me donnait l'occasion de réunir une partie des matériaux du travail paléontologique de MM. Hébert et Renevier, et en même temps me conduisait à redresser les opinions erronnées émises au sujet de ce terrain dans un travail récent de M. Rozet.

*Terrain crétacé de la Drôme.* — De 1854 à 1857, je fis connaître, dans plusieurs notes (n<sup>os</sup> 16, 20, 23), la stratigraphie des divers étages crétacés de la Drôme, leurs rapports et leurs différences avec ceux de l'Isère. Je signalai, au sud de la Drôme, le développement considérable des *marnes aptiennes*, d'autant plus prononcé que l'étage *urgonien* y devient plus rudimentaire; la série crétacée supérieure de Dieulefit, comprenant l'étage *cénomanién* et de remarquables horizons fossilifères du *sénonien* inférieur, toujours avec absence de l'étage *turonien* et absence du *sénonien* supérieur, si développé dans l'Isère. La présence du *gault* est aussi très-variable dans cette région sud du Dauphiné. L'ensemble de ces faits conduit à y admettre, pendant le cours de la période crétacée, de nombreuses oscillations du sol, souvent de sens inverse à celles de l'Isère: l'emplacement actuel de la vallée de la Drôme paraît avoir joué le rôle de charnière dans ces mouvements inverses des deux parties du bassin crétacé.

*Terrain néocomien.* — Dans le travail intitulé *Esquisse d'une Carte géologique du Dauphiné* (n° 23), j'ai déduit de l'ensemble de mes observations précédentes une stratigraphie comparée de la série



néocomienne, dans le Jura, l'Isère et la Drôme, qui a été adoptée comme un type classique dans toutes les monographies récentes du terrain *néocomien*, en France et à l'étranger : les environs de Grenoble montrent, en effet, la manière dont s'enchevêtrent et alternent ensemble les diverses zones fossilifères du type jurassien d'une part, de celui de la Drôme et des Basses-Alpes, d'autre part, et offrent ainsi une série plus complète que toute autre.

Il était dès lors possible de conclure de cette comparaison que les dépôts néocomiens avaient commencé dans la région des Alpes bien avant de s'étendre dans le Jura. Cette différence est devenue plus prononcée encore par les observations de M. Hébert, en 1861, et par les travaux paléontologiques de M. Pictet sur les couches de Berrias, dont il a reconnu les fossiles dans les couches à ciment de la Porte de France, classées précédemment comme jurassiques. D'autre part, dans les Alpes, on ne connaît pas de représentants bien caractérisés des derniers étages jurassiques, tels qu'ils sont dans le Jura ; mais on y rencontre des couches dont le gisement et les fossiles ont donné lieu à de longues discussions, par les liaisons qu'ils ont paru présenter avec le terrain néocomien ou avec le terrain jurassique. Bien que, depuis trente ans, j'aie fait connaître divers faits relatifs à cette question, je ne chercherai point à en préjuger la solution : il s'agit d'un ensemble d'assises fossilifères distinctes, dont la série ne paraît avoir été trouvée nulle part sans lacunes, parce qu'elle correspond à des époques d'oscillations fréquentes et très-étendues des mers, dans l'Europe méridionale. Ce que je puis dire, c'est que, dans les localités typiques de la région que j'ai étudiée, à Grenoble par exemple, les assises en question sont séparées des couches incontestablement jurassiques par une lacune bien nette, et qu'elles se lient au contraire étroitement avec les couches à *ciment* (zone de Berrias), par un certain nombre de fossiles communs.

*Gypse dans le terrain jurassique.* — Quant au terrain jurassique incontestable de la région subalpine, je mentionnerai seulement le travail (n° 60), dans lequel j'ai montré que plusieurs gisements de gypse de l'arrondissement de Gap, entre Serres et Laragne, étaient placés à la limite entre les schistes à posidonomyes (*kellowien*) et les marnes oxfordiennes.

## TRAVAUX RELATIFS AUX TERRAINS DES CHAÎNES ALPINES.

En 1857, dans le travail intitulé *Esquisse d'une carte géologique du Dauphiné* (n° 23), j'essayai d'aborder, par des études nouvelles et des difficultés spéciales de la géologie alpine : je m'appliquai à y apporter, dans l'observation et dans la représentation graphique des faits, par des cartes et des profils exacts, la précision dont j'avais déjà donné des spécimens dans les profils de la Grande Chartreuse et autres massifs de la région subalpine.

### *Age des grès à anthracite des Alpes françaises.*

On sait que c'est précisément sur les Alpes du Dauphiné et de la Savoie que portaient, depuis trente ans, des discussions célèbres, qui n'avaient pas seulement un intérêt régional ; car l'opinion émise par un illustre géologue, celui qui, sans contredit, connaissait le mieux les Alpes françaises, ne tendait à rien moins qu'à révoquer en doute la généralité du principe fondamental de la géologie stratigraphique, formulé par Alexandre Brongniart, celui de la reconnaissance des terrains par leurs fossiles caractéristiques. M. Élie de Beaumont pouvait continuer de soutenir, avec une autorité incontestable, que les grès à anthracite des Alpes, contenant la flore fossile du *terrain houiller*, étaient intercalés régulièrement, à divers niveaux, dans la série des assises *jurassiques* : les observations des géologues qui avaient le plus spécialement étudié cette région, tels que Fournet et Sismonda, confirmaient pleinement ces conclusions ; ceux qui soutenaient des opinions contraires étaient conduits à comprendre dans le *terrain anthracifère* des couches contenant des Ammonites et des Bélemnites (Sc. Gras) ; ou, s'ils protestaient, au nom des principes paléontologiques, s'ils supposaient, pour expliquer les faits, des replis et des renversements, aucun d'eux n'avait établi suffisamment, par des études stratigraphiques précises, la valeur de ces explications.

Aujourd'hui, non-seulement ces difficultés sont levées, mais il est permis d'affirmer qu'il n'est pas de région dont la structure soit mieux connue que celle des Alpes du Dauphiné et de la Savoie et que

la succession des terrains y est pleinement en harmonie avec celle des contrées classiques de l'Europe occidentale.

Dès 1857 (n° 23), par un profil de la montagne du Chardonnet, une des localités décrites par M. Élie de Beaumont, je montrai que les alternances apparentes des grès à anthracite et des calcaires résultaient dans cette localité, de failles et de renversements.

En 1858, lorsque je fis paraître ma *Carte géologique du Dauphiné*, les discussions étaient loin d'être closes, et je dus me borner à figurer, dans les terrains du Briançonnais, des distinctions plutôt pétrographiques que géologiques.

L'année suivante (n° 29), sur l'invitation expresse de M. Élie de Beaumont (1), je portai mon attention sur les grès du massif des Aiguilles d'Arves, manifestement superposés au *lias* : j'arrivai à cette conclusion que cet étage de grès, alternant avec des couches calcaires et des schistes ardoisiers, et ne renfermant aucune couche d'anthracite et aucune empreinte *houillère*, n'avait réellement rien de commun avec les vrais *grès à anthracite*, objet principal de la discussion : l'argument tiré par M. Élie de Beaumont de ces grès des Aiguilles d'Arves ne pouvait donc plus intervenir dans la question.

Par des observations faites au col de l'Échanda, entre le Monestier et Vallouise, où la *Carte géologique de la France* indiquait la dernière extension des couches *nummulitiques*, je fus frappé de l'analogie d'aspect et de position que présentaient, avec les grès des Aiguilles d'Arves, ces assises tertiaires serrées entre les schistes cristallins du Pelvoux et un massif de calcaires du *lias*. En même temps, en Maurienne, M. Pillet, qui avait pris part, avec moi, à l'exploration des Aiguilles d'Arves, recueillait, dans la continuation de la même direction, des échantillons de grès et des calcaires contenant des traces de fossiles ; il ne me les communiqua que plusieurs mois après, et j'y reconnus des *Nummulites* (n° 30) ; les échantillons furent présentés à l'Académie des Sciences, en janvier 1860 et leur détermination contrôlée par M. d'Archiac : j'en vérifiai le gisement sur place peu de temps après ; et il fut possible d'affirmer sans hésitation le classement des grès des Aiguilles d'Arves et de la

(1) *Comptes-rendus de l'Acad. des Sciences*, 1859, vol. 49, p. 188.

Basse Maurienne dans le terrain tertiaire *nummulitique* (n° 31).

La prétendue régularité de la superposition dans l'ensemble des assises de la Maurienne, entre Saint-Jean et Saint-Michel, ne pouvait plus être soutenue : il n'était plus possible d'admettre que les grès à anthracite reposaient régulièrement sur une série d'assises contenant les unes des *fossiles jurassiques*, les autres des *fossiles tertiaires* : ces alternances apparentes supposaient nécessairement des renversements ou des failles. Si, à Saint-Michel, le grès à anthracite *semblait* s'appuyer sur le *lias renversé*, d'autre part, à Modane, il reposait régulièrement sur des schistes cristallins, des gneiss chloriteux, et rien ne s'opposait plus réellement à son assimilation à un véritable grès houiller.

Dès lors, les grès à anthracite, avec leurs empreintes de la flore houillère, rentraient dans les lois générales de la paléontologie stratigraphique, et loin d'être un obstacle à l'établissement de la série des terrains des Alpes, ils en devenaient un des horizons géognostiques les mieux caractérisés.

### *Trias alpin.*

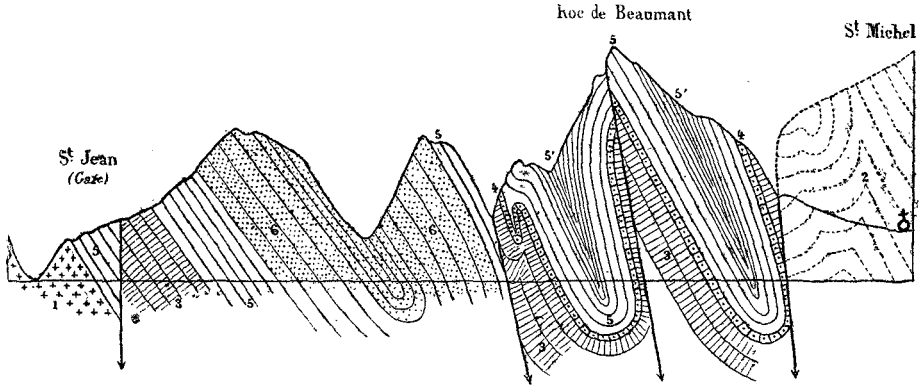
Partant de là, en septembre 1860, j'entrepris (n° 34), l'étude de la constitution de la haute Maurienne et des massifs de la frontière italienne figurés, sur la *Carte géologique de la France*, comme *terrain jurassique modifié*. J'y reconnus une succession régulière de *grès quartzeux blancs ou bigarrés*, (dits *quartzites*), de *dolomies*, remarquables, aux environs de Modane, par la présence de cristaux d'*albite*, et contenant, à l'Esseillon, quelques traces de fossiles bivalves indéterminables ; et d'un énorme étage de *schistes gris lustrés*, plus ou moins calcaires, épais de plusieurs milliers de mètres, dans lesquels sont intercalés, à divers niveaux, vers leur base et à leur partie supérieure, de puissants amas de *gypse*. Au Mont-Genève et dans le Briançonnais, ces schistes sont recouverts par de grandes masses de calcaires compactes, prolongements du *lias* du col des Encombres. Je figurai la disposition de ces terrains dans une coupe générale, d'Allevard à Suse, et j'en conclus que les grès, dits *quartzites*, les *dolomies*, les *schistes lustrés*, avec amas de *gypse*, pouvaient être considérés comme des représentants des divers étages du *trias*.

Ce facies du *trias* alpin, si remarquable par ses caractères pétrographiques, joue un rôle capital dans la constitution des Alpes, tout le long de la frontière italienne, depuis les Alpes maritimes jusque dans les Grisons. Il repose directement sur les schistes cristallins anciens, sans discordance appréciable de stratification; et quand les assises inférieures, *quartzites* et *dolomies*, sont très atténuées, comme cela arrive souvent sur le versant italien, il devient assez difficile de le délimiter d'avec les schistes cristallins. C'est ce qui explique la diversité des opinions dont il a été l'objet, même jusqu'à ces dernières années.

La présence des cristaux d'*albite* dans les calcaires magnésiens qui forment l'étage moyen de cette grande série avait été signalée depuis longtemps par Brochant, entre le col de Bonhomme et le col de la Seigne, dans des calcaires magnésiens qui sont bien, en effet, du même niveau géologique. Sur d'autres points où de pareils cristaux ne sont pas visibles à l'œil nu, par exemple dans les dolomies de Salins, près Moutiers, l'étude du résidu de la dissolution dans les acides m'a montré qu'on pouvait presque toujours les retrouver à l'état microscopique.

La Réunion de la Société Géologique de France dans la Maurienne, en septembre 1861, (n° 35), confirma ces divers résultats : la découverte des couches contenant les fossiles de l'*infra-lias* (*Avicula contorta*, etc.), reconnus par M. Vallet, entre St-Jean et St-Michel, permit d'établir que les gypses de la Basse-Maurienne étaient aussi triasiques; elle permit, de plus, d'apporter au tracé du profil géologique des terrains, entre ces deux stations, une précision parfaite et de mettre en évidence les failles et les replis, avec renversements, qui avaient, si longtemps, rendu ce profil indéchiffrable. Rien ne restait à désirer dans l'éclaircissement de ces localités critiques, objet de tant de discussions.

Coupe de la Maurienne entre Saint-Jean et Saint-Michel.



1. Gneiss granitoïde. — 2. Terrain houiller. — 3. Trias. — 4. Zone à Av. Contorta. — 5 et 5' Lias.
6. Couches nummulitiques (Eocène moyen et sup.).

Le découverte de l'*infra-lias* dans le nord de la Savoie avait conduit M. Alph. Favre à classer dans le *trias* les gypses de cette région. M. Hébert arrivait au même résultat dans les Basses-Alpes; et bientôt après je reconnaissais aussi la zone à *Avicula contorta*, au toit des gypses de Vizille (Isère), (n° 37).

*Cartes géologiques du Briançonnais et de la Savoie.*

Dès 1863, je pus appliquer au Briançonnais les données géologiques ainsi établies, et donner de ce pays une carte et des profils géologiques (n° 38) qui mettaient la série des terrains en complète harmonie avec celle de la Maurienne.

La *Description géologique du Dauphiné*, dont les deux premières parties avaient paru en 1860 et 1861, put ainsi être terminée, sans laisser en suspens, dans cette partie des Alpes, les questions si obscures encore au début de sa publication (n° 40).

Bientôt après, j'entrepris, avec la collaboration de M. Vallet, l'exploration difficile de la Tarantaise et nous pûmes arriver à présenter, en 1866, (n° 42) une carte géologique d'ensemble de ce pays et de la Maurienne. L'anomalie locale de Petit-Cœur, point de départ

des difficultés qui avaient enrayé si longtemps les progrès de la géologie alpine, me parut se prêter à une explication simple (n° 41) et la structure de la partie des Alpes, comprise entre le Mont-Blanc et le Viso, me sembla pouvoir être établie sur des bases satisfaisantes et nouvelles (n° 42).

La Carte géologique du département de la Savoie (n° 45), œuvre de ma collaboration avec MM. Pillet et Vallet, mit en évidence ces conclusions, le rôle prédominant et l'échelonnement régulier des grandes failles dans la structure des chaînes alpines et la distribution des terrains en rapport avec cette structure.

Les données fournies par ces travaux ont été discutées, appliquées à d'autres régions, et c'est de mes propres observations que sont venues la plupart des rectifications de détail qu'elles comportent aujourd'hui. Le *trias alpin*, tel que je l'ai défini en 1860, dans la haute Maurienne, a été admis par les géologues suisses et italiens : toutefois, ce n'a pas été sans discussion ; car M. Gastaldi, et plus récemment encore M. Baretta ont repris la question, en partant du versant italien, et ont été conduits, à rapporter les *schistes gris lustrés* non plus, comme MM. Élie de Beaumont et Simonda, au *terrain jurassique*, mais aux termes les plus inférieurs de la série des terrains de sédiment.

Par une coupe détaillée de la montagne traversée par le tunnel de Modane à Bardonnèche (n° 57), j'ai montré que les *schistes gris* dans lesquels se trouvent les trois quarts de la longueur de ce tunnel, à partir de l'Italie, ne pouvaient pas être considérés comme recouverts par les *grès à anthracite* du versant de Modane ; qu'il y avait nécessairement une *faille*, visible d'ailleurs, en affleurement, à la surface du sol, entre ces deux ensembles de couches. J'ai reproduit, à cette occasion, une coupe déjà donnée par M. Vallet et moi, dans notre mémoire de 1866, (n° 42), qui montre clairement, dans la vallée de Belleville, en Tarantaise, les mêmes *schistes gris* recouverts, d'un côté, par l'*infra-lias* à *Avicula contorta*, et recouvrant, d'autre part des *gypses*, des *dolomies* et des *quartzites*, superposés aux *grès à anthracite à empreintes houillères*. Il ne peut dès lors rester aucun doute sur la classification de ces assises dans le *trias*. Dans un travail plus récent, M. Baretta a reproduit son opinion, au sujet du

Petit-Saint-Bernard, où les *schistes gris* semblent plonger sous les *grès à anthracite* ; mais les profils que j'avais donnés dans le même mémoire de 1866 (n° 42) montrent qu'il ne s'agit encore que d'une apparence résultant d'une *faille* ; c'est aussi par suite d'une faille que, du côté de l'Allée-Blanche, les mêmes *schistes gris* semblent s'appuyer sur le *Lias*, prolongement des schistes à Bélemnites du col du Bonhomme.

J'ai exécuté, pour le service de la *Carte géologique détaillée de la France* les relevés géologiques de six feuilles à  $\frac{1}{80,000}$  (Grenoble, Vizille, Briançon, Saint-Jean de Maurienne, Bonneval et Aiguilles), dont les quatre premières ont figuré à l'Exposition universelle de 1878 et la totalité à la récente exposition géographique de Venise ; elles sont accompagnées de nombreux profils d'ensemble à  $\frac{1}{40,000}$  et les résultats principaux en sont résumés dans une notice insérée au volume de l'Exposition du Ministère des Travaux publics, en 1878.

#### RÔLE PRÉDOMINANT DES FAILLES, DANS LA STRUCTURE DES ALPES.

En même temps qu'il devenait possible de classer d'une manière sûre les terrains des Alpes occidentales, l'étude des accidents du relief et des allures des couches dans les différentes parties de cette région me conduisait à y reconnaître l'importance prédominante des *failles*, de grandes lignes de dislocation parfaitement continues, dont les principales peuvent être suivies à travers le Dauphiné, la Savoie et le Valais, et auxquelles sont subordonnés les plissements des couches et tous les détails de la structure orographique (n° 42).

Ce fait capital, qui me semble être resté inaperçu jusque-là, en Suisse comme dans les Alpes françaises, explique immédiatement toutes les difficultés qui ont donné lieu à tant de discussions : il explique ces apparences de superpositions anormales, *monstrueuses*, comme les appelait de Saussure, en parlant du gneiss du Mont-Chétif ou de la Saxe, près de Courmayeur, en surplomb sur les schistes argilo-calcaires d'Entrèves, qui sont les prolongements des schistes à



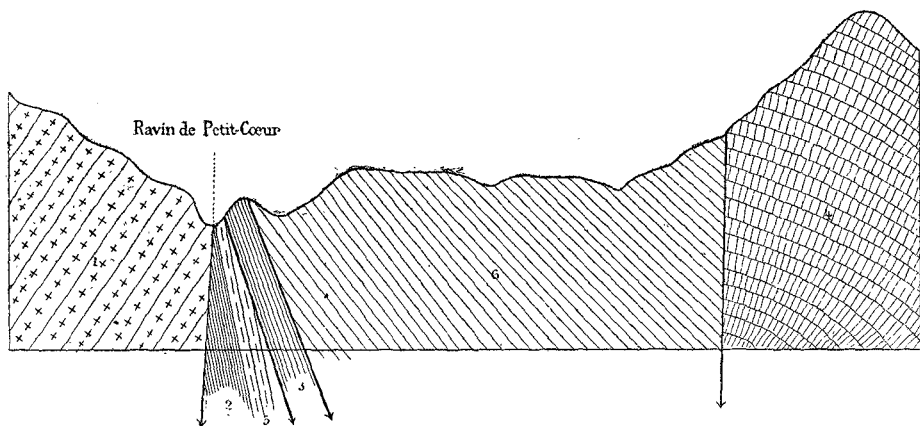
Bélemnites du col du Bonhomme et du val Ferret (1). Il explique les alternances apparentes des grès à flore houillère avec les calcaires à Bélemnites, ou des uns et des autres avec des schistes complètement cristallins, dont la structure était attribuée à un métamorphisme hypothétique.

Par le tracé rigoureux des affleurements des *failles* dans les hauteurs et dans la traversée des vallées, j'ai fait voir (n° 48), que, dans la plupart des cas, la surface de fracture était oblique et que la lèvre supérieure de la faille était en surplomb par rapport à la lèvre inférieure, ce qui augmente encore l'illusion des superpositions apparentes.

Tous ces faits sont inexplicables par de simples plissements des couches, même avec renversement de l'un des côtés du pli, comme ceux par lesquels la plupart des géologues suisses ont cherché à représenter la structure des chaînes alpines, d'après le type exceptionnellement régulier des chaînes du Jura bernois. La rupture nette et profonde qui caractérise la faille établit entre ses deux bords une indépendance complète : elle permet de concevoir, dans chacun d'eux, des mouvements de détail, des fractures de second ordre, sous des inclinaisons diverses, des glissements entre les parties du sol découpées par ces fractures. De là résultent très souvent des chevauchements singuliers de ces divers lambeaux, des intercalations apparentes de coins de terrains qui sont sans rapports réguliers avec ceux des deux lèvres de la faille. Ces phénomènes dont les massifs faillés du Jura français, ceux de la Grande-Chartreuse, etc., présentent de nombreux analogues, dans des terrains faciles à reconnaître, m'ont conduit à une explication très-simple de l'anomalie locale de Petit-Cœur, un des points de départ de la discussion relative aux grès à anthracite (n° 41).

(1) Voir ci-contre la coupe du massif du Mont-Blanc.

Coupe du vallon de Petit-Cœur, près Montiers.



1. Schistes cristallins. — 2. Grès houillier inférieur. — 3. Idem supérieur. — 4. Trias. — Lias inférieur. — Lias moyen et supérieur.

Ce fait célèbre, restreint à une étendue de quelques centaines de mètres dans le sens de la direction et à une quarantaine de mètres, dans le sens perpendiculaire à la stratification, consiste simplement en ce que, dans l'ensemble des deux groupes de couches, l'un de grès à anthracite, l'autre de schistes argilo-calcaires du lias, superposés l'un à l'autre en stratification sensiblement discordante, et glissant, avec une très forte inclinaison, sur le plan d'une faille, il s'est produit des disjonctions, suivant des plans de séparation facile : dans les grès, suivant une petite couche d'anthracite très impure, et dans le lias, suivant des fractures subordonnées à la faille et coupant les assises en biseau très aigu. Par les glissements qui ont eu lieu sur ces divers plans non parallèles entre eux, l'assise supérieure des grès à anthracite, avec la petite couche à empreintes végétales qui formait le toit du petit lit charbonneux, est venue recouvrir en biseau l'assise inférieure du lias (caractérisée par des *Bélemnites* courtes et l'*Ammonites bisulcatus*), en un point où elle s'appuyait régulièrement sur la partie inférieure des grès ; et d'autre part, la grande masse du lias, glissant sur une diaclase qui coupait sa stratification sous un angle très aigu, est venue recouvrir le tout, en ne laissant voir à la surface du sol que ses assises moyennes et su-

périeures, avec leurs Bélemnites longues, presque toujours étirées, tronçonnées par le clivage ardoisier qui s'est produit dans toute la masse de la roche.

Il est naturel de penser que des faits de ce genre ne sont pas rares, dans le voisinage des failles, et il serait facile, en effet, d'en citer de nombreux exemples : c'est ainsi que, près de la gare de St-Jean-de-Maurienne, aux Bains de l'Echaillon, des schistes calcaires à Bélemnites et Ammonites du *lias* semblent alterner avec des schistes mica-cés ou amphiboliques, complètement cristallins.

D'autres questions, plus importantes par la grandeur des accidents qu'elles concernent, m'ont paru pouvoir s'expliquer par des considérations analogues, ou même plus simples encore : telles sont la structure de la vallée de Chamonix et de beaucoup d'autres vallées alpines, et l'intercalation des célèbres *coins* de calcaire jurassique dans le gneiss des Alpes bernoises (n° 58).

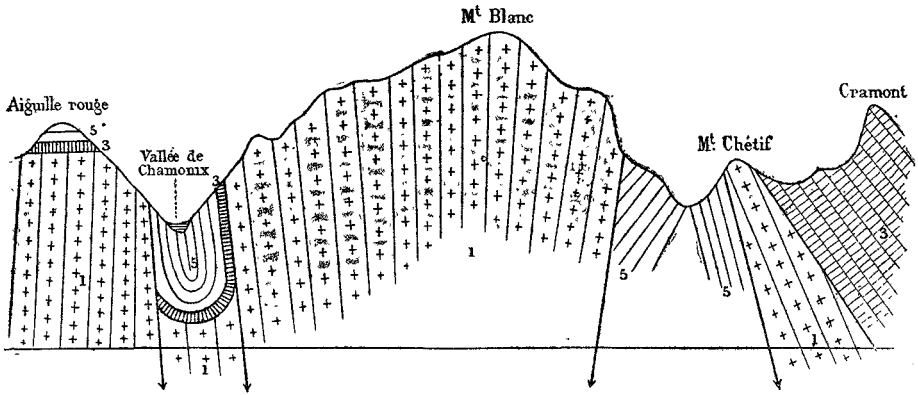
Ces divers problèmes stratigraphiques, posés depuis longtemps, se présentent principalement dans ce que j'ai appelé la *première zone alpine* ou *zone du Mont-Blanc*, celle qui comprend les grands massifs de roches cristallines anciennes du Saint-Gothard, de l'Oberland bernois, du Mont-Blanc, des Aiguilles-Rouges, de la chaîne de Belledonne, des Grandes Rousses, du Pelvoux et des grandes Alpes-Maritimes. Dans toute cette partie des Alpes, les terrains secondaires, lorsqu'on les observe dans leur position normale, sont en discordance très nette avec les terrains anciens (schistes cristallins, ou terrain *houiller*), sur les tranches desquels ils reposent. Ceux-ci étaient donc déjà redressés et plissés par des dislocations antérieures, et entièrement consolidés, quand les terrains secondaires les ont recouverts. Il est résulté de là que, dans les dislocations plus récentes, les terrains anciens se sont comportés comme des masses presque complètement rigides : ils ont été découpés par des *failles*; leurs divers lambeaux, leurs diverses couches ou divisions stratiformes ont pu glisser les uns sur les autres, sans se prêter à de nouveaux plissements. Au contraire les terrains plus récents, encore horizontaux, se sont comportés comme des corps flexibles et même plus ou moins plastiques, suivant la nature des roches : ils n'ont été rompus complètement que par les failles

d'importance majeure, et partout ailleurs ils se sont adaptés par des glissements, des plis multipliés, aux nouvelles formes de leur base disloquée, de manière à en mouler, pour ainsi dire, les saillies et les angles rentrants, dans toutes les positions possibles. Ils ont laissé souvent sur les sommets et sur les plateaux étagés résultant des failles des massifs anciens, des lambeaux, témoins de leur ancienne extension et conservant souvent une stratification horizontale; mais ils ont glissé, en majeure partie pour venir s'entasser dans les dépressions, où leurs couches se montrent alors, sur les flancs des vallées, fortement inclinées, contournées en plis multipliés, qui contrastent avec les allures uniformes des terrains anciens. La vallée de Chamonix, et mieux encore celle du Bourg-d'Oisans, montrent ces faits, de la manière la plus nette (1).

Dans la plupart des cas, les nouvelles dislocations des terrains anciens se sont faites suivant les mêmes orientations que les précédentes, et les vallées ont été le résultat d'enfoncements locaux de prismes de terrains limités par deux failles parallèles inverses, qui souvent coïncidaient à peu près avec les plans des couches ou des divisions stratiformes, fortement inclinées. Alors les couches secondaires qui reposaient horizontales sur les tranches de ces roches anciennes, s'affaissant dans ces dépressions et glissant les unes sur les autres, s'y sont modelées en plis synclinaux, en forme d'U; et il est résulté de là que, discordantes avec les couches anciennes, quand elles reposent horizontalement sur les tranches de celles-ci, elles leur deviennent sensiblement parallèles sur les flancs des vallées, où elles sont fortement inclinées. Ce fait caractéristique de la structure de la vallée de Chamonix et de la plupart des vallées de la *première zone alpine* a été cité par M. Studer comme un des problèmes les plus difficiles de la stratigraphie de cette région.

(1) M. Daubrée m'a fait l'honneur de reproduire dans ses *Études synthétiques de géologie expérimentale* (p. 396), un croquis de la rive gauche de cette dernière vallée, qui montre ces contournements et en même temps l'indépendance d'un clivage ardoisier développé dans les couches argilo-calcaires du lias.

Coupe du massif du Mont-Blanc, de l'Aiguille rouge au Cramont.



1. Schistes cristallins (et protogine dans la partie centrale du Mont-Blanc. — 3. Trias. — 5. Lias.

De même les *coins calcaires* des Alpes bernoises, formés de couches *jurassiques* et *triasiques*, pliées en forme de C, ou de V couché sur un côté, et serrés dans le gneiss, à peu près vertical, me paraissent s'expliquer facilement par l'affaissement et le modelage de ces couches dans les *creux*, les angles rentrants, des terrains anciens disloqués par des failles obliques ou même voisines de l'horizontalité. Cette explication si simple, combattue, dans le principe, par M. Studer, me semble avoir été pleinement confirmée par les recherches récentes de MM. Baltzer et de Fellenberg, sur les deux versants de l'Oberland bernois, sauf les restrictions toutes naturelles qui résultent de ce que les feuillets du gneiss ne sont pas restés absolument inflexibles dans le voisinage immédiat des failles, où les glissements ont donné lieu à d'énormes pressions.

Ainsi, soit dans l'ensemble, soit dans certains détails particulièrement intéressants, les inclinaisons et les plissements des terrains secondaires des Alpes occidentales sont coordonnés à des failles, qui sont les accidents principaux, et les plus continus en direction. Dans les massifs de la *première zone alpine* ou *zone du Mont-Blanc*, on voit que ces failles et ces plissements, relativement récents, se sont produits suivant des orientations qui étaient déjà celles des schistes cristallins et des grès houillers, disloqués antérieurement à la période du trias.

Ces terrains anciens, devenus ainsi rigides, ne se prêtaient pas facilement à de nouveaux plis, mais bien à des failles, qui ont déterminé dans les terrains supérieurs, soit des failles, soit seulement des plis par lesquels ces terrains, relativement flexibles, se sont adaptés aux inégalités de leur base disloquée.

Des considérations analogues peuvent s'appliquer, sans doute, à beaucoup d'autres régions montagneuses, où se trouvent superposés les uns aux autres des terrains d'âges divers, disloqués à diverses époques. Déjà M. Dupont et M. Gosselet m'ont signalé l'application qu'on en pouvait faire aux rapports des terrains dévonien et carbonifère avec le terrain silurien, dans la région des Ardennes.

Si l'on peut ainsi, dans certains massifs montagneux, constater que les plissements des terrains plus récents sont coordonnés à des *failles*, à des dénivellations, dans une base formée de terrains plus anciens et antérieurement disloqués, on est naturellement conduit à penser qu'il en peut être de même pour d'autres massifs formés de terrains plissés plus ou moins récents, tous concordants entre eux, sous lesquels on ne voit pas affleurer la base plus ancienne qui doit les supporter. Telles sont sur le versant nord-est des Alpes, les chaînes *subalpines*, formées de terrains jurassiques, crétacés et tertiaires ; telles sont aussi les chaînes du Jura dans son ensemble. L'origine des failles et des plissements relativement *récents* de ces divers massifs serait dès lors subordonnée à des dislocations, des failles dans les terrains anciens sous-jacents ; et il ne serait pas nécessaire de faire intervenir dans son explication d'autres actions que celle de la pesanteur, combinée avec ces phénomènes généraux d'affaissement qui sont le fait prédominant, à travers toute la durée des temps géologiques. J'ai essayé d'attirer l'attention des géologues sur ces considérations qui me paraissent susceptibles de simplifier certains points de la théorie des montagnes ; et je les ai exposées sommairement au Congrès géologique international de l'Exposition universelle de 1878.

DISTRIBUTION DES TERRAINS DES ALPES, EN RAPPORT AVEC LES  
PRINCIPAUX ALIGNEMENTS DE FAILLES.

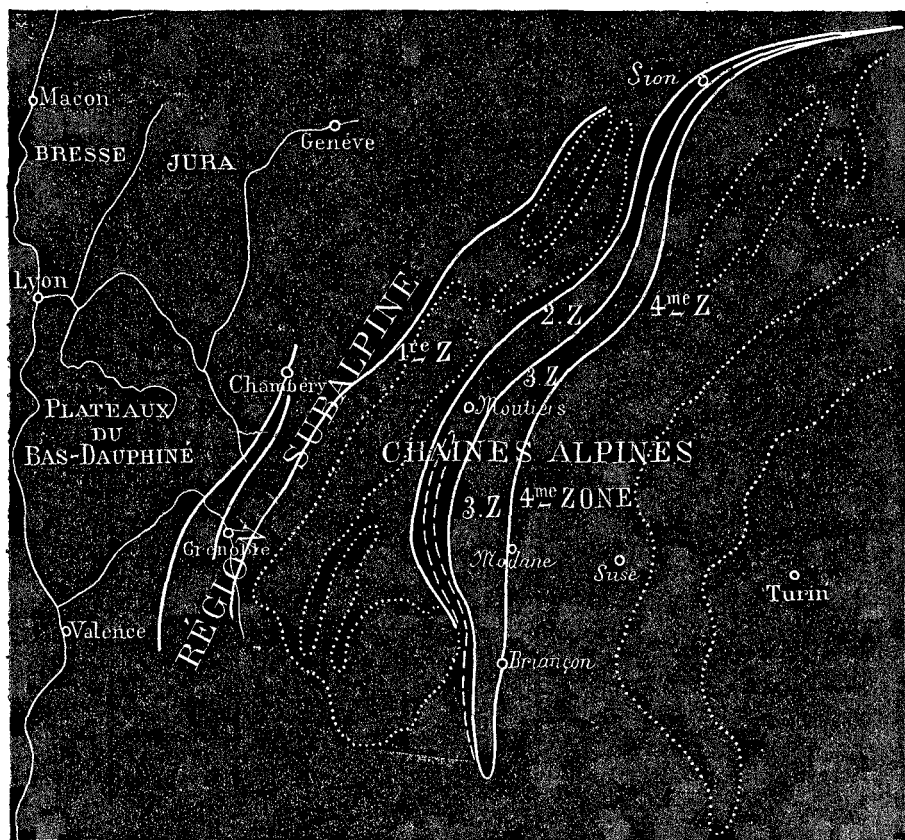
Ce n'est pas seulement au point de vue du mécanisme et de la complication des accidents orographiques que l'étude des Alpes présente une importance exceptionnelle : elle intéresse encore, à d'autres égards, les principes généraux de la géologie, par les conditions spéciales dans lesquelles ont dû s'y former certains terrains stratifiés.

On a remarqué depuis longtemps que la distribution des divers terrains, dans les Alpes, est coordonnée à des zones spéciales, en relation avec les directions des chaînes. C'est ainsi que le terrain *crétacé* ne se montre que dans les chaînes *subalpines* du versant franco-helvétique et dans celles du versant italien, à l'Est du lac Majeur.

Cette coordination des terrains à des zones déterminées dans le sens de la longueur des Alpes est devenue de plus en plus nette, à mesure que les questions stratigraphiques, si longtemps obscures, ont pu être résolues, et qu'il a été possible d'établir nettement, dans les chaînes *alpines*, l'existence et les caractères du terrain *houiller*, du *trias*, du *lias* et autres étages jurassiques, et celle d'une bande de terrain tertiaire *nummulitique*, plus étendue vers le nord qu'on ne l'avait supposée.

Dans un mémoire datant de 1866 (n° 42), et dans diverses publications plus récentes, particulièrement dans mon *Essai sur l'orographie des Alpes occidentales* (n° 68), j'ai fait voir que les Alpes du Dauphiné et de la Savoie pouvaient être divisées, dans le sens de la longueur, en un certain nombre de zones, nettement séparées les unes des autres par des alignements de grandes failles, continues sur de grandes longueurs ; et que chacune de ces zones était caractérisée par la présence de certains étages qui lui sont propres, ou par des différences considérables de développement ou de facies minéralogique d'autres étages communs à plusieurs zones.

Zones orographiques et géologiques des Alpes occidentales.



—— Failles limitant les différentes zones..... Limites des massifs cristallins. - - - Limite du golfe nummulitique de la Maurienne.

En partant du versant français, et suivant, par exemple la direction de Lyon à Turin, on traverse successivement les zones suivantes :

1° La zone des *plaines et plateaux du bas Dauphiné*, à laquelle appartient spécialement l'assise miocène supérieure des lignites de la Tour du Pin et des poudingues qui les recouvrent : j'ai établi (nos 23 et 39), que ces poudingues se lient intimement, par leur base, à ceux de la *mollasse marine*, et qu'ils partagent toutes les inflexions et les dénivellations des couches de celle-ci.

2° La zone *jurassienne*, ou des chaînes qui se continuent directe-



ment avec le Jura et établissent sa liaison avec les chaînes subalpines : cette zone s'accuse, à l'E. du Pont-de-Beauvoisin, par un front de faille très-accentué : elle est caractérisée, comme je l'ai dit ci-dessus (p. 15), par la présence des calcaires coralliens à *Terebratula moravica* et même de représentants des étages jurassiques supérieurs, avec les derniers vestiges de la formation lacustre qui les termine (n° 53). Le terrain néocomien y commence, comme dans le Jura, par les calcaires valanginiens et n'y atteint qu'une médiocre épaisseur.

3° La zone des chaînes subalpines, surgissant à l'E. de la précédente par la grande faille que j'ai appelée faille de Voreppe, dans le département de l'Isère, et par d'autres failles qui viennent s'aligner sur le prolongement de celle-là, dans la Savoie et la Haute-Savoie : elle est caractérisée par l'absence des étages jurassiques supérieurs, tels qu'ils sont dans le Jura, par la présence des couches dites *tithoniques* et celle des assises *infra-néocomiennes* du ciment de la Porte de France (zone de Berrias) et des marnes à *Belemnites latus*. Le terrain néocomien y est beaucoup plus épais que dans le Jura et que dans la zone précédente, et le groupe crétacé supérieur y présente, comme je l'ai dit ci-dessus (p. 16), un développement souvent remarquable, bien qu'incomplet.

Cette zone est limitée à l'E. par la grande vallée de l'Isère, ou vallée de Grésivaudan, qui a pour origine une grande faille, masquée par le creusement de la vallée entre Grenoble et le confluent de l'Arc, mais devenant bien visible un peu plus en amont, à Grésy, aux environs d'Albertville et dans sa continuation vers le nord.

Il est à remarquer que c'est au bord même de cette faille, que l'ensemble des étages jurassiques et crétacés propres à cette zone (du *kellowien* au *sénonien*) présente la plus grande puissance et se termine par ces magnifiques escarpements calcaires qui contrastent si nettement avec les formes des montagnes alpines auxquelles ils font face. Dans celles-ci, on ne rencontre plus que des étages plus anciens, et il est permis de croire que la limite si tranchée qui existe aujourd'hui entre ces deux ensembles ne peut pas être bien éloignée

de marquer la position des rivages auxquels s'arrêtaient ces dépôts successifs, depuis le *kellowien* jusqu'au *sénonien* à Bélemnitelles. Or dans cette série d'étages, épaisse de plus de 2.000 mètres, il y a des lacunes, il y a eu des interruptions considérables dans les sédiments; dans chacun de ces étages on trouve des couches qui n'ont pu se former que dans des eaux peu profondes; aucune trace de dérangement des couches inférieures, aucun caillou roulé provenant des terrains de la région alpine. Ces circonstances supposent que, durant une longue suite d'époques géologiques, une grande faille s'est produite lentement, sans secousses violentes, suivant une direction qui ne pouvait pas être bien éloignée du tracé de la faille actuelle de la vallée de l'Isère; que le bord supérieur de cette faille, la région des chaînes alpines actuelles, est restée, pendant tout ce temps, une terre basse, sans falaises notables; tandis que l'autre bord de la faille s'affaissait tranquillement, à mesure que les sédiments s'accumulaient, de manière que ceux-ci ne se formaient généralement qu'à de faibles profondeurs; que cet affaissement a eu, toutefois, de longues intermittences, correspondant à des lacunes dans la série des sédiments et que le jeu tranquille de cette faille a continué, dans ces conditions, de manière à donner lieu à une dénivellation d'environ 2000 mètres, depuis l'époque *kellowienne* jusqu'à celle de la craie de Meudon. Il me semble résulter de ces considérations des notions intéressantes sur le travail lent et tranquille des grandes failles et sur leur rôle comme rivages anciens, dans les bassins géologiques des pays de montagnes.

4<sup>o</sup> La *région des chaînes alpines* est caractérisée par la présence des massifs de schistes cristallins et de roches granitoïdes. On sait depuis longtemps que ces massifs peuvent être groupés principalement en deux zones, que je propose d'appeler *zone du Mont-Blanc* et *zone du Mont-Rose*. Elles sont séparées l'une de l'autre par un intervalle où l'on ne voit que très peu d'affleurements de ces terrains anciens, mais un grand développement de terrains stratifiés de divers âges, dont les cimes les plus élevées ne dépassent guère 3500 m. d'altitude : Fournet désignait cet intervalle par le nom expressif de *fossé intrà-alpin*.

La détermination des grandes lignes de failles permet de préciser ces divisions et de partager l'intervalle entre les deux zones principales

en deux autres zones, étroites, mais très intéressantes au point de vue géologique.

La *première zone alpine*, ou *zone du Mont-Blanc*, est limitée, à l'Est Sud-Est, par la faille la plus longue et la plus facile à suivre, celle que j'ai appelée faille de St-Jean de Maurienne, qui, en partant de cette ville, peut être suivie, sans interruption, au Sud, jusque sur le versant Est du massif du Pelvoux; au Nord, par l'Allée-Blanche et le Val Ferret, jusque dans le haut Valais.

La *deuxième zone* est comprise entre cette faille et celle dite de St-Michel, qui va passer, au Sud, par le Monestier de Briançon, au Nord, par St-Martin de Belleville, Aime et le col du Petit-St-Bernard.

La *troisième zone* est limitée, à l'Est, par la *faille de Modane*, qui va passer, au Sud, par Briançon, au Nord, par Pesey.

La *quatrième zone*, ou *zone du Mont-Rose*, la plus large de toutes, comprend toutes les chaînes situées entre cette dernière ligne de faille et la plaine du Piémont.

Les failles qui limitent les diverses zones sont toutes échelonnées dans le même sens, depuis le premier gradin de la zone *jurassienne*, indiqué ci-dessus, jusqu'à la faille de St-Michel, qui fait apparaître le puissant massif de *grès houiller* occupant presque toute la 3<sup>e</sup> zone. Toutes ces failles *regardent la France*, c'est-à-dire que leur bord occidental est abaissé par rapport à leur bord oriental. Au contraire, la dernière grande faille, celle de Modane, *regarde l'Italie* : c'est son bord oriental, la 4<sup>e</sup> zone, qui est déprimé par rapport à son bord occidental. Le massif des grès houillers, qui occupe toute la largeur entre St-Michel et Modane, représente en quelque sorte, la *clé de voûte* de part et d'autre de laquelle les pièces de l'édifice alpin sont placées, stratigraphiquement parlant, à des niveaux décroissants. Il ne serait même pas improbable d'admettre que ce massif a pu autrefois dominer tous les autres en altitude, et que son infériorité actuelle provient de ce qu'il a dû, plus que tout autre, par sa constitution même, donner prise à l'érosion, pendant la fin de l'ère tertiaire et la période quaternaire : l'énorme quantité de cailloux de *quartzite* disséminés dans le bassin du Rhône doit provenir principalement des grès triasiques qui recouvraient le *grès houiller* de cette zone, et qui ont disparu de la plus grande partie de sa surface.

Plusieurs terrains sont spéciaux à l'une ou à l'autre des quatre zones alpines ou y prennent un développement tout particulier. C'est ainsi que le grand étage des grès houillers, que l'on peut suivre depuis les environs de Guillestre (Hautes-Alpes) jusqu'à ceux de Sion en Valais, caractérise la troisième zone. Je n'en connais pas d'exemple dans la quatrième zone; et les grès houillers de la deuxième et de la première zone appartiennent, d'après leurs végétaux fossiles, à un dépôt plus récent, très morcelé, qui n'atteint, dans les localités typiques, par exemple dans le bassin de la Mure (Isère), que 300 m. environ d'épaisseur. Le grès houiller inférieur du Briançonnais et de la Maurienne, dont la plus grande largeur actuelle est entre St-Michel et Modane et dont l'épaisseur atteint en cet endroit au moins 2000 mètres, a dû se former sous des eaux peu profondes et durant l'affaissement graduel d'une zone étroite, limitée par deux lignes de failles, peu éloignées des failles actuelles de St-Michel et de Modane. Mais ce terrain renferme des conglomérats grossiers, qui indiquent des terres accidentées sur les bords du bassin, et peut-être un jeu parfois moins tranquille des failles. Après le remplissage de ce grand bassin il y a eu un affaissement, à l'Ouest, par suite duquel se sont formés les petits bassins de la Mure et autres des deux premières zones alpines.

La deuxième zone alpine comprend, en Tarantaise et en Valais, un développement local considérable du *trias*, avec le facies de *schistes lustrés* qui caractérise l'étage supérieur de ce terrain dans la quatrième zone : il constitue, particulièrement, tout le puissant massif compris entre le col de la Seigne et le col du Petit Saint-Bernard.

C'est encore à un enfoncement graduel entre deux failles que correspond ce développement local de l'étage supérieur du *trias*, tandis qu'il est bien moins épais, à l'Est, dans la troisième zone, et morcelé, souvent rudimentaire dans la première, où il manque en beaucoup d'endroits. Or, dans cette étroite fosse de la deuxième zone, où il a été formé, l'étage supérieur du *trias*, en Tarantaise, comprend, avec les schistes lustrés, un grand développement de conglomérats, souvent très grossiers, à blocs à peine roulés, qui témoignent de dislocations violentes à certains moments, ou de falaises abruptes dominant les rivages (n° 42).

Dans la partie méridionale de cette zone, au contraire, le trias est moins épais et reprend une physionomie plus normale; mais à une époque beaucoup plus récente, sur une partie de la largeur de la zone, un nouveau jeu de failles a donné lieu à un golfe long et très-étroit, communiquant, par le Sud avec la mer *nummulitique* des Basses-Alpes et des Alpes-maritimes. Il s'est formé dans ce golfe une épaisseur énorme (1500 mètres au moins) de dépôts, à la base desquels sont souvent des conglomérats très grossiers, particulièrement le remarquable conglomérat des Aiguilles d'Arves, puis des grès et des calcaires à nummulites et une grande épaisseur de grès et de schistes argileux alternant ensemble, qu'on a longtemps confondus avec les grès du terrain houiller. Ce terrain forme une bande étroite, dirigée du Sud au Nord, qui finit brusquement au pic du Cheval-Noir, près de Moutiers. Le golfe dans lequel il s'est formé devait être rigoureusement limité par des failles, orientées comme celles entre lesquelles les couches sont aujourd'hui refoulées et repliées sur elles-mêmes, sur un espace évidemment bien plus étroit.

Dans la quatrième zone, le terrain houiller manque et les schistes cristallins anciens sont recouverts directement, sans discordance bien sensible, par le *trias*, dont les étages inférieurs sont généralement peu développés, et l'étage supérieur, celui des *schistes lustrés*, acquiert, au contraire, presque partout, une épaisseur extraordinaire. Ainsi, cette zone, qui était à l'état de terre ferme, plate, pendant l'époque houillère, s'est affaissée inégalement pendant le commencement de la période triasique, puis graduellement, de plusieurs milliers de mètres, dans la plus grande partie de son étendue, pendant la fin de cette période; le même mouvement se produisait dans la partie nord de la deuxième zone, en Tarantaise et en Valais, tandis que la troisième zone et la première ne recevaient que des sédiments moins épais, dans lesquels les dépôts gypseux ont une importance relative plus grande.

Le *lias* et les autres étages jurassiques inférieurs présentent aussi dans leur développement et leur structure des variations considérables, en rapport avec les diverses zones alpines; mais ces faits sont moins faciles à préciser à cause des dénudations plus étendues que ces terrains ont éprouvés.

L'ensemble des faits que je viens de résumer atteste que, dès l'époque houillère, et durant toute la série des périodes suivantes, le sol des Alpes occidentales n'a pas cessé d'éprouver des mouvements, très différents dans ses diverses parties, et que l'étendue ou les épaisseurs variables des sédiments dont il est formé ont été déterminées par le jeu lent et intermittent de lignes de fracture, dont les grandes failles actuelles doivent représenter approximativement les orientations, mais avec des distances différentes dans le sens transversal : car, entre les failles actuelles, les couches sont toujours fortement inclinées, plissées, souvent repliées sur elles-mêmes et témoignent ainsi d'un refoulement considérable de l'ensemble.

Le plan général et les traits fondamentaux des Alpes remontent donc à une époque très-ancienne ; leur influence s'est manifestée dès le commencement de l'époque houillère ; et les dernières dislocations qui ont façonné ces montagnes à la fin de la période *miocène* ont été le résultat final du travail continué durant une longue série de périodes géologiques.

#### STRUCTURE DES MASSIFS DE SCHISTES CRISTALLINS.

Les massifs de schistes cristallins apparaissent principalement dans la *première zone alpine* et dans la *quatrième*, la *zone du Mont-Blanc* et celle du *Mont-Rose*. Ils y présentent des types de structure très-différents.

Dans la quatrième zone, ou zone du Mont-Rose, les schistes cristallins étaient encore sensiblement horizontaux quand ils ont été recouverts généralement par le trias, auquel ont succédé, dans certaines parties de la région, des calcaires jurassiques compactes (*calcaires du Briançonnais*) ; ils ont été disloqués plus tard, avec ces terrains secondaires, en forme de grandes voûtes, plus ou moins profondément rompues, qui représentent, avec des dimensions énormément plus grandes, le type classique des chaînes du Jura, compliqué souvent par des failles, comme dans le Jura français.

Il est facile d'y relever l'ordre de superposition des divers groupes de schistes cristallins (n° 67) ; j'ai eu l'avantage de l'étudier en détail avec

MM. les professeurs Renevier et Heim, dans le massif du Simplon, pour déterminer les roches qu'aurait à traverser le tunnel projeté sous ce massif et de revoir cette même série avec MM. Potier et Michel Lévy. Elle est conforme au type général indiqué depuis longtemps par Cordier, en admettant que le groupe supérieur, celui des *talc-schistes*, est composé de schistes très-variés, qui contiennent rarement du talc proprement dit, mais surtout diverses variétés de micas, et particulièrement la *séricite*; le nom de *schistes à séricite* leur a été déjà appliqué par les géologues suisses. Puis vient un groupe considérable de *schistes chloriteux* et de *schistes amphiboliques*, alternant ensemble et se remplaçant les uns les autres, avec un développement variable; puis le groupe des *micaschistes*, dans lequel sont intercalées souvent des couches concordantes de *calcaires cipolins* et même de calcaires saccharoïdes purs. Les micaschistes, à leur base, deviennent feldspathiques, passent au *gneiss*, et celui-ci à des *gneiss* de moins en moins feuilletés, à des *gneiss granitoïdes*, dans lesquels sont creusées les gorges de la route du Simplon, à son entrée en Italie. Cette succession régulière n'est dérangée par aucune injection de roches éruptives; ce n'est que plus loin, au bord des plaines italiennes, qu'on voit surgir la belle masse de *granulite* de Baveno. D'après les profils donnés par MM. Gerlach, Theobald, Giordano, Gastaldi, Baretta, on peut conjecturer que la même série se retrouve dans tous les massifs de la même zone.

Les massifs de la *première zone alpine*, ou *zone du Mont Blanc*, sont loin, en général, de présenter cette structure régulière, et il devient souvent difficile d'y reconnaître la succession normale des divers groupes de schistes. Cela tient à ce que cette zone est réellement la partie ancienne du système orographique des Alpes, et que sa structure résulte de dislocations de diverses époques : les schistes cristallins y ont éprouvé leur principale dislocation après le dépôt des grès houillers, mais avant la période du trias, qui repose en stratification discordante sur les tranches de leurs feuilletés fortement redressés; puis ce soubassement de terrains anciens a été de nouveau disloqué par des failles, avec sa couverture de terrains secondaires, comme je l'ai rappelé ci-dessus (p. 28); de sorte que les massifs saillants actuels,

le Mont Blanc et autres, sont des résultats complexes de ces dislocations, d'époques et de caractères très-différents.

Toutefois, par un examen attentif, on arrive à reconnaître que l'effet des dislocations anciennes a dû être de redresser les schistes cristallins en plis aigus, généralement rompus à leurs sommets; mais pour retrouver les deux versants de chacun de ces plis anticlinaux, il faut souvent réunir par la pensée deux massifs actuellement disjoints par l'effet des dislocations plus récentes. Alors on retrouve la même série de schistes cristallins que dans les massifs de la quatrième zone, ayant de même pour terme inférieur les gneiss granitoïdes, tels que ceux d'Épierre, en Maurienne.

Ainsi dans l'Oisans, la chaîne de Belledonne et le massif des Grandes Rousses représentent les deux versants opposés d'un même pli anticlinal, disloqué plus tard, dans le milieu de sa largeur, par des failles auxquelles les couches des terrains secondaires se sont adaptées par plissement. Le versant nord-ouest du Mont Blanc complète, avec la chaîne du Brévent, l'ensemble d'un même pli anticlinal, dont une partie, effondrée entre deux failles, se trouve cachée sous la vallée de Chamonix. Le massif du Pelvoux est celui qui a le mieux conservé, dans son ensemble, la disposition d'un grand pli anticlinal.

Plusieurs de ces massifs de la première zone sont bien connus par leur structure dite *en éventail* dont le Mont-Blanc, le Saint-Gothard et les Alpes bernoises sont les exemples les plus célèbres. Ayant observé cette structure dans une partie de la chaîne de Belledonne dont l'axe était occupé par des gneiss granitoïdes, j'ai proposé, dès 1860 (*Descr. géol. du Dauphiné*, 1<sup>re</sup> partie, § 100), de l'expliquer par une pression plus forte à la base de la chaîne, qui en aurait rapproché les feuillets verticaux, tandis que, cette pression n'agissant pas sur la partie culminante, ces mêmes feuillets y auraient divergé, comme il arrive aux pailles d'une gerbe serrée fortement en son milieu.

Cette explication, accueillie avec faveur par M. Alph. Favre et plusieurs autres géologues et que rendent encore plus probable les résultats des remarquables expériences de M. Daubrée (*Études synthétiques de Géologie expérimentale*, p. 437) me paraît pouvoir être maintenue pour le cas que j'avais en vue et autres cas analogues, où le milieu de l'*éventail* est formé par les *gneiss granitoïdes*, les assi-



ses les plus inférieures de la série des schistes cristallins. Mais depuis, considérant que les protogines stratiformes des parties centrales du Mont-Blanc et les schistes chloriteux ou amphiboliques qui leur sont associés paraissent appartenir, non à la partie inférieure, mais au contraire à la partie supérieure de la série des schistes cristallins, j'ai pensé que la structure en éventail pourrait bien n'y être que l'effet d'un pli synclinal très-aigu (n° 67).

Une coupe du versant valaisan des Alpes bernoises communiquée par M. de Fellenberg à la Réunion de la Société helvétique, en 1880, à Brigue, m'a paru confirmer pleinement, pour ce massif, cette explication si simple de la structure en éventail (n° 75); et j'ai pu, avec plusieurs membres de la Réunion, sous la conduite de M. de Fellenberg, vérifier cette coupe, qui montre, dans la vallée de Loetsch, le milieu de l'éventail occupé par les schistes à séricite, avec les schistes chloriteux et amphiboliques, puis les micaschistes, de part et d'autre, et les deux côtés extérieurs formés par le gneiss.

Voilà encore un problème de la stratigraphie alpine qui paraît se résoudre de la manière la plus naturelle, mais toujours en considérant les deux époques de dislocations qui ont façonné les massifs de la première zone, et par suite desquelles ces massifs sont souvent tout autre chose que les voûtes centrales de soulèvement que l'on cherchait généralement à y voir.

### ROCHES ÉRUPTIVES.

*Granites.* — Les granites massifs proprement dits, en filons, n'ont qu'une faible importance dans les Alpes occidentales. Sans rappeler des exemples connus depuis longtemps, dans les environs du Mont-Blanc, je dirai que tout récemment, dans un voyage que j'ai eu l'avantage de faire avec MM. Potier et Marcel Bertrand, les nouveaux travaux pour l'ouverture d'une route dans la gorge sauvage du Maupas, vallée de l'Olle, en Oisans, nous ont permis d'y constater nettement des filons considérables de granite, injectés dans le gneiss et aussi dans le micaschiste.

*Protogine.* — Quant à la *protogine*, d'après l'examen qu'en ont fait

MM. Fouqué et Michel Lévy, tous les vrais types de cette roche en Oisans, comme au Mont-Blanc, se rattachent au groupe des *granulites*. Elle se présente, le plus habituellement, en nappes stratiformes qui passent à des gneiss chloriteux et sont intercalées dans les schistes chloriteux ou amphiboliques. C'est ainsi que l'ont considérée de Saussure et Cordier. Mais il est incontestable, d'autre part, que cette roche se rencontre aussi en filons, comme l'ont indiqué M. Elie de Beaumont et M. Gueymard, à l'extrémité sud de la vallée du Bourg d'Oisans, et comme la chose a été vérifiée sur place par MM. Potier, Michel Lévy et moi, et tout récemment encore dans la Réunion de la Société géologique. Sur ces points, où l'on peut voir, en quelque sorte, les racines de la *protogine*, on reconnaît que dans les points où elle traverse le micaschiste, elle se présente comme un type ordinaire de *granulite*, avec mica noir intact, et peu de mica blanc. Mais dès qu'elle pénètre dans les schistes amphiboliques ou chloriteux, le mica se charge de chlorite, devient terne, vert foncé, prend l'aspect caractéristique du mica de la *protogine*.

J'ai pu vérifier récemment le même fait, sur des proportions beaucoup plus grandes, dans le centre du massif du Pelvoux, et constater, entre la Bérarde et les Etages, le passage insensible de la *protogine* typique, à orthose rosé, oligoclase verdâtre et mica chloriteux terne, à la *granulite* à feldspath blanc et à deux micas, c'est-à-dire de l'une à l'autre des deux variétés de granite que M. Elie de Beaumont distinguait autrefois dans ce massif.

La *protogine* serait donc, d'après ces données, une variété de *granulite*, pauvre en mica blanc, conservant ses caractères tant qu'elle traverse les gneiss ou les micaschistes, dont le mica est modifié, quand elle pénètre dans les schistes amphiboliques ou chloriteux, surtout quand elle est épanchée en alternance avec ces schistes, en nappes stratiformes, probablement contemporaines de leur formation.

*Euphotides et serpentines.* — D'autres roches éruptives de cette région appartiennent à des périodes bien moins anciennes. J'ai décrit aux environs de Grenoble, deux gisements de roches massives, qui montrent des passages insensibles de l'*amphibolite* à l'*euphotide* et de celle-ci à la *serpentine*.

A la montagne de Chanrousse, c'est un gros dyke d'*euphotide*, avec salbandes de *serpentine*, encaissé dans une large fracture des schistes amphiboliques; rien ne détermine son âge d'une manière précise. A la Serre, entre la Mure et le Valdens, c'est un dyke d'*amphibolite*, en contact, d'un côté avec les schistes amphiboliques, et passant, d'autre part, à l'*euphotide*; celle-ci, passe à la *serpentine*, qui lui constitue une large salbande, du côté où cet ensemble de roches touche au *trias*; de minces filons de *serpentine* pénètrent dans le *trias* même.

Dans le *trias* très développé, à l'état de schistes gris lustrés, des deuxième et quatrième zones, on rencontre beaucoup de gisements de *serpentine* et un nombre moindre d'*euphotides*; les premières sont presque toujours en nappes stratiformes, concordantes avec les couches triasiques; les *euphotides* ont quelquefois les mêmes allures (n° 40, § 290); mais plus souvent ce sont des dykes, auxquels se rattachent les serpentines, soit comme salbandes, soit comme épanchements interstratifiés dans les schistes lustrés. Les gisements du Mont-Genève, que j'ai eu l'occasion de montrer à la Société géologique, en 1861, (n° 35), offrent ces diverses circonstances, et la grosse masse d'*euphotide* a pour salbande, d'un côté, la *serpentine*, de l'autre, sur une faible épaisseur, le *variolite de la Durance*, en contact immédiat, l'une comme l'autre, avec les schistes lustrés triasiques. Tous les gisements d'*euphotide* ou de *serpentine* que j'ai eu l'occasion d'étudier, dans le Dauphiné et la Savoie, me paraissent contemporains de la partie supérieure du *trias*.

*Spilites*.—Il en est de même des *spilites*, dites *variolites du Drac*, spéciales à l'Isère et aux Hautes-Alpes. A une époque où les gypses de cette région étaient regardés comme dépendant du lias (*Descr. du Dauphiné*, § 78), j'avais émis comme probable cette contemporanéité des *spilites* avec les gypses et les dolomies dans lesquelles elles sont intercalées; depuis que ces couches sont classées sans incertitude dans le *trias*, tous les faits m'ont paru confirmer l'attribution des *spilites* du Dauphiné à la fin de cette période géologique.

TERRAINS TERTIAIRES ET QUATERNAIRES DU BAS DAUPHINÉ.

Dans un travail remontant à 1857 (n° 23), j'ai discuté les faits d'après lesquels M. Elie de Beaumont, dans son célèbre mémoire de 1829 (*Ann. des Sc. nat.*, t. 18 et 19) avait admis une discordance de stratification entre la *mollasse marine* et les *poudingues* qui la surmontent à Voreppe, à St-Laurent du Pont, etc., et placé, d'après ces faits, le *soulèvement des Alpes occidentales* entre le dépôt de la mollasse et celui de ces poudingues. J'ai fait voir que le cas de discordance signalé à Voreppe consistait dans un simple contact en biseau sous un angle de 10° environ, fait qui se rencontre souvent dans les formations un peu grossières qui supposent une certaine agitation des eaux ; que d'ailleurs il y avait des alternances répétées entre des poudingues semblables et la mollasse marine ; enfin qu'à la partie supérieure de ces poudingues, à Pommiers, se trouvaient des argiles renfermant une couche de *lignite*, et contenant des *cérithes miocènes* (*C. papaveracum*, Bast. et *C. Duboisii*, Hörn.).

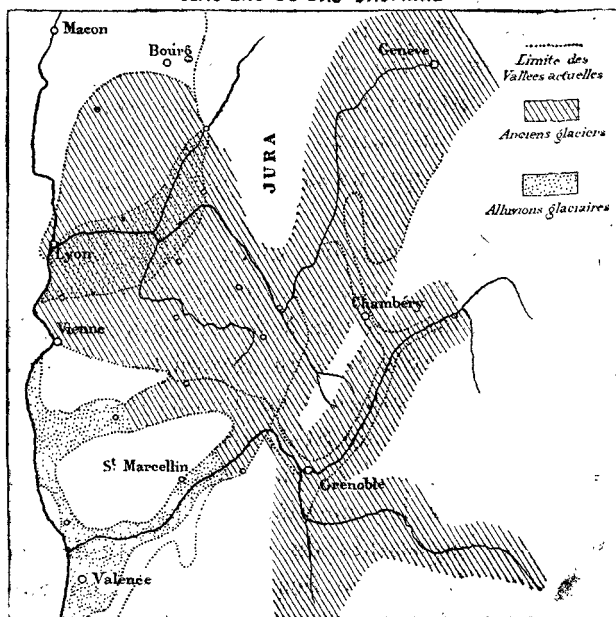
Quant au fait de St-Laurent du Pont, il y en ce point, une discordance manifeste entre la mollasse, redressée presque verticalement, et des nappes caillouteuses horizontales reposant sur les tranches de cette mollasse ; mais ces nappes caillouteuses ne sont autre chose qu'un ancien dépôt torrentiel local, qui ne saurait être assimilé aux poudingues tertiaires.

En s'éloignant un peu des chaînes calcaires du massif de la Chartreuse, on voit la mollasse s'enfoncer, avec une inclinaison sensible vers l'O. N. O., sous d'autres couches marines à fossiles miocènes, la zone à *Nassa Michaudi*, très constante dans la région basse de l'Isère et du Nord de la Drôme ; les poudingues contenant les argiles bleues avec *lignites* de la Tour-du-Pin, de St-Marcellin, etc., viennent au-dessus et en partagent toutes les dénivellations montrant qu'ils ont été affectés encore par les dernières dislocations des Alpes occidentales. Il est donc impossible de les placer au-dessus de la limite stratigraphique que M. Elie de Beaumont avait en vue et je crois devoir réunir encore tout leur ensemble au terrain mio-

ène. Les dépôts pliocènes marins dont M. Fontaines a signalé récemment des témoins le long de la vallée du Rhône bien plus haut qu'on ne l'avait admis précédemment ne se sont déposés qu'après les mouvements qui ont donné leur relief aux plateaux du Bas Dauphiné et qui ont été suivis de dénudations et du creusement des vallées dans l'épaisseur du terrain miocène constituant ces plateaux.

Les phénomènes de la période quaternaire ont eu dans la région que j'ai étudiée une importance toute spéciale : de vastes glaciers descendant des Alpes de la Savoie et du Dauphiné ont débouché par la vallée du Rhône, en tournant le Jura, et par les coupures transversales de Chambéry et de Grenoble; aux environs de ces deux villes, leur niveau s'élevait à l'altitude de 1200 mètres environ et ils se sont étendus, avec une hauteur décroissante, jusqu'à une ligne passant à peu près par Bourg, Lyon et Vienne. Les blocs venant de l'Oisans et du bassin du Drac ont été transportés par les deux branches du grand glacier dauphinois qui se dirigeaient vers St-Marcellin et vers Beaurepaire; ceux de la Savoie ont couvert toute la partie du département située au Nord

EXTENSION DES ANCIENS  
GLACIERS DU BAS-DAUPHINÉ



de la vallée de la Côte St-André. La petite carte ci-contre, insérée dans ma *Description géologique du Dauphiné* (3<sup>e</sup> partie) en 1864, a servi de base aux travaux plus récents de MM. Falsan et Chantre qui en ont confirmé toutes les données essentielles.

Quant aux petits glaciers qui, à la même époque ont existé dans les massifs des chaînes subalpines, fermés au passage des

grands glaciers alpins, particulièrement dans les massifs de Lans (Isère) et du Vercors (Drôme), je crois avoir établi que leurs moraines ont été assez restreintes et qu'elles ne se rencontrent que dans les vallées dominées par des cimes qui atteignent au moins l'altitude de 1500 mètres. Ce résultat, relatif aux chaînes subalpines sous le parallèle de 45°, peut être considéré, je crois, comme une donnée assez précise pour la discussion de différents faits cités comme preuves de l'existence d'anciens glaciers, dans des massifs bien inférieurs à cette altitude.

En résumé, je crois avoir, pour toute la série des terrains des Alpes occidentales éclairci de nombreuses questions, dont la plupart n'avaient pas seulement un intérêt régional ; car au point de vue stratigraphique, les résultats obtenus s'appliquent à des contrées très étendues, et au point de vue de la théorie des dislocations du sol et de la structure des massifs montagneux, ils me semblent pouvoir être d'une application plus générale encore.

Quelques-uns de mes travaux compris dans la liste générale ci-dessus concernent d'autres contrées (nos 28, 72) ; quelques autres, des sujets étrangers à la géologie, ou ne s'y rattachant qu'indirectement (nos 2, 19, 50, 65) ; je ne crois pas nécessaire d'en mentionner ici les résultats.

FIN.

PROFILS GÉOLOGIQUES DU MASSIF DE LA C<sup>OP</sup>E CHARTREUSE.

Fig 1 — Vallée de l'Isère en aval de Grenoble, rive gauche — Ech: 50.000

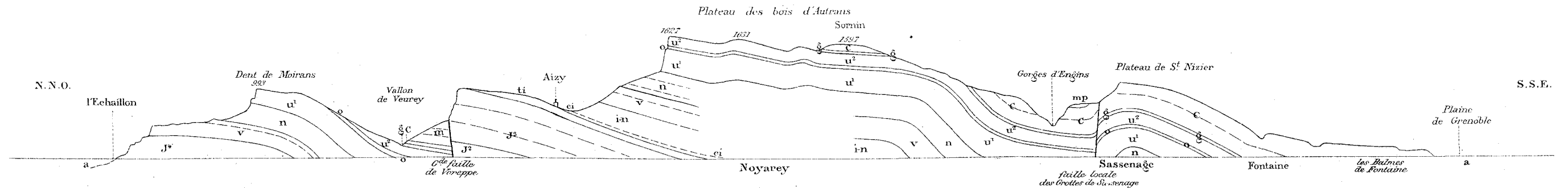


Fig 2 — Vallée de l'Isère en aval de Grenoble, rive droite — Ech: 50.000

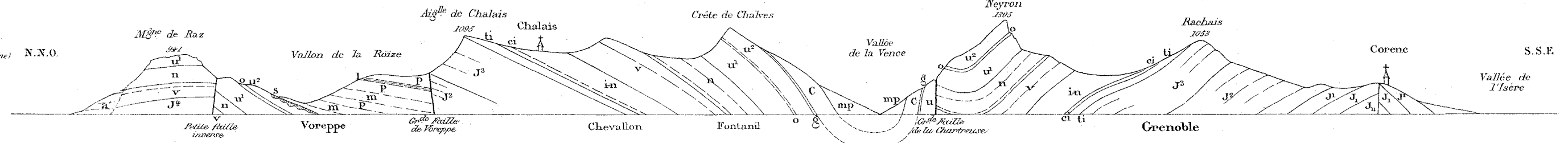


Fig 3

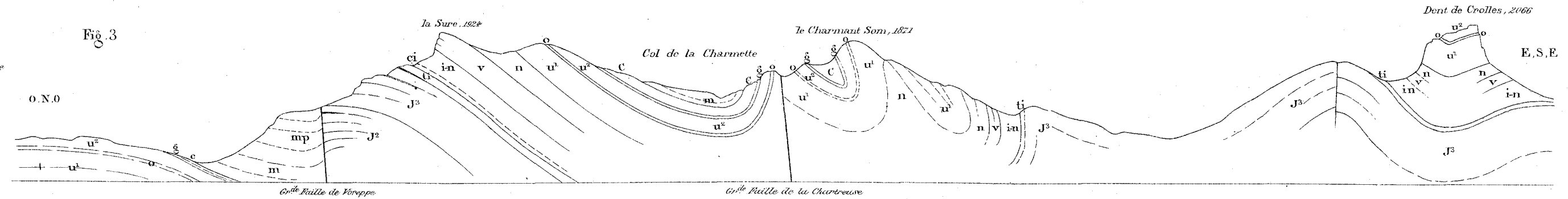
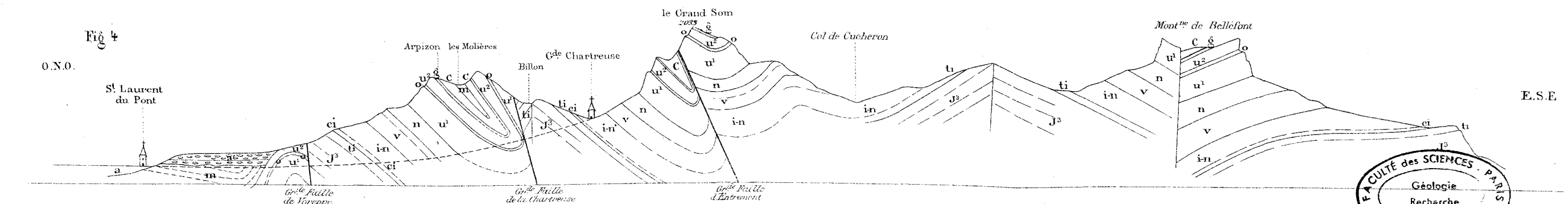


Fig 4



Légende

- a Alluvions modernes
- a' Alluvions anciennes
- m Molasse
- p Poudingues
- l Lignite de Pommiere
- s Sables bigarrés et argiles réfractaires (écène)
- c Craie à *Belemnites mucronata*
- g Gault
- u<sup>2</sup> Urgonien supérieur
- o Couches à orbitolines
- u<sup>1</sup> Urgonien inférieur
- n Néocomien pp<sup>l</sup> dit
- v Valanginien
- in Marnes à *Bol. latus*
- ci Couches à ciment de la Porte de France (faune de Berrias)
- ti Couches lithoniques, Aizy; calcaire à *Terebr. janitor*
- J<sup>4</sup> Corallien de l'Echaillon
- J<sup>3</sup> Calo à *Amn-tenuicobatus*
- J<sup>2</sup> Oxfordien
- J<sup>1</sup> Kellouien
- J<sub>1</sub> Bathonien
- J<sub>0</sub> Bajocien

