

# Les Alpes Occidentales

---

SCHÉMA GÉOLOGIQUE

PAR

FEDERICO SACCO

Professeur de Géologie à l'École Polytechnique et de Paléontologie à l'Université  
de Turin

---

(Avec une Carte géologique, une Carte tectonique et une Planche de Coupes géol.)



TURIN

IMPRIMERIE DU COLLÈGE DES ARTIGIANELLI

—  
1913

---

## PRÉFACE

---

Depuis une trentaine d'années je parcours les Alpes Occidentales, spécialement sur le versant italien, y faisant des recherches géologiques, néanmoins d'une façon irrégulière si bien que je n'ai publié (à partir de 1884) que quelques Notes et Monographies détachées. Et cela par le fait que j'ai été successivement absorbé par d'autres études géologiques, premièrement sur le "*Bacino terziario del Fiemonte, 1886-1889* „, ensuite sur "*La Valle Padana, 1886-1900* „ et spécialement sur "*L'Appennino settentrionale (1891-1899), centrale (1904) e meridionale (1907-1912)* „.

Mais dans ces dernières années j'ai pu dédier d'une manière spéciale et régulière une partie de mes campagnes géologiques de l'été à parcourir en tout sens et sur leurs deux versants les Alpes Occidentales, en examinant la constitution, la tectonique, etc.; ce travail m'étant naturellement facilité par le grand nombre d'ouvrages géologiques de tout genre publiés sur cette région par des savants de toutes les Nations et par les Offices géologiques des Gouvernements de la France, de la Suisse et de l'Italie.

J'ai pris ainsi connaissance directe, personnelle, de la Géologie de toute la vaste Chaîne alpine occidentale, et puisqu'il s'agit d'une région non seulement splendide, importante et classique à tant de points de vue, mais des plus intéressantes, spécialement pour sa constitution géologique et sa tectonique, sujets pour lesquels on a déjà un si grand nombre d'études spéciales, anciennes et récentes, il m'a semblé que fût opportune une publication, même sommaire mais générale, sur la Géologie des Alpes Occidentales, accompagnée d'une carte géologico-tectonique synthétique et de quelques coupes géologiques schématiques, exécutées sans idées préconçues et avec des critères de relative simplicité; d'autant plus qu'en ces dernières années l'exagération de certaines théories me semble tendre à compliquer d'une façon extraordinaire et pas toujours acceptable soit la division en zones, soit l'interprétation tectonique (qui n'est déjà pas des plus simples par elle-même) de la Chaîne des Alpes.

De même le phénomène de l'intense métamorphisme qui domine d'une façon si prononcée et caractéristique dans une grande partie des formations alpines m'a semblé mériter une mention spéciale.

C'est une telle œuvre de synthèse que j'ai essayé de faire avec cette publication, à caractère général et sommaire, bien que connaissant et ne voulant pas dissimuler la petitesse des mes forces devant l'étendue, la complexité et la difficulté de l'ouvrage qui sur plusieurs points devra conséquemment présenter des lacunes.

L'ouvrage se développera de la manière suivante: après un bref *aperçu historico-bibliographique* pour signaler les principales études géologiques (l. s.) accomplies jusqu'aujourd'hui sur les Alpes Occidentales, on en examinera successivement les différentes formations, selon qu'elles sont esquissées dans la *Carte géologico-tectonique* annexe. On traitera premièrement de l'ARCHAÏQUE-PALÉOZOÏQUE (c'est-à-dire *Gneiss, Schistes cristallins* et *Roches massives*), dédiant un chapitre spécial à l'*Anthracolitique* plus ou moins métamorphique et si important; ensuite du MÉSOZOÏQUE, débutant par le caractéristique *Mésozoïque métamorphique* et examinant ensuite le *Mésozoïque normal* dans ses étages principaux (c'est-à-dire: *Trias, Rhétien, Lias, Jurassique* et *Crétacé*, avec les relatives subdivisions secondaires); puis du CÉNOZOÏQUE considéré dans ses étages principaux (c'est-à-dire: *Eocène, Oligocène, Miocène, Miopliocène* et *Pliocène*, avec les sous-étages respectifs) et enfin du NÉOZOÏQUE subdivisé en *Plistocène* et *Holocène*.

Un chapitre spécial sera dédié au MÉTAMORPHISME, qui a une si grande importance dans la constitution des Alpes Occidentales.

Après quoi on traitera brièvement de la TECTONIQUE si caractéristique et compliquée, donnant un aperçu de ses lois principales et en signalant les zones géologiques plus marquées qu'on peut distinguer dans les Alpes Occidentales; illustrant ensuite cette partie de l'ouvrage par un *aperçu sommaire des coupes géologiques*, qui, au nombre de neuf, dessinées sur une spéciale Planche des coupes, traversent en tous sens la région en examen, montrant le multiple et complexe plissement arqué qui a donné naissance à cette grandiose Chaîne alpine, ce qui résulte aussi clairement de la spéciale *Carte tectonique* ou *des anticlinaux* jointe à l'ouvrage.

Enfin, après un simple abrégé de GÉOLOGIE APPLIQUÉE, l'œuvre terminera par un RÉSUMÉ GÉO-HISTORIQUE c'est-à-dire une synthèse rapide de l'Histoire géologique des Alpes Occidentales à partir de la primitive formation de sa partie fondamentale jusqu'aujourd'hui.

*Turin, Octobre 1913.*

FEDERICO SACCO.

---

## APERÇU HISTORICO-BIBLIOGRAPHIQUE

---

À la fin de l'époque plistocénique, lorsque les glaciers commencèrent leur rétrogression vers les hauts bassins montueux, l'homme préhistorique put commencer à pénétrer dans la région alpine, ainsi que nous l'attestent les restes lithiques de haches, pointes de flèches et de lances, meules, etc., qu'on y rencontre en maints endroits. Et même les régions alpines durent être certainement dès lors l'objet de recherches spéciales (qu'on dirait aujourd'hui litho-minéralogiques) de la part de l'homme lithique afin d'y recueillir, en place ou dans les alluvions du fond des vallées, certains matériaux pierreux (d'où le juste nom d'*Homme de la pierre*) dans un but d'offense, de défense ou autre et plus tard pour en extraire quelques minéraux métallifères nécessaires au progrès de l'évolution humaine, fait qui caractérisa la *Période des métaux*.

En outre sur plusieurs points, comme par exemple dans la Ligurie, l'homme devint en partie troglodyte et il utilisa pour son habitation (parfois pour inhumation) les cavernes naturelles des régions calcaires ou même les simples abris sous-roche. Bien plus, il rechercha parfois des fossiles destinés à lui servir comme ornements ou peut-être comme amulettes, par le sens de surnaturel qu'ils devaient lui inspirer; de même il transforma certains étranges blocs erratiques en Monuments mégalithiques, etc.

Du reste les palafittes préhistoriques ou autres constructions semblables, disséminées en si grand nombre aux pieds de la Chaîne des Alpes sur ses deux versants, sont une autre preuve que l'homme habita bien vite et largement les régions subalpines et qu'il pénétra ensuite dans les vallées en s'y établissant petit à petit selon sa convenance; au début avec un type spécialement de chasseur et de pasteur. Ainsi l'homme explora et connut peu à peu les vallées alpines, tout en les peuplant et les cultivant, par cela même découvrant les plus fortes dépressions, les cols, qui devinrent par la suite les voies de communication plus ou moins fréquentées pour les commerces, les pèlerinages, les invasions, etc.; d'où conséquemment nombre de croisements de races, de langues, de coutumes, etc.

Mais néanmoins jusqu'à ces derniers siècles les Alpes représentèrent généralement pour les populations civilisées de la plaine une région quelque peu entourée de mystère et d'effroi, sur laquelle planèrent des légendes multiples.

Bien que les Groupes montueux les plus remarquables fussent naturellement déjà connus dès les temps les plus reculés, tel le Mont Viso (*Vesulus* de Virgile, de Pline, etc.), le Mont Blanc (*Montagne maudite* du Moyen-Age), etc., et que les ascensions des hautes montagnes eussent commencé assez vite, c'est-à-dire dès le xiv<sup>e</sup> siècle (en effet en 1336 Pétrarque fit l'ascension du Mont Ventoux, en 1358 Rothaire d'Asti monta au Roche-Melon, le *Mons Romuleus* des Anciens), c'est seulement bien plus tard que l'homme de la plaine commença à se familiariser avec le monde alpin. C'est même seulement vers la fin du xviii<sup>e</sup> siècle que commença (en grande partie par simple curiosité) la mode de visiter les montagnes, que s'accomplirent de vraies explorations et ascensions et que

peu à peu prit naissance l'*Alpinisme*, dont la période légendaire, dirais-je, se clôtura en 1787 par la conquête du Mont Blanc, faite par De Saussure, qui fut le vrai pionnier de la Géologie alpine. Alors, surpassé le préjugé des Montagnes maudites, débuta l'Alpinisme classique, qui plus tard engendra les Sociétés alpines spéciales, dont la première (l'anglaise) se constitua en 1857.

Naturellement les premières études sur les Alpes s'adressèrent plus particulièrement à leur nécessaire connaissance géographique, mais elle devinrent bien vite à vrai caractère scientifique, spécialement quant à la Glaciologie, à la Botanique et à la Zoologie (voir par exemple: J. J. WAGNER, *Historia naturalis Helvetiae curiosa*, 1680); ce fut certainement un double sentiment, artistique et scientifique, qui dut pousser LÉONARD DE VINCI, au commencement du xvi<sup>e</sup> siècle, à entreprendre des courses alpines même remarquables, comme par exemple celles qu'il fit près du Groupe du Mont Rosa vers 1511.

Dès 1574 nous voyons paraître une première description systématique des Alpes écrite par le suisse JOSAS SIMLER, sous le titre *De Alpibus Commentarius*.

Ensuite, au commencement du xviii<sup>e</sup> siècle, J. J. SCHEUCHZER de Zurich (un des pionniers de l'Alpinisme et de l'étude de la Géographie physique comme auteur, dès 1712, d'une carte de la Suisse) publia une *Beschreibung der Naturgeschichten des Schweizerlandes* (1706-1708), *Helvetiae Stoechiographia, Orographia et Oreographia*, 1716; J. G. ALTMANN en 1751 décrivait les hautes régions suisses dans son ouvrage *Versuch ein. Histor. u. Phys. Beschreibung der Helvet. Eisbergen*; en 1760 G. S. GRUNER donnait en *Die Eisgebirge des Schweizerlandes, Die Naturgeschichte Helvetiens in der Alten Welt*, 1774, une bonne description des Alpes Suisses; en 1786 BESSON présentait un *Manuel pour les savants et les curieux qui voyagent en Suisse*; et de 1779 à 1796 H. B. DE SAUSSURE publiait son ouvrage important, en 4 volumes, intitulé *Voyages dans les Alpes*.

Il n'est pas étonnant qu'avec le xix<sup>e</sup> siècle les ouvrages ayant trait aux Alpes se multiplièrent rapidement, mais parmi leur grand nombre je me limiterai à en rappeler quelques-uns à caractère général, comme ceux de: A. U. H. SCHLAGINTWEIT, *Neue Untersuch. ü. die Physic. Geogr. der Alpen*, etc., 1854; J. BALL, *Peaks, Passes and Glaciers* (1859), ouvrage qui s'est ensuite presque transformé dans les *Hints ands Notes for Travellers in the Alps*, intéressants aussi par plusieurs notions scientifiques; H. A. BERLEPSCH, *Die Alpen in Natur und Lebensbildern*, 1885, avec quelques bonnes descriptions des phénomènes alpins; F. UMLAUFT, *Die Alpen: Handbuch der gesammten Alpenkunde*, 1887, à caractère scientifique; G. ALLAIS, *Le Alpi Occidentali nell'antichità*, 1891, à caractère historique; D. VON LENDENFELD, *Aus den Alpen*, 1896, de caractère général; J. LUBBOCK, *Scenery of Switzerland*, 1896, où est admirablement exposé le rapport entre la Géologie et le paysage alpin; et dernièrement T. G. BONNEY, *The Building of the Alps*, 1913, avec notions scientifiques générales, spécialement de Géologie, Glaciologie, etc., sujets sur lesquels cet auteur publia aussi plusieurs ouvrages anciens et récents; W. A. B. COOLIDGE, *Les Alpes dans la Nature et dans l'Histoire*, 1913, admirable résumé de l'histoire politique et alpinistique des Alpes avec nombre d'autres notions analogues, etc.

A ces ouvrages ayant un caractère d'alpinisme plus ou moins scientifique, un complément intéressant, par la grande richesse des illustrations, forment les œuvres de J. GRAND-CARTERET, *La Montagne à travers les Ages*, 1904, et de A. STEINITZER, *Der Alpinismus in Bildern*, 1913.

Passant maintenant à ce qui a trait plus directement à l'étude géologique des Alpes, si, ainsi que je l'ai déjà fait remarquer, l'homme dès les époques préhistoriques dut faire des recherches dans les régions alpines pour y trouver des pierres et des minéraux à usages variés, si, à commencer de l'*Historia Naturalis* de PLINE, nous trouvons nombre d'ouvrages qui parlent des mines des Alpes, il n'est pas moins vrai qu'il faut remonter aux siècles derniers pour trouver des publications géologiques à caractère vraiment scientifique.

Naturellement ce fut, parmi les phénomènes géologiques, le phénomène glaciaire ou **Glacialisme** qui attira dès l'abord l'attention des savants, de même qu'il avait frappé dès les temps reculés les profanes.

En effet déjà au xviii<sup>e</sup> siècle nous voyons que SCHEUCHZER dans les *Reisebeschreibung der Schweizer Alpen* et dans *Helvetiae Stoicheiografia*, etc., 1716, cités plus haut, fait les premières investigations sur les glaciers, qu'il indique comme *Montes glaciales*; plus particulièrement GRUNER dans son ouvrage de 1760, *Die Eisgebirge des Schweizerlandes*, donna la description des glaciers suisses, dont s'occupa aussi d'une façon spéciale A. DE LUC dès 1774; de même DE SAUSSURE dans ses fameux *Voyages dans les Alpes* décrit les premières recherches sur le Glacialisme. Mais tous sans bien comprendre la grande importance géologique du phénomène; car à cette époque DE SAUSSURE et V. BUCH croyaient encore les blocs erratiques transportés par les courants fluviaux; SILBERSCHLAG et DE LUC les interprétaient comme engendrés par des explosions; plus tard DOLOMIEU exposait sa théorie du glissement, et en 1840 LYELL soutenait encore la *Drift Theory*, ayant recours à l'hypothèse des glaces flottantes pour expliquer les blocs erratiques.

Néanmoins dès 1786 KUHN et ensuite en 1802 PLAYFAIR commencèrent à saisir et indiquer comme d'origine de transport glaciaire les blocs erratiques épars çà et là dans les vallées montagneuses; mais ce fut VENETZ qui le premier en 1821 (et particulièrement en 1829) commença à décrire et expliquer les phénomènes du Glacialisme ancien, développant les idées de PERRAUDIN, montagnard valaisan, chasseur de la vallée de Bagnes; seulement plus tard, entre 1827 et 1830, F. J. H. HUGI s'attacha à l'étude directe du mouvement des glaciers.

En vérité dès 1815 PERRAUDIN avait exposé ses idées, que nous dirions aujourd'hui de Glaciologie ancienne, à J. G. CHARPENTIER, qui y était auparavant contraire, mais qui les embrassa ensuite en 1834 et les développa même de telle façon qu'il put publier en 1841 son ouvrage fondamental *Essai sur les Glaciers*, donnant ainsi à la Glaciologie un vrai corps de doctrine scientifique.

Les études de Glaciologie alpine, actuelle et ancienne, avaient attiré une quantité de naturalistes, de physiciens, etc., qui étudièrent le phénomène en différentes régions et sous divers points de vue et bientôt se publièrent les ouvrages importants de: L. AGASSIZ avec A. GUYOT et E. DESOR (*Études sur les Glaciers*, 1840-41), K. SCHIMPER, J. DE CHARPENTIER, E. DESOR (*Excursions et séjours dans les Glaciers*, 1843 et 1845; *Système glaciaire*, 1847), B. STUDER, RENDU, I. FORBES (1840-50), J. TYNDALL (*The Glaciers of the Alps*, 1860), CH. MARTINS, A. FAVRE (qui publia la première *Carte des anciens Glaciers de la Suisse*) et ensuite toute une pléiade de studieux de la Glaciologie alpine, comme A. RAMSAY en 1862 (qui soutient l'énorme action érosive glaciaire), L. RÜTIMEYER, F. A. FOREL, CH. RABOT, P. GIRARDIN, A. JACCARD, G. DE MORTILLET, B. GASTALDI (premier introducteur des nouvelles théories glaciaires en Italie), G. OMBONI, FALSAN et CHANTRE (auteurs de la *Carte du terrain erratique de la partie moyenne du Bassin du Rhône*, 1875, avec la relative *Monogr. géol. des anc. glac. et terr. err. du Bass. du Rhône*, 1879-80), A. STOPPANI (auteur de *L'Éra Neozoïca*, 1880), A. HEIM, E. RICHTER, D. MARTIN, A. BALTZER, W. KILIAN, P. LORY, E. HITZEL, F. SACCO (*La Valle Padana*, 1886-1900 et *Esogenia quaternaria nelle Alpi Marittime*, 1912), CH. DEPÉRET, E. DE MARTONNE et récemment L. DU PASQUIER, A. PENCK et E. BRÜCKNER qui, dans leur *Système glaciaire des Alpes*, 1894, exposèrent de nouvelles idées glaciologiques. Ces idées furent ensuite amplement développées par A. PENCK et E. BRÜCKNER dans leur grand ouvrage *Die Alpen in Eiszeitalter*, 1901-1908.

Dernièrement FREI (*U. d. Ausbreit. d. Diluvialgletscher in der Schweiz*, 1912) présentait un intéressant résumé sur la Glaciologie quaternaire de la Suisse.

En outre des Commissions spéciales s'établissaient pour l'étude des glaciers, on publiait des *Annales de Glaciologie*, etc.

Quant à la **Géologie** en général nous devons pour les Alpes Occidentales remonter à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle pour trouver les premières études sérieuses faites par H. B. DE SAUSSURE, qui dans ses *Voyages dans les Alpes*, 1779-1796, en outre des observations glaciologiques, commença à distinguer les terrains primitifs des sédimentaires plus jeunes, signala la structure à éventail, décrivit la géologie de plusieurs régions alpines, etc.

Il est remarquable que dès 1807 J. G. EBEL publia une sorte de Traité de Géologie alpine du titre *U. d. Bau d. Erde im Alpengebirge* en y exposant des idées fondamentales assez bonnes sur la Géologie des Alpes. En outre en 1796 G. H. C. ESCHER donnait un *Geognostische Übersicht der Alpen in Helvetien*, et N. DE ROBILANT publiait plusieurs intéressants ouvrages minéralogico-géologiques comme : *Essai géographique*, 1784; *De l'utilité et de l'importance des voyages*, 1790, etc.

Mais pour longtemps les théories métaphysiques sur l'origine des montagnes furent préférées aux recherches directes sur la Nature.

Néanmoins avec le XIX<sup>e</sup> siècle les Alpes devinrent un sujet d'études toujours plus nombreuses, sérieuses et détaillées et constituèrent ensuite un grandiose, immense, admirable laboratoire scientifique de recherches géologiques de tous genres et de la part de savants de toutes les nations.

Ainsi dans la **Suisse** nous voyons arriver, parmi les premiers, L. V. BUCH qui étend peu à peu ses recherches des environs de Neuchâtel aux régions du Jura, et ensuite aux Monts de Glaris, de Chiavenna et du Bernina. Mais les vrais fondateurs de la Géologie alpine suisse furent B. STUDER et A. ESCHER v. D. LINTH, dont le premier, spécialement, publia nombre d'ouvrages, comme la *Monographie de la Molasse*, 1825, la *Geologie d. Westl. Schweizeralpen*, 1834, qui représente la première étude de montagne à tectonique plissée, la *Geologie der Schweiz*, 1851, etc., etc.

À eux deux, comme produit de leurs longues recherches, ils purent publier en 1852 la *Carte géologique de la Suisse*, en plus de différentes cartes géologiques spéciales.

En attendant, L. RÜTIMEYER, K. BRÜNNER, F. J. KAUFFMANN, A. FAVRE (qui dès 1862 publia une Carte géologique de la région alpine autour du Mont Blanc), A. TOBLER et autres éditaient des cartes et des travaux spéciaux sur les Alpes et E. DESOR un ouvrage synthétique *Der Gebirgsbau der Alpen*, 1865; tandis que THURMANN, GRESSLY (qui dans ses *Observ. géol. sur le Jura*, 1838-41, fut le premier à faire connaître l'importance des différents *faciès* contemporains), MARCOU, DESOR, MÉRIAN, STÜDER, etc., jetaient les bases de la Géologie du Jura.

En 1864 O. HEER, résumant et popularisant ses études propres et celles d'autres savants, pouvait publier le génial ouvrage synthético-reconstructif qu'il intitula *Die Urwelt der Schweiz* ou *Le Monde primitif de la Suisse*, et en 1870 R. TH. SIMLER faisait une œuvre graphique un peu analogue en publiant une *Geologische Formationskarte der Schweiz*.

C'est en 1860 que prit naissance la Commission géologique suisse qui, à partir de 1864, commença la publication de la belle Carte géologique de la Suisse à l'échelle de 1:100.000 avec les volumes illustratifs correspondants, c'est-à-dire les *Matériaux pour la Carte géologique de la Suisse*, et avec nombre de cartes géologiques spéciales, grâce à la collaboration de plusieurs auteurs, dont nous rappellerons par exemple les noms de A. BALTZER, E. FAVRE, E. v. FELLEBERG, H. GERLACH (dont l'ouvrage *Die Penninischen Alpen*, 1869, est très remarquable), V. GILLIÉRON, J. B. GREPPIN, A. GUTZWILLER, A. HEIM, A. JACCARD, F. J. KAUFMANN, E. KISSLING, P. MÉRIAN, C. MOESCH, A. MÜLLER, E. RENEVIER, F. ROLLE, L. ROLLIER, H. SCHARDT, S. THEOBALD, etc. En même temps et par la suite travaillèrent et publièrent, spécialement sur les Alpes, nombre d'autres géologues comme ARBENZ, ARGAND, BONNEY, BECK, BUXTORF, BLUMENTHAL, BURCKHARDT, COLLET, DUPARC et MRAZEC (avec leur important ouvrage sur le Mont Blanc), FREI, GOLLIEZ, ALB. et ARN. HEIM, LUGEON, PREISWERK,

RABOWSKI, RITTENER, RÜTIMEYER, SARASIN, SCHMIDT, STAPFF, STEINEMANN, TOBLER, TROESCH, etc., etc., ainsi que plusieurs groupes de jeunes savants s'étant formés à l'école de quelqu'un de ces Maîtres.

Du Jura s'occupèrent spécialement M. M. BUXTORF, BOURGEAT, BAUMBERGER, BRUCKNER, GILLIÉRON, GREPPIN, JACCARD, MÜHLBERG, KÜNZLI, PICTET, RENEVIER, ROLLIER, RICHE, SCHARDT, etc.

Un bon résumé de ces études est la *Géologische Karte der Schweiz* au 500.000<sup>e</sup> publiée par la Commission géologique suisse, carte dont la 1<sup>e</sup> édition fut éditée en 1894, et la 2<sup>e</sup> en 1912, tandis que H. SCHARDT publiait en 1908 un intéressant résumé sur la *Géologie de la Suisse*.

Je rappellerai enfin que depuis 1870 paraît annuellement une excellente *Revue géologique de la Suisse* avec d'utiles résumés; que M. L. ROLLIER publia en 1907 une grandiose et complète *Bibliographie géologique de la Suisse*, qui comprend les travaux de 1770 à 1900, tandis que M. M. COGARTEN et HAUSWIRT publièrent ensuite la *Geologische Bibliographie von 1900 bis 1910*; en outre nous sommes redevables à R. HOTZ d'une bonne liste des cartes géologiques spéciales de la Suisse *U. d. geol. Karten der Schweiz*, 1910.

Pour la **France**, après l'important ouvrage de DE SAUSSURE et les notes de GUETTARD (*Mém. sur la Minér. du Dauphiné*, 1779), FAYAS DE ST. FONDS (1781), DOLOMIEU (1797), HÉRICART DE TOURY (1803), BROCHANT DE VILLERS (1808), BAKEWELL (1823), NEEKER, BUCKLAND (1828-29), DE LA BÈCHE (1829), etc., rappelons spécialement la longue activité géologique d'ELIE DE BEAUMONT (1828-1871) et les travaux de E. GUEYMARD (1830-1857) (qui dès 1830 publia un Mémoire *Sur la Minéral. et la Géol. des Hautes Alpes* avec la relative carte géologique), de A. SISMONDA pour la Savoie et le Niçois à dater de 1835, de SC. GRAS (1839-1868), de G. DE MORTILLET (1850-1875), de PARETO, de ROZET, de COQUAND, de VILLENEUVE DE FLAYOSC, de PEREZ, de LACHAT, etc., et spécialement de A. FAVRE, dont les travaux géologiques commencèrent en 1841, tandis que seulement en 1867 il publiait sa grande œuvre intitulée *Recherches géologiques dans les parties de la Savoie et de la Suisse voisines du Mont Blanc*.

Mais le vrai fondateur de la Géologie alpine française peut se dire être CH. LORY dont l'œuvre scientifique se continua sans interruption de 1850 à 1889, donnant comme résultat la *Description géol. du Dauphiné*, 1864, et une quantité d'ouvrages spéciaux. C'est à lui que nous devons une première distinction de plusieurs zones géologiques dans les Alpes.

Cependant pour la région alpine et subalpine française plusieurs auteurs publiaient différentes cartes géologiques soit générales, comme la *Carte géologique de France*, 1842, de DUFRENOY et ELIE DE BEAUMONT, soit spéciales comme: la *Carte géol. de la Provence*, 1856, du Comte de VILLENEUVE-FLAYOSC; la *Carte géol. du Dauphiné*, 1858, la *Carte géol. du Briançonnais*, 1863, etc., de CH. LORY; la *Carte géol. de la Maurienne et de la Tarentaise*, 1867, de LORY et PILLET; la *Carte géol. du Départ. de la Savoie*, 1869-72, de LORY, VILLET et VALLET; la *Carte géol. des Basses Alpes*, 1840, *des environs de Briançon*, 1854, *des terrains anthracit. des Alpes*, 1855, et *du Départ. de l'Isère*, 1863, de SC. GRAS; la *Carte géol. des Basses Alpes*, 1872, de VELAIN et GARNIER, etc.

Ensuite peu à peu, en ces dernières quarante années, furent publiés quantité d'autres cartes et travaux géologiques spéciaux dus à l'activité de M. et L. BERTRAND, BOUSSAC, CAMÉRÉ, CHAMBRAN DE ROSEMONT, COLLET, DELAFOND, DEPÉRET, DE RIAS, DIEULAFAIT, DOUXAUMI, FALLOT, A. FAVRE, FONTANNES, FOURNIER, GARNIER, GORET, GUÉBHARD, HAUG, HOLLANDE, JACCARD, KILIAN, LEENHART, CH. et P. LORY, LUGEON, MATHERON, MAILLARD, PAQUIER, PERON, POTIER, REVIL, TERMIER, TOURNOUER, VALLET, VELAIN, WALLERANT, ZURCHER, etc.

Mais en même temps, à recueillir et coordonner toutes ces forces géologiques éparses et variées, naissait opportunément, par l'œuvre du Ministère des Travaux Publics, un *Service de la*

*Carte géologique de la France*, qui entreprit la publication, soit des feuilles au 80.000<sup>e</sup> de la *Carte géologique détaillée de la France* pour toute la région alpine, soit de nombre d'ouvrages illustratifs dans les *Bull. des Services de la Carte géol. de la France* et dans les *Mémoires pour servir à l'explication de la Carte géol. détaill. de la France*.

Cet important ouvrage cartographique terminé récemment (bien que naturellement sujet à d'ultérieures révisions, qui sont d'ailleurs déjà commencées) fut l'œuvre spécialement de M. BERTRAND, L. BERTRAND, CH. DEPÉRET, E. HAUG, CH. JACOB, W. KILIAN, MICHEL LEVY, P. LORY, M. LUGEON, G. MAILLARD, V. PAQUIER, L. PILLET, J. REVIL, E. RITTER, P. TERMIER, PH. ZURCHER, etc.

De beaux résumés cartographiques des études géologiques faites successivement dans les Alpes occidentales nous trouvons dans la *Carte géologique de France au 500.000<sup>e</sup>* publiée par CAREZ et VASSEUR, et dans la *Carte Géologique de France* au millionième publiée en une 1<sup>e</sup> édition en 1888 et en une 2<sup>e</sup> en 1905.

Très importants sont : les *Ét. sur les Alpes Françaises*, 1894, de M. BERTRAND, l'ouvrage général sur les Alpes françaises entrepris par KILIAN et REVIL sous le nom de *Études géol. dans les Alpes occidentales*, dont ont déjà paru le volume I<sup>e</sup> en 1904, le II<sup>e</sup> en 1908 et dont le III<sup>e</sup> est annoncé, et, pour l'Eocène, les *Études str. sur le Nummul. alpin*, 1912, de J. BOUSSAC.

Malheureusement il manque encore une Bibliographie complète géologique de la France, bien que pour plusieurs années (1885-1897) l'*Annuaire géologique universel* ait recensé les ouvrages géologiques et paléontologiques ayant trait à la France.

Passant maintenant aux études géologiques sur les Alpes occidentales du côté de l'**Italie** nous devons rappeler avant tout, pour leurs anciens travaux, N. DE ROBILANT avec ses études géognostico-minéralogiques sur le Piémont (1784-90), V. BARELLI pour ses *Cenni di Statistica mineraria*, 1835, S. BREISLAK (1812-38), L. VON BUCH (1829), G. DI COLLEGGNO (1836-1855); ensuite les nombreuses publications de M. L. PARETO (1827-1865) qui fut l'auteur d'une bonne *Carta geologica del Genovesato*, 1846. Mais d'une particulière importance fut l'œuvre scientifique de A. SISMONDA qui pendant sa longue activité, de 1833 à 1872, publia un grand nombre d'ouvrages géologiques qu'il coordonna opportunément dans son importante *Carta geologica della Savoia, del Piemonte e della Liguria*, 1862.

À cette première période d'études géologiques dans les Alpes occidentales italiennes suivit, tout en s'y entrecroisant, une seconde, dans laquelle émergea l'œuvre de B. GASTALDI (1844-1878), qui, aidé spécialement par M. BARETTI et C. et L. BRUNO, accomplit le relevé des Alpes piémontaises au 50.000<sup>e</sup>, en y distinguant opportunément la *Zone des Pierres Vertes* superposée aux formations gneissiques. M. BARETTI résuma ensuite, en 1893, ses études et celles d'autres auteurs dans une Monographie du titre *La Geologia della Provincia di Torino*.

Cependant dans les Alpes et les Préalpes lombardes, en outre des géologues suisses cités antérieurement, accomplissaient d'importantes études et levés géologiques A. STOPPANI, E. SPREAFICO et T. TARAMELLI, à qui on doit justement, entre autres, la feuille 24 (Lugano et Como) de la Carte géologique suisse au 100.000<sup>e</sup>. A TARAMELLI on doit aussi les études sur *Il Canton Ticino*, 1880, les *Not. geol. Bac. Ticino*, 1885, la *Carta geologica della Lombardia*, 1890, etc. Ni on ne peut oublier l'œuvre de T. ZOLLIKOFER, de E. V. HAUER, *Übersichtskarte v. Lombardei*, 1858, de L. PARETO, de G. OMBONI, des frères VILLA, de G. NEGRI, de G. CURIONI (auteur d'une grande *Carta geologica della Lombardia*, 1857, avec le relatif ouvrage illustratif ou *Geologia applicata della Lombardia*), de C. F. PARONA (auteur de plusieurs ouvrages, entre autres ceux sur le Lias et sur *Valsesia e Lago d'Orta*), de E. VON MOJSISOVICH, E. BENECKE, A. BITTNER, BARETTI et SACCO pour *Il Margozzolo*. H. BECKER, DEECKE, K. SCHMIDT, E. B. CORTI, E. MARIANI, G. DE ALESSANDRI, S. TRAVERSO (auteur

de la *Geologia dell'Ossola*, 1895), V. BISTRAM, E. PHILIPPI, T. HARADA (pour les roches porphyriques de la région de Lugano), C. PORRO, H. RASSMUSS, etc.

Dans les Alpes liguriennes, après les travaux fondamentaux de L. PARETO, nous devons rappeler avant tout les très nombreuses études de A. ISSEL, qui s'étendent à un demi-siècle de recherches, presque résumées par lui dans l'ouvrage sur la *Liguria geologica e preistorica*, 1892; il faut noter de même comme M. M. ISSEL et MAZZUOLI réussirent dès 1883 à distinguer la Zone ophiolitique jeune de celle ancienne et, avec D. ZACCAGNA, publièrent en 1887 la *Carta geologica delle Riviere Liguri e delle Alpi Marittime*, tandis qu'à caractère plus compilatif est la *Carta geologica della Liguria* publiée en 1891 par M. M. ISSEL et SQUINABOL.

Il nous faut ensuite rappeler les différentes publications de A. PORTIS, parmi lesquelles très intéressante celle *Sui terreni stratificati di Argentera*, 1883; de F. SACCO (de 1884 sur le Mongioie à 1911 sur *Il Gruppo dell'Argentera*); de C. DE STEFANI, de T. TARAMELLI et les très importants de G. ROVERETO, spécialement sur le Massif cristallin ligure.

Presque à complément, cénozoïque dirais-je, de toutes ces études variées sur les Alpes Occidentales, F. SACCO terminait en 1889 la publication de l'ouvrage géologique sur *Il Bacino terziario del Piemonte* (Bassin typique enserré justement par les Alpes piémontaises), auquel sont jointes une carte géologique au 100.000<sup>e</sup> et d'autres à échelle variée pour les points les plus intéressants.

Pendant que se développait cet ensemble d'études géologiques sur les Alpes Occidentales et régions voisines, le Ministère d'Agriculture d'Italie instituait un spécial *Ufficio geologico*, qui dans les Alpes occidentales commença justement ses travaux avec GASTALDI, BARETTI, etc., et les continua ensuite d'une façon plus régulière, particularisée et systématique, à partir de 1888, par l'œuvre de D. ZACCAGNA, E. MATTIROLO, V. NOVARESE, S. FRANCHI et A. STELLA.

Résultat partiel de cet important travail de levé géologique minutieux furent les nombreuses publications de ces opérateurs insérées dans les *Memorie* et dans le *Bollettino del R. Comitato geologico d'Italia* de 1870 jusqu'aujourd'hui; de même, parmi les *Memorie descrittive della Carta geologica d'Italia*, le Vol. XII a trait aux *Giacimenti di Antracite nelle Alpi Occidentali*.

Entre toutes ces publications nous devons signaler d'une façon spéciale, car ils représentent deux pas en avant et très importants dans la connaissance de la Géologie alpine: 1<sup>o</sup> le résumé de D. ZACCAGNA, *Sulla Geologia delle Alpi occidentali*, 1887, où, entre autre, est mis en évidence le grand développement du Trias et du Permien dans les Alpes et le métamorphisme intense de ce dernier terrain; 2<sup>o</sup> la Mémoire de S. FRANCHI *Sull'età mesozoica della Zona delle Pietre Verdi nelle Alpi occidentali*, 1898, par laquelle fut finalement résolu le problème chronologique de cette étendue, puissante et complexe formation, retenue longtemps comme archaïque à cause de sa cristallinité intense.

Comme résumé de tout ce long travail accompli en tant d'années par l'Office Géologique italien, le même a publié en 1908 une très importante *Carta geologica delle Alpi Occidentali* au 400.000<sup>e</sup>, que suit maintenant la publication très soignée des feuilles au 100.000<sup>e</sup>.

Je rappelle enfin que pour les ouvrages géologiques publiés jusqu'en 1880 il existe une bonne *Bibliographie géologique et paléontologique de l'Italie*, 1881; qu'en 1894 fut publiée une *Bibliografia geologica del Piemonte* rédigée par M. M. PARONA, SACCO et VIRGILIO et qu'à partir de 1886 le Royal Office géologique italien publie toutes les années la *Bibliografia geologica italiana* avec des révisions étendues.

En ces temps derniers plusieurs auteurs de différentes nations entreprirent la publication d'ouvrages généraux synthétiques de genre divers et avec de nouvelles aperçus, comme ceux de

E. SUESS, premièrement avec *Die Entstehung der Alpen*, 1875, ensuite avec le vol. III<sup>e</sup> de l'œuvre *Das Antlitz de Erde* et l'ouvrage de CH. DIENER, *Die Gebirgsbau der Westalpen*, 1891.

Au sujet des ouvrages généraux sur la Géologie des Alpes nous pouvons rappeler aussi ici la *Geologische Übersichtkarte den Alpen*, publiée par FR. NOE en 1890, ainsi que la feuille CV (1898) de la Carte Géologique d'Europe à 1 : 1.500.000.

Naturellement tandis que dans les Alpes et les régions environnantes se développait l'étude graduelle géologique sur le terrain par l'œuvre des auteurs surindiqués, on accomplissait les relatives récoltes et déterminations paléontologiques et lithologiques.

Pour la **Paléontologie**, tout en indiquant I. GESSNER (1565, *De rerum fossilium, lapidum et gemmarum figuris*) parmi les premiers chercheurs de fossiles (*lapides figurati*) au xvi<sup>e</sup> siècle, J. J. SCHEUCHZER, autre studieux des fossiles des xvii<sup>e</sup>-xviii<sup>e</sup> siècles, qui écrivit *Specimen Lithogr. Helvetiae curiosa*, 1702 — *Piscium querelae et vindiciae*, 1708, et C. ALLIONI qui en 1757 publia *Orictographiae pedemontanae specimen exhibens corpora fossilia terrae adventitiae*, rappelons spécialement les noms de G. B. BROCCHI, L. AGASSIZ, E. DESOR, S. BORSON, A. D'ORBIGNY (qui patronna la « Paléontologie française »), F. I. PICTET (qui commença bien vite la publication des *Matériaux pour la Paléontologie suisse*), de A. STOPPANI (lui aussi fondateur, en 1858, d'une *Paleontologia lombarda*), de G. MENEGHINI, du nummulitologue DE LA HARPE, de E. HEBERT, de l'échinologue DE LORIOL, de E. SISMONDA, des malacologistes K. MAYER, MOESCH, BELLARDI, MICHELOTTI, TOURNOUER, BENOIST, LOCARD, FONTANNES, SACCO, etc.; des paléophytologues A. BRONGNIART (qui dès 1828 détermina les phyllites du Carbonifère alpin), GRAND'EURY, ZEILLER, CH. GAUDIN, E. SISMONDA, O. HEER, S. SQUINABOL, P. PEOLA, F. SORDELLI, etc.; les études de E. RENEVIER, F. KOPY, E. GREPPIN, A. PORTIS, W. KILIAN, C. SARASIN, FALLOT, RUTIMEYER, MAILLARD, JACOB, DÉPÉRET, BOUSSAC, etc. pour le côté franco-suisse, de STOPPANI, PORTIS, PARONA, DI STEFANO, KITTL, TOMMASI, BASSANI, DE ALESSANDRI, MARIANI, etc. pour le côté italien.

Pour la **Pétrographie** une importance spéciale ont les ouvrages de MICHEL-LÉVY, F. WALLERANT, L. DUPARC et L. MRAZEC (auteurs des importantes *Rech. géol. et petrogr. sur le Massif du Mont Blanc*, 1898, avec carte géologique), K. SCHMIDT, H. PREISWERK, A. BALTZER, F. PEARCE, F. TELLER, P. TERMIER, U. GRÜBENMANN, etc. pour le versant extérieur de la chaîne alpine, et ceux de A. COSSA, G. STRÜVER, G. PIOLTI, L. COLOMBA, A. ROCCATI, M. KAECH, T. HARADA, E. ARTINI, G. MELZI, etc. pour le versant italien.

---

## ARCHAÏQUE-PALÉOZOÏQUE

---

L'intense et profonde nature cristalline de formations étendues et très puissantes des Alpes fit que pour bien longtemps on ait retenu que l'Archaïque constituât une partie essentielle de la Chaîne alpine sous le nom de *Terrain cristallophyllien* (D'Omalius) ou *Agalysien* (Brongniart) ou *Terrain primitif* ou *Grundgebirge* ou *Terrain fondamental* ou *Système archaïque* en général.

En suite les études plus précises et plus détaillées et particulièrement le retrouvement de fossiles eurent pour résultat qu'on dut peu à peu retirer de celle qu'on croyait la série archaïque, soit des puissantes formations de Calcschistes et roches conjointes, à rapporter au Mésozoïque, soit des Schistes cristallins variés, séricitiques, feldspathiques, chloritiques, amphiboliques, etc., jusqu'à arriver à de vrais Micaschistes et Gneiss menus ou spéciaux, le tout encore attribuable au Permo-carbonifère.

Certaines Ecoles géologiques ont même aujourd'hui la tendance à rapporter aussi à cette période du Paléozoïque supérieur des formations gneissiques étendues et typiques, comme par exemple celles du Gran Paradis. Cette interprétation est probablement le simple produit de l'exagération qui accompagne généralement la découverte de nouveaux faits, en ce cas l'intense cristallisation d'étendues formations sédimentaires alpines.

Il est néanmoins probable que même les plus caractéristiques formations gneissiques des Alpes occidentales, déjà connues sous les noms de *Gneiss central* (*Zentralgneiss*) ou *Gneiss fondamental* (*Urgneiss*), pour en indiquer l'ancienneté, puissent représenter le *faciès* plus profondément métamorphique d'une partie du Paléozoïque passant pourtant inférieurement à l'Eparchéen; si bien qu'il resterait peu au vrai Archaïque dans la constitution des Alpes Occidentales, au moins à l'extérieur, car naturellement les formations gneissiques supérieures, essentiellement paléozoïques, doivent passer vers le bas à des formations toujours plus nettement gneissico-granitiques vraiment archaïques.

De toute manière la résolution du grand problème de la distinction chronologique des formations cristallines des Alpes, bien qu'ayant notablement avancée pendant ces dernières années, reste encore incomplète quant aux terrains gneissiques plus profonds et à leurs annexes, c'est-à-dire où le métamorphisme intense a effacé les données, qui servent au Géologue pour la détermination et la séparation chronologique des étages géologiques.

C'est justement à cause des difficultés qui existent pour la distinction chronologique sûre de la partie inférieure de la série cristalline alpine qu'il m'a semblé pour maintenant plus opportun de la traiter en suivant des critères spécialement lithologiques.

## GNEISS.

Malgré l'unité d'ensemble que présentent généralement les roches dénommées *Gneiss*, elles montrent à l'examen spécial dans la région alpine (où elles jouent un rôle de première importance) une multiformité extraordinaire en rapport avec différentes causes, comme: âge, degré, état et nature de leur métamorphisme; différente constitution chimique d'origine ou de partielle importation successive, etc.; ce qui fait qu'on peut y distinguer de nombreuses variétés dues à la différence de structure ou de constitution chimique, minéralogique, etc.

Quant à l'**origine** des Gneiss les opinions ont été des plus variées, ni aujourd'hui la question peut se dire résolue. Ils furent premièrement crus l'écorce primitive du refroidissement du globe terrestre; ensuite ils furent interprétés comme des sédiments primitifs s'étant déposés en des conditions spéciales de pression et de température dans des océans très minéralisés. Pourtant en même temps que ces théories, et toujours plus par la suite, se développa l'idée que les formations gneissiques fussent d'anciens sédiments métamorphosés par des roches éruptives, ou par le dynamisme ou par la pneumatolyse, etc., ainsi que nous indiquerons mieux au chapitre spécial du Métamorphisme.

Il y a actuellement parmi les Géologues une tendance à distinguer les Gneiss en deux groupes, c'est-à-dire: 1° *Ortogneiss* ou Gneiss éruptifs d'origine plutonique (comme les Gneiss glanduleux, les Gneiss granitoïdes, certains Gneiss hornblenditiques, etc.), en attribuant la structure schisteuse à une lamination postérieure à leur formation, c'est-à-dire à des actions mécaniques, comme pressions, etc. (*dynamométamorphisme*), ou bien à une disposition originaire (forme fluidale) ou à la piézocristallisation, etc. 2° Groupe des *Paragneiss* ou Gneiss sédimentaires comme les Gneiss menus, les Gneiss micacés, les Gneiss graphitiques, etc., dérivant c'est-à-dire de formations sédimentaires plus ou moins profondément métamorphosées.

Pourtant, tout en laissant de côté la question générale de la possibilité de cette distinction nette, l'examen spécial des formations gneissiques des Alpes occidentales me fait penser qu'il s'agit pour elles essentiellement de *Paragneiss*, c'est-à-dire de formations sédimentaires variées gneissifiées par un phénomène complexe de métamorphisme que nous examinerons par la suite.

En effet dans la partie supérieure de cette série gneissique on rencontre, soit des zones à faciès encore clastique, parfois même avec des cailloux, entre les schistes gneissiques (*Mollièresite*; ainsi qu'auprès de Mollières dans les Alpes Maritimes, en plusieurs points de la vallée du Chisone, dans les environs de Modane, etc.), soit des blancs graphiteux et même anthracitiques qu'on doit absolument interpréter comme des sédiments paléozoïques, d'autant plus que les graphites apparaissent parfois sous forme de gisements très métamorphosés parmi les schistes demi-cristallins antracitifères du Carbonifère de certaines régions, p. ex. des Alpes Ligures. En outre dans plusieurs régions des Alpes on peut suivre le passage graduel entre les formations gneissiques supérieures et les formations concordantes superposées, d'âge paléozoïque ou même mésozoïque, dans lesquelles on rencontre parfois des zones schisto-cristallines qu'on dirait des Micaschistes ou Gneiss inachevés par un métamorphisme incomplet. Enfin en certaines zones alpines plus intensivement métamorphosées on rencontre des Gneiss glanduleux, c'est-à-dire à faciès ancien, même dans la partie supérieure de la série et aussi des schistes gneissiques à la base du Mésozoïque.

Tous faits qui nous prouvent que les Gneiss des Alpes occidentales sont généralement de

vrais Paragneiss en bonne partie paléozoïques, dont les différences structurales, minéralogiques, etc. dépendent, soit de différences originaires dans la constitution chimico-lithologique, soit de différences postérieures en rapport avec l'intensité, la nature et la durée du processus de métamorphisme.

Au contraire si nous nous portons dans les régions gneissiques où il y a des affleurements granitiques, ou, d'une façon encore plus étendue, dans les zones où apparaît la partie inférieure de la série gneissique, nous voyons que là elle prend généralement le faciès de Orthogneiss, c'est-à-dire de Gneiss à gros éléments ou un peu granitoïde, etc.

Cela nous laisse supposer que dans les régions à métamorphisme plus intense (par plus grande ancienneté, par position spéciale, par actions plutoniques plus accentuées, etc.) et par conséquent généralement à plus ou moins grande profondeur, les formations gneissiques passent graduellement au faciès granitoïde.

Il ressort en tout cas et d'une façon toujours plus claire des recherches modernes générales et spéciales que les Gneiss et les Schistes cristallins en général représentent non pas une formation chronologiquement fixe, mais bien plutôt un habitus métamorphique ou un faciès de métamorphisme intense, qui fut naturellement plus complet et fréquent, même général, dans les terrains plus profonds et plus anciens, archaïques, mais qui se reproduisit plusieurs fois dans les terrains paléozoïques et même dans ceux mésozoïques, constituant ainsi çà et là plusieurs séries gneissiques et cristallophylliennes. Le fait qu'en plusieurs régions de la Terre (comme p. ex. dans les Monts Appalachiens, en Norvège, en Thouringe, dans les Pyrénées, au Massif Central, dans la Nouvelle Zélande, etc.) le métamorphisme est arrivé à gneissifier quelques zones du Paléozoïque inférieur et moyen jusqu'au Dévonien et que souvent ces Gneiss paléozoïques passent même et se relie à des Micaschistes, Chloritoschistes et Schistes variés phylladiques du Cambrien (p. ex. à la Montagne Noire) et du Silurien à Graptolites (comme p. ex. dans le Manapouri System de la Nouvelle-Zélande), fait penser à admettre que de même les Gneiss des Alpes, où le métamorphisme fut si intense, soit à rapporter en grande partie au Paléozoïque dont ils constituent presque, dans l'ensemble, une formation ou série compréhensive.

Quant à la **Structure** il suffira de rappeler qu'elle est spécialement grossière, macrocristalline, parfois un peu granitoïde, dans la partie inférieure de la série gneissique, où par conséquent prévalent les *Gneiss* appelés *glanduleux* ou *œillés* (*Augengneiss*, *Blastogneiss*), *Gneiss grenus* ou *granitoïdes* et parfois même *porphyroïdes*, etc., qui par leur position étaient autrefois dénommés *Gneiss central* (*Zentralgneiss*), *Gneiss fondamental*, *Vieux Gneiss*, *Urgneiss*, etc., et aujourd'hui souvent *Orthogneiss*, soit massifs, soit en bancs plus ou moins puissants, plus ou moins tabulaires, d'où aussi le nom de *Gneiss tabulaires* (comme les fameux de Beura et de Luserna en Piémont). La structure au contraire devient généralement plus micromérienne, plus nettement schisteuse, plus feuilletée, dans la partie supérieure de la formation gneissique, d'où les noms de *Gneiss menus*, *Gneiss feuilletés*, *Gneiss listés* ou *rubanés*, *Gneiss schisteux* ou en dalles *Gneiss leptinitiques*, pauvres en mica, faisant parfois passage aux *Hallefints*, *Gneiss psammitiques*, *Gneiss micacés*, *Gneiss récents*, etc., avec passages infinis aux vrais Micaschistes.

Aux environs des Massifs granitiques nous rencontrons souvent des *Gneiss granulitiques* spéciaux, qu'on pourrait presque dire granulitisés, car ils semblent représenter une sorte de transition dans le stade de métamorphisme entre le complet granitique et le simplement gneissique.

La structure œillée ne comparait pas seulement dans les zones inférieures du Gneiss mais bien aussi dans les supérieures; elle semble même parfois dériver de l'originaires nature conglomératique de la roche et on a ainsi des *Gneiss conglomératiques* ou *Conglomérats gneissiques*

à yeux de quartz laminé et déformé parmi le ciment gneissique, comme p. ex. dans la vallée du Chisone. Du reste dans les Gneiss plus récents la structure conglomératique, qui forme la variété *Mollièresite* ou *Anagénite gneissifiée*, est assez fréquente et presque caractéristique de l'Anthracolitique alpin dans les endroits où le métamorphisme a été plus intense.

Rappelons en outre qu'au microscope le Gneiss présente parfois la structure cataclastique produite par les actions géo-tectoniques intenses, qui l'ont tourmenté pendant le soulèvement de la Chaîne alpine.

Parfois néanmoins, spécialement dans la partie supérieure de la formation gneissique, une semblable structure, fragmentaire dirais-je, apparaît presque comme un souvenir de l'originale structure clastique des formations sédimentaires qui se sont gneissifiées par la suite, comme on le voit p. ex. dans les zones des Mollièresites en général, de Gneiss appenninitiques et d'autres roches similaires du Paléozoïque supérieur.

Du reste, même sans avoir recours à l'examen microscopique de la structure cataclastique, les Gneiss sont souvent tellement tordus, pliés, ondulés, etc. en petite échelle, comme aussi plissés, tourmentés, etc. dans leur tectonique, qu'ils nous montrent clairement quelles et combien formidables pressions ils ont eu plusieurs fois à subir pendant les phases plus intenses de l'Orogénie alpine. Le groupe de l'Argentera est caractéristique à cet égard.

D'une autre part le fait des nombreuses fentes, cassures, crevasses, etc. remplies ensuite de quartz, qu'on observe en maints endroits des régions gneissiques, p. ex. dans le groupe du Simplon, nous prouve les très forts étirements auxquels elle dût être assujétie.

Quant à la **Constitution Chimique** il y a toute une série continue qui des Gneiss plus acides, correspondant dans l'ensemble aux types ordinaires, grisâtres, qui prévalent dans la partie moyenne et inférieure de la série gneissique, porte aux Gneiss plus basiques, plutôt verdâtres, amphiboliques, pyroxéniques, etc. qui comparaissent spécialement dans la partie médio-supérieure de la formation en examen. Et ces différences chimiques ont naturellement leur répercussion plus ou moins directe sur la constitution minéralogique qui peut être facilement reconnaissable, souvent même à œil nu, et qui est par conséquent la plus connue et la mieux décrite.

Or en suivant la **Constitution Minéralogique** les Gneiss alpins présentent un très grand nombre de variétés, passant souvent graduellement les unes aux autres, parfois très localisées, parfois au contraire assez étendues, si bien qu'elles furent indiquées avec des noms régionaux particuliers comme: l'*Antigorio-Gneiss* (Gerlach), qui est un Gneiss œillé-granitoïde à deux micas et qui montre des passages au *M. Leone-Gneiss*, au *Tessin-Gneiss* et au *Gothard-Gneiss*; le *Sesia-Gneiss* (Gerlach); le *Strona-Gneiss* (Gerlach); le *Crodo-Gneiss* (Gerlach) ou *Verampio-Gneiss* ou *Granite de Verampio* (Schmidt) ou *Granite comprimé*; l'*Arolla-Gneiss* (Studer) chloritique-séricitique, laminé œillé, granitoïde; le *Valdesian-Gneiss* (Grégory); le *M. Rosa-Gneiss*; le *Riva-Gneiss*; le *Lebendun-Gneiss*; l'*Ursern-Gneiss* relié à des schistes quartzeux et verdâtres; le *Berisal-Gneiss*, micaschisteux avec grenat et staurolite; le *Splug-Gneiss*; l'*Adula-Gneiss*; le *Rofla-Gneiss*; le *Suretta-Gneiss*, et autres Gneiss similaires relativement jeunes.

Toutes dénominations qui vont encore se multipliant, finissant par produire une certaine confusion, bien que vraiment chaque Massif gneissique ait quelque caractère minéralogique ou lithologique spécial.

Ce n'est pas le cas en cette étude synthétique de décrire les nombreuses variétés de Gneiss alpins au point de vue ni régional, ni lithologique; il nous suffira de rappeler les plus importantes, ainsi: *Gneiss normaux*, nettement biotitiques; *Gneiss à deux micas*; *Gneiss à mouscovite*; *Gneiss séricitiques*; *Gneiss micacés* en général, c'est-à-dire ayant une telle surabondance de mica et relative

pauvreté de feldspaths qu'ils passent aux Micaschistes, même si insensiblement que sur le terrain il n'est pas toujours facile d'établir une vraie démarcation entre les deux formations; *Gneiss quarzitifères*, au point d'englober parfois des masses de quartz d'une telle étendue et puissance qu'ils alimentent des carrières, comme dans la basse vallée de Suse.

Des *Gneiss* acides surindiqués on passe par des transitions infinies aux *Gneiss* plus ou moins basiques, ainsi: *Gneiss chloritiques* qu'on pourrait parfois appeler *Gneiss protoginiques*, avec affinité aux *Rofla-Gneiss* et passage parfois à des *Gneiss chlorito-micacés* et à des *Chloritoschistes* ou à des *Talcschistes* (*Talkgneiss* de Studer), présentant souvent des intercalations d'*Amphibolites*, *Gabbros*, *Serpentines*, et autres *Pierres vertes*, nous en indiquant ainsi une certaine connexion d'origine. Ou bien ces *Gneiss talqueux-chloritiques* deviennent riches en feldspaths de façon à constituer la *Dolérine* (Jurine 1806) ou *Stéaschiste feldspathique*. Rappelons aussi les *Gneiss chloritico-épidotiques* gris-verdâtres ou gris-bleuâtres, les *Gneiss amphiboliques* ou *Gneiss hornblendiques* (*Hornblendegneiss*) en général, les *Gneiss prasinitiques*, *ovarditiques*, etc., qui passent localement aux *Amphibolites*, *Amphiboloschistes*, *Prasinites* et *Prasinitoschistes*, avec transition d'une part aux *Gneiss biotitico-amphiboliques* et aux *Gneiss chloritico-amphiboliques* et de l'autre même aux *Hornblendites*.

Les *Gneiss amphiboliques* passent parfois à de vrais Schistes ou *Gneiss dioritiques* dans les Alpes suisses et piémontaises, comme p. ex. ceux de Venasca dans la vallée de la Varaita, de Malanaggio dans la vallée du Chisone (où ils sont très utilisés comme matériaux de construction), etc., roches que certains auteurs indiquent aujourd'hui simplement comme *Diorites acides laminées*.

Il est remarquable que ces *Gneiss dioritiques* se trouvent spécialement dans la partie supérieure de la série gneissique, souvent au contact de schistes graphiteux, si bien qu'ils sembleraient se développer spécialement à la base du Carbonifère (ou dans le Dévonien supérieur), si ces schistes sont à rapporter à une telle période géologique.

Il faut encore indiquer: les *Gneiss pyroxéniques* ou *pyroxénico-amphiboliques* passant parfois aux *Pyroxénites* (*Chloromélanites*, *Jadéites*, souvent grenatifères, etc.) ou bien à des roches gabbroïdes ou euphotidiques; les *Gneiss grenatifères* ou *kinzigitiques*, très étendus dans la Vallée Strona (d'où le nom de *Strona-Gneiss* de Gerlach et la variété pauvre en mica appelée *Stronalite* par Artini et Melzi), avec passage parfois aux *Eclogites*, *Grenatites* et aux *Gneiss* à *Omphacite*; *Gneiss* à *Pyrite*, très fréquents; *Gneiss* à *Tourmaline*, comme ceux caractéristiques de la Vallée de Suse; *Gneiss* à *Albite*; *Gneiss* à *Sillimanite* (relié souvent aux *Kinzigites*), à *Andalousite*, à *Cordiérite*, à *Glaucofane* (localement avec passage aux *Glaucofanites* et en général très compacts), à *Epidote* (avec passage aux *Epidotites* ou *Epidosites*), à *Sismondine*, à *Disthène*, à *Staurotide*, à *Hypersthène* (avec passage local aux *Hypersthénites*), à *Enstatite*, etc.; *Gneiss* à *Graphite* si répandus dans les Massifs Dora-Maira au point de servir dans la vallée du Chisone à l'extraction de la Graphite; *Gneiss calcaires* ou *calcschisteux*, qui apparaissent pourtant spécialement dans le Mésozoïque inférieur.

En outre parmi les *Gneiss* de certaines régions (p. ex. dans le groupe de l'Argentera, du Pelvoux, etc.) on rencontre çà et là des accentrements (nucléaires, amigdaloides ou lentiformes) de roches à type dioritique ou siénitique; concentrations qui ont parfois l'aspect d'enclaves, parfois de ségrégations basiques, tandis que les *Aplites* et les formes lithologiques similaires seraient des ségrégations ou concentrations acides causées peut-être par des différenciations ou concentrations magmatiques plus ou moins localisées. Parfois au contraire ces concentrations dioritiques semblent dépendre seulement de phénomènes locaux de spéciale constitution chimique originaires, p. ex. d'une surabondance locale d'éléments ferro-magnésiens.

## SCHISTES CRISTALLINS.

Dans la partie médio-supérieure de la série gneissique des Alpes occidentales nous voyons comparaitre, intercalés souvent avec les Gneiss, des Schistes cristallins variés, micacés, talqueux, chloriteux, etc., grisâtres, verdâtres ou brunâtres, qui deviennent ensuite plus fréquents, puissants et étendus vers le haut, jusqu'à constituer presque exclusivement la partie supérieure de la série cristallophyllienne alpine. Ils ont reçu dans l'ensemble, par Theobald et ensuite par les géologues suisses en général, le nom de *Schistes de Casanna* (*Casannaschiefer*) ou localement de *Veltlinerschiefer* de Theobald, *Berisalschiefer* de Schmidt, etc.

Leur **origine** est essentiellement sédimentaire; c'est-à-dire qu'il s'agit d'anciens dépôts argileux-marneux, arénacés ou autres, plus ou moins profondément métamorphosés, ainsi que nous l'indiquerons au chapitre du métamorphisme; le nom de *Schistes métamorphiques* par lequel ils furent souvent indiqués leur est par conséquent bien approprié.

Néanmoins à ces matériaux habituels de la sédimentation marine s'ajoutèrent, se mêlèrent parfois des matériaux d'origine endogène de façon à constituer des sortes de Tufs très altérés ensuite par le métamorphisme intense qui en a changé l'aspect, par les pressions très puissantes qui les ont fortement laminés, etc.

L'**Age** des schistes cristallins est spécialement paléozoïque; ils sont même en partie à rapporter au Paléozoïque supérieur, c'est-à-dire à l'Anthracolitique et ils passent parfois à représenter (pourtant avec une prévalence absolue du type calcschisteux) le Mésozoïque inférieur et moyen. Du reste les graduelles transitions, les alternances et les entrecroisements des *Casannaschiefer* (qui sont un groupe compréhensif de schistes métamorphiques paléozoïques) avec les formations houillères furent reconnus et signalés depuis longtemps, spécialement à partir de Gerlach. On doit en effet constater souvent des alternances et des passages, en particulier vers le haut, entre les Schistes cristallins variés et les Phyllades, les Schistes satinés (*Thonschiefer*), etc., du Paléozoïque supérieur et du Mésozoïque. Seulement le manque ou la pauvreté des fossiles, du reste mal conservés, ne permet qu'en partie leur détermination chronologique qui reste souvent approximative ou même très incertaine, spécialement dans les formations plus profondes.

La présence et même parfois l'abondance de matériel graphiteux dans certains Gneiss et Micaschistes (comme p. ex. dans les monts de Pignerol) laisse douter qu'il s'agisse d'Anthracolitique un peu analogue à celui de la Styrie; mais il ne faut pas oublier qu'ailleurs, p. ex. dans les Pyrénées, dans les Alpes Carniques, etc., il y a des Schistes carburés analogues, mais graptolitifères, c'est-à-dire du Paléozoïque inférieur.

En somme, ainsi que je l'ai déjà fait remarquer à propos des Gneiss, les Schistes cristallins des Alpes, bien qu'étant essentiellement paléozoïques, ne correspondent pas à un âge ou à une position stratigraphique fixe, mais ils représentent un habitus métamorphique, un faciès plus ou moins accentué de métamorphisme de cristallisation; leur grande variété structurale, minéralogique, etc., est due à la différente intensité, nature, durée, ubication abyssale, etc., de l'action métamorphosante, à la diversité des nouveaux éléments apportés par les actions thermo-hydriques, mais spécialement aux différences (chimiques, physiques, structurales, etc.) que présentaient à l'origine les dépôts, avant de subir le processus de métamorphisme.

La structure schisteuse caractéristique de ces formations cristallines est en grande partie attribuable à leur origine sédimentaire, stratifiée; mais elle fut certainement augmentée et souvent aussi presque complètement produite par les pressions extraordinaires subies après leur dépôt, de

façon à en rester nettement laminées, feuilletées, déformées, parfois même avec une schistosité secondaire.

Si l'absence de fossiles ne permet pas de préciser l'âge des formations cristallines des Alpes, on peut cependant admettre qu'elle est en grande partie paléozoïque et on peut en tracer la succession stratigraphique d'ensemble. C'est-à-dire que dans la partie inférieure se développent essentiellement les Gneiss granitoïdes, dits Orthogneiss, passant parfois au Granite et les Gneiss glanduleux ou autres connus du reste justement déjà comme Gneiss fondamentaux, etc., ainsi que je l'ai indiqué au chapitre précédent. Zone très puissante dont naturellement on ne connaît pas la base, qui pourtant je crois aller se confondre peu à peu en profondeur avec la masse granitique générale, fondamentale.

Dans la partie moyenne un grand développement et une puissance parfois bien supérieure à un millier de mètres acquièrent les Gneiss à séricite ou Paragneiss et plusieurs Schistes cristallins souvent grenatifères, caractérisés presque par la fréquence de l'élément amphibolique, qui parfois se concentre en vraies zones ou lentilles d'Amphibolites, d'Amphiboloschistes ou autres roches semblables.

Enfin dans la partie supérieure, à rapporter en grande partie à l'Anthracolitique, avec encore des Gneiss menus, feuilletés, psammitiques, micacés ou chloritiques, etc., prédominant des Phyllades à séricite, à chlorite, etc., des Schistes feldspathiques, des Schistes verdâtres ou brunâtres parfois graphiteux, des Micaschistes variés et très développés et naturellement les différentes et très nombreuses roches cristallines plus ou moins schisteuses, qui seront indiquées au chapitre suivant comme Schistes métamorphiques de l'Anthracolitique, si bien qu'ils forment dans l'ensemble une série ou formation compréhensive, essentiellement micaphyllitique, à puissance extraordinaire.

Il est à remarquer que si on peut faire dans l'ensemble et très généralement la distinction surindiquée, en trois zones principales, de l'énorme pile des terrains cristallins des Alpes, on observe néanmoins que, non seulement ces zones passent graduellement de l'une à l'autre ou même s'enchevêtrent, mais que dans leur nature elles changent beaucoup de région à région, si bien qu'en suivant un critérium lithologique un peu minutieux on serait tenté de distinguer autant de formations spéciales gneissiques, micaschisteuses, etc., qu'il y a de zones principales d'affleurement, d'où les noms surindiqués p. ex. pour les Gneiss, de Antigorio-Gneiss, Strona-Gneiss, Sesia-Gneiss, Tessino-Gneiss, etc.; tandis qu'en réalité il s'agit de formations cristallines en partie synchroniques et par conséquent se reliant en profondeur dans les synclinales cachées, mais, qui par leur grande variété lithologique et de faciès, en sens soit vertical soit horizontal, apparaissent presque comme des formations distinctes dans leurs différentes zones d'affleurements.

Les *Micaschistes* (*Glimmerschiefer*, *Thonglimmerschiefer*, *Urthonschiefer*, *Krystallinischer Thonschiefer*, *Schistes micacés-phylladiques*, *Micalytes*, *Micaphyllites*, etc.), forment dans l'ensemble la plus grande partie des *Casannaschiefer* de Theobald, nom devenu compréhensif, c'est-à-dire qui correspond presque à l'ensemble des Schistes cristallins métamorphiques du Paléozoïque alpin.

Ces Schistes vers le bas de la série se croisent souvent et passent même graduellement à des Micaschistes gneissiques et enfin à de vrais Gneiss, si bien qu'il n'est pas toujours facile de les distinguer et de les délimiter nettement les uns des autres, tandis que vers le haut ils passent souvent à des *Schistes satinés* et à des *Phyllades* variées.

Du reste le nom de Micaschiste est quelque peu compréhensif, d'où le nom de *Micaphyllitique* donné à la série schisto-cristalline, car il renferme de nombreuses variétés, c'est-à-dire:

1° Selon la structure, ainsi: *Micaschistes grossiers*, *Micaschistes phylladiques*, *Micaschistes*

*conglomératiques* (montrant encore leur nature originaire grossièrement clastique) avec passage à la *Mollièresite*, comme p. ex. dans la vallée du Chisone où ils sont reliés aux Schistes graphiteux;

2° Selon la qualité du Mica constituant ou prédominant, ainsi *Micaschiste* à *Mousscovite*, *Micaschistes* à *Biotite*, *Micaschistes* à *Paragonite*, *Micaschistes* à *Séricite* ou *Séricitoschistes* ou *Schistes satinés* (très communs, mais souvent déterminés comme Talcschistes), *Schistes* ou *Phyllades* à *Helvétan*, qui passent parfois à des *Schistes* spéciaux *quartzifères*, souvent *gneissiformes*, gris-verdâtres ou *Alpinite* (Simler 1862);

3° Selon la surabondance d'un élément constitutif, d'où *Micaschistes purs* presque sans quartz ou au contraire *Micaschistes quartzifères*, si bien qu'ils peuvent passer même à des *Schistes quartzo-phylladiques*, à des *Quartzoschistes* ou *Quartzites micacées* téguulaires (comme p. ex. les *Bargiolines*) ou même à de vraies *Quartzites*, comme spécialement dans le Paléozoïque supérieur et souvent dans le Mésozoïque inférieur.

Ou bien on trouve des *Micaschistes feldspathiques* ou *gneissiques* (ou *Schistes granitisés* de certains auteurs) passant parfois insensiblement soit à des *Schistes feldspathiques*, soit, bien plus fréquemment, à de vrais Gneiss plus ou moins menus, si bien que leur distinction en reste souvent incertaine.

4° Par l'adjonction d'un minéral autre que les constituants habituels (mica et quartz), minéral qui souvent tend à remplacer en plus ou moins grande partie un des éléments constitutifs. Nous avons ainsi les *Micaschistes verdâtres amphiboliques* ou à *Hornblende*, les *Micaschistes prasinitiques*, les *Micaschistes à Glaucophane*, les *Micaschistes pyroxéniques*, les *Micaschistes chloromélانيتiques*, les *Micaschistes écologitiques* ou *Micaschistes grenatifères* (parfois très fréquents, comme dans la zone Sesia-Lanzo), les *Micaschistes à Pyrite*, les *Micaschistes à Graphite* (appelés parfois *Schistes carburés*, *charbonneux* ou *ampelitiques*), les *Micaschistes à Tourmaline*, à *Omphacite*, à *Chloritoïde* (*Sismondine*), à *Gastaldite*, à *Zoizite*, à *Grenat*, à *Clintonite*, à *Disthène*, à *Cordiérite*, à *Staurotide*, à *Sillimanite*, à *Andalousite*, etc.; les *Micaschistes talqueux* (passant souvent aux *Talcschistes*), *Micaschistes chloritiques*, *Micaschistes épidotiques*, *Micaschistes calcarifères* ou *calcifères*, passant souvent aux *Calcschistes*, etc., etc.

Quand dans la formation compliquée micaschisteuse ou gneissico-micaschisteuse ces adjonctions minérales (généralement en rapport avec des dépôts chimiques originaires spéciaux, reliés ou non à des phénomènes postérieurs) deviennent prévalentes, nous avons alors de nouveaux types lithologiques plus ou moins schisteux et qui tendent même parfois à la forme massive, comme: *Amphibolites* ou *Amphiboloschistes* ou *Hornblendoschistes* (avec transition entre *Hornblendgneiss*, *Hornblendfels*, *Hornblendschiefer*), passant souvent aux *Hornblendites*, aux *Eclogites* ou *Grenatites*, aux *Chloromélانيتes* et même à des *Schistes kinzigitiques* ou à des *Prasinitoschistes*; *Aktinolithenschiefer* ou *Strahlsteinschiefer*; *Pyroxénoschistes* passant souvent à des *Pyroxénites simples* ou à *Omphacite*, *Jadéite* ou *Chloromélانيتe*; *Glaucophanites*; *Serpentinoschistes*; *Talcschistes* ou *Talcites* ou *Stéaschistes* (*Talkschiefer* passant parfois aux *Talkgneiss* de Studer), çà et là à *Actinote* ou avec noyaux amphiboliques, parfois associés aux Calcaires cristallins; *Pierres ollaires* (*Topfstein*, *Giltstein*, *Lavezstein*); *Chloritoschistes* ou *Chloroschistes* (*Chloritschiefer* et *Chloritgneiss* de Studer 1856), *Penninschiefer* de Kennigott parfois avec passage au *Roflagneiss* de Von Buch, etc.

Ces roches plus ou moins chloritiques sont assez souvent reliées aux roches amphiboliques indiquées plus haut, formant dans l'ensemble des *Schistes verts* spéciaux ou *Grünschiefer* (l. s.) souvent très analogues à ceux du Mésozoïque métamorphique.

Quant aux *Calcschistes* il faut noter que, si ils prédominent vraiment dans la série mésozoïque intensément métamorphosée, au point d'y être presque caractéristiques, néanmoins ils

comparaissent aussi çà et là intercalés parmi les Schistes cristallins anciens, même parfois parmi les Gneiss, où pourtant ils sont souvent remplacés par des *Calcaires cristallins*, *Calcaires micacés*, *Calcéphyres*, *Cipolins* et autres calcaires disposés en lentilles plus ou moins étendues et puissantes parmi ces Schistes.

Ces Calcaires cristallins anciens sont souvent riches en minéraux variés comme Grenats, Epidotes, Pyroxènes, Amphiboles, Micas, Sulfures métalliques, etc., soit épars dans la masse calcaire soit concentrés en noyaux spéciaux, comme p. ex. le Talc de la vallée du Chisone. Ces Calcaires, parfois dolomitiques, souvent usités comme marbres ou simplement comme pierre à chaux, se trouvent spécialement dans la partie médio-supérieure ou même tout-à-fait supérieure de la formation micaphyllitique, nous laissant parfois un certain doute sur leur âge qui pourrait être du Paléozoïque moyen ou supérieur, comme aussi parfois déjà du Mésozoïque inférieur.

Çà et là le retrouvement de fossiles (Gyroporelles, articles de Crinoïdes, etc.), bien que mal conservés, a déjà permis de rapporter beaucoup de ces zonules calcaires (qu'on croyait archaïques) à des lambeaux triasiques pincés en plis synclinaux parmi les Schistes cristallins; mais souvent le manque absolu de fossiles, la haute cristallinité, la position stratigraphique, etc., laissent encore maintenant douter qu'il s'agisse vraiment d'intercalations calcaires dans la série micaphyllitique, plus rarement dans la gneissique, du Paléozoïque.

## ROCHES MASSIVES.

Dans la puissante et très étendue formation des Gneiss et des Micaschistes des Alpes, comparaissent çà et là des roches massives spéciales à caractère plutonique, bien que plusieurs puissent aussi dériver de l'intense, profond métamorphisme de roches sédimentaires; parfois peut-être quelqu'un d'entre elles étaient associées aux tufs.

Par le développement et l'importance prédomine le *Granite*, à préférence blanchâtre parfois rose (comme à Baveno), parfois rougeâtre, comme en certains endroits de la région de Biella.

Ce sont des Granites spécialement à biotite ou bien à deux micas, mais qui parfois passent au type protoginique ou granitico-pegmatite, jusqu'à devenir la vraie *Protogine* de Jurine (1806) (l'*Alpen-Granit* de De Saussure) comme dans la classique région du Mont Blanc.

Çà et là, en particulier dans les régions périphériques des Massifs granitiques, à la suite de phénomènes spéciaux de métamorphisme causés par le contact avec des roches diverses ou par des éléments chimiques spéciaux associés dès l'origine ou portés ensuite dans la masse générale granitique, on a différentes variétés ou accidentalités, ainsi: *Granites alcalins* (comme certains Granites du Pelvoux), *grenatifères*, *dioritiques*, *eufotidiques-gabbroïdes*, *amphiboliques*, *chloritico-séricitiques*, parfois laminés (par conséquent souvent à structure milonitique), gneissiformes, comme le Granite porphyroïde amphibolico-micacé, dit *Archesina*, de la série de Arolla en Valpelline, etc., où bien il passe ou il s'alterne avec des formes laminées gneissiques, c'est-à-dire le *Gneiss d'Arolla* ou *Gneiss de la Dent Blanche*, englobant de grandes masses de roches basiques; le *Pinit-Granit* de Studer, le *Turmalin-Granit* de V. Buch, etc.

Les Granites alpins sont spécialement macromériques, mais les *Microgranites* ne manquent pas non plus.

Quant à leur structure, outre la typique, compacte-granulaire, il n'est pas rare de les voir laminés, parfois presque pseudogneissiques par l'intense pression latérale subie par eux pendant les puissants mouvements orogénétiques, qui ont fait surgir les Alpes.

En plus, nombre de Granites ont reçu un nom local dû à de spéciaux caractères régionaux, ainsi, p. ex., le *Montblancgranit* ou *Protogine*, le *Grimselgranit*, le *Gothardgranit*, le *Bavenogranit*, le *Rivagranit*, le *Verampiogranit*, etc.; mais en celui-ci comme en d'autres cas analogues ces noms, après des citations et des comparaisons diverses, prennent parfois des significations différentes de la primitive et ne sont conséquemment pas à conseiller car il produisent souvent de la confusion.

Presque comme une auréole ou un cortège d'accompagnement des roches granitiques, en plus des nombreux types lithologiques produits par le métamorphisme de contact, mais qui pour être des phénomènes locaux et partant limités ce n'est pas le cas d'indiquer ici, il faut rappeler les fréquentes apparitions (sous forme d'apophyse, de filons ou pseudofilons) de *Microgranites*, *Aplites*, *Granulites*, *Microgranulites*, *Pegmatites* (parfois tourmalinifères), *Leptinites*, ou même de simples *Quarzites* en veinules indépendantes ou comme terminaisons des apophyses variées de Granulite, Aplite, etc.

Qu'on note pourtant qu'en ces cas il ne s'agit pas toujours de vrais phénomènes filoniens par injection ou intrusion de magmas plutoniques, mais parfois de simples produits de sécrétion reliés à des phénomènes hydrothermiques ou de métamorphisme.

Ni manquent non plus çà et là des petits affleurements filoniformes de plusieurs *Porphyrites* (*amphiboliques*, *pyroxéno-amphiboliques*, etc.), de *Lamprophyres*, de *Granitophyres*, de *Diorites porphyrico-amphiboliques*, etc., soit dans les masses gneissiques ou granitiques, soit dans les micaschisteuses.

Parfois les injections de Granulites ou d'Aplites, etc. ont une telle fréquence dans les roches gneissiques qu'elles en restent presque imprégnées et prennent le nom de *Gneiss granulitiques*, comme p. ex. assez souvent dans le groupe du Pelvoux-Grandes Rousses.

Il est intéressant à remarquer que puisque ces apophyses, granulitiques ou autres, constituent généralement une sorte de bordure ou auréole plus ou moins étendue autour des masses granitiques, leur fréquence en nombre de régions gneissiques nous fait supposer qu'en ces endroits, à une profondeur plus ou moins grande, il y ait des masses granitiques non encore venus au jour par l'insuffisante abrasion des formations gneissiques superposées ou englobantes. Cela nous explique aussi pourquoi dans les conglomérats du Paléozoïque sont souvent plus fréquents les éléments granulitiques, microgranites et autres semblables, que non de véritable Granite, qui alors se trouvait encore en grande partie recouvert, enveloppé et masqué par les roches gneissiques ayant été ensuite peu à peu érodées et exportées dans leur partie supérieure.

En plus des Granites et des roches connexes il nous faut indiquer plusieurs autres roches massives paléozoïques des Alpes, c'est-à-dire:

*Syénites*, comme celle si typique et utilisée des monts de Biella et qui est indiquée vulgairement comme *Granite de Biella* ou *de la Balma* et scientifiquement aussi comme *Granite hornblendique*; il s'agit du reste vraiment d'une roche qui, au point de vue génétique, doit avoir une liaison très étroite avec le Granite. D'une façon identique aux Microgranites, comparaissent çà et là, mais plus rarement, les *Microsyénites*.

*Diorites acides* ou *quartzifères*, comme celles plus ou moins biotitico-amphiboliques, parfois un peu porphyroïdes, de Brosso et Traversella dans le Canavais, qui furent déjà classées comme Siénites ou même comme Granites syénitiques ou Granites amphiboliques, car réellement elles tendent, dirais-je, au type granitique et spécialement à celui syénitique. Je crois même que ces roches dioritiques du Canavais sont étroitement reliées par l'origine, la position, etc. aux roches du Massif syénitique des montagnes de Biella.

En outre, des roches dioritiques plus limitées se rencontrent souvent parmi les Gneiss, parfois en connexion avec des roches granitiques et sous forme variée, amigdaloidé, filonienne, etc. à type microdioritique.

Je rappelle ici que plusieurs auteurs nomment *Diorites laminées* (p. ex. de Venasca, de la Vallée du Chisone, etc.) certaines roches dioritico-quartzifères, amphibolico-biotitiques, schisteuses, qui me semblent généralement pouvoir s'indiquer comme *Gneiss amphiboliques*, *Gneiss prasinitiques* ou *Gneiss dioritiques* avec passage pourtant aux *Diorites gneissiques* et même *granitoïdes*, que quelque auteur a déjà indiqué comme Syénites, p. ex. celle de Valsavaranche.

Tandis que les typiques Diorites acides massives constituent des amples et irréguliers affleurements en masses, dômes ou autres, nous indiquant une origine plutonienne, les roches basiques suivantes (ou *Pierres vertes* en général) sont généralement plutôt zonées, intercalées avec les Gneiss et les Schistes cristallins, de façon à nous indiquer qu'elles ont un mode d'origine assez différent et relié en partie à des phénomènes de sédimentation spéciale, le tout naturellement altéré, modifié dans sa nature originaire par des phénomènes de endométamorphisme intense.

1° *Diorites amphiboliques* ou vraies Diorites, macromériques ou micromériques, compactes ou fréquemment laminées, zonées, jusqu'à représenter des typiques *Dioritoschistes*. Ces *Diorites amphiboliques* ou *amphibolico-pyroxéniques*, souvent aussi à biotite, çà et là grenatifères (avec passage aux *Kinzigités*), nous montrent assez souvent des transitions plus ou moins graduelles à des *roches noritiques*, *gabbroïdes* et *péridotiques* (*Lherzolites*) et même parfois aux *Serpentines*, constituant souvent un vrai musée litho-minéralogique à base de roches basiques avec ou sans feldspath. Le plus important de ces ensembles rocheux caractéristiques, essentiellement basiques, qui se présentent en zones même très puissantes entrecalées et étroitement reliées à des schistes gneissiques ou micaschisteux plus ou moins kinzigitiques (Strona-Gneiss, Stronalites, etc.), parfois même avec des lentilles de Calcaires cristallins, forme la fameuse *Zone dioritique d'Ivrée* (*Amphibolit-zone von Ivrea* de Gerlach, 1869), qui aujourd'hui est plus justement nommée *Zone dioritico-kinzigitique d'Ivrea-Verbanò* ou *d'Ivrea-Locarno*, zone qui par plusieurs géologues est erronément considérée comme analogue aux Pierres vertes du Mésozoïque.

En outre ces roches dioritiques zonées ou laminées comparaissent aussi ailleurs, ainsi que p. ex. à N. W. de la zone dioritique d'Ivrée, c'est-à-dire dans les vallées de la Sesia et du Mastellone, où elles constituent la 2° *Zone dioritique* de Gerlach, comme aussi dans la Valpelline (ce qui a fait naître chez plusieurs géologues l'idée de puissants charriages), mais ordinairement en lentilles petites ou zonules, reliées çà et là aux *Hornblendites*, parfois grenatifères, comprises entre les Gneiss kinzigitiques.

Ne sont pas rares non plus, parmi les Schistes plus ou moins gneissiques, certains accentrements spéciaux dioritiques (moins fréquemment à type syénitique) qui semblent presque des enclaves et sont analogues à ceux dont j'ai parlé à propos du Gneiss.

Mais outre les formations amphiboliques intercalées parmi les Gneiss, il y a parfois de vraies intrusions (dans les roches gneissiques) de spéciales *Microamphibolites* ou *Porphyres amphiboliques*, souvent avec Grenat, Magnetite, etc. à disposition filonienne, aussi qu'elles nous apparaissent p. ex. très nettement dans le groupe de l'Argentera (Alpes Maritimes).

2° *Amphibolites* ou *Hornblendites* souvent grenatifères, passant ainsi et se reliant aux *Eclotites* et aux *Kinzigités*. Plus que les Amphibolites simples sont fréquentes les prasinitiques, passant souvent aux vraies *Prasinités* et ne manquent pas non plus les *Amphibolites dioritiques* (avec passage aux Diorites), les *Amphibolites à Biotite*, les *Amphibolites à Pyroxène*, passant même parfois aux *Pyroxénites*, etc.

3° *Diabases* et *Porphyres diabasiques*.

4° *Eufotides* ou *Gabbros*, simples ou à Biotite, plus ou moins massifs, qui semblent parfois remplacer le Granite presque comme un faciès latéral basique, ainsi que p. ex. l'Eufotide dans la série de Arolla (Groupe de la Dent Blanche).

5° *Lherzolites* et *Péridotites*.

6° *Serpentines* souvent *péridotiques*.

Qu'on remarque pourtant que ces Pierres vertes (les Diorites-Amphibolites exceptées) sont dans l'ensemble moins communes parmi les Schistes cristallins paléozoïques que non parmi ceux du Mésozoïque.

Souvent on voit les Gabbros et les Péridotites se relier aux Amphibolites, Pyroxénites, etc. et toutes se greffer souvent sur les Schistes cristallins basiques, nous montrant ainsi une certaine communauté d'origine.

L'**Origine** des roches massives surindiquées représente encore aujourd'hui un problème non complètement résolu.

En effet quant au Granite il est bien vrai que sa nature (avec affinité aux Liparites et aux Trachytes), sa structure éminemment cristalline, son mode special de se présenter (généralement en dômes ou en grandioses amigdales irrégulières parmi les Schistes cristallins), le cortège de phénomènes filoniens (aplitiques, pegmatitiques, etc.) qui en accompagnent généralement l'affleurement, le fait qu'il englobe parfois des fragments du Gneiss environnant, etc., nous en indique la nature plutonienne, c'est-à-dire de masses magmiques s'étant constituées en profondeur, poussées ensuite plus ou moins en haut, et venues généralement au jour plus tard par abrasion subséquente ou démantèlement exogène des formations schisto-cristallines qui l'englobaient et le recouvraient. Mais il est vrai de même qu'existent des faits spéciaux, ainsi: des zones typiques gneissiques (longues de quelques mètres jusqu'à plus d'un kilomètre) englobées régulièrement dans la masse granitique, p. ex. dans les groupes de l'Argentera, de l'Aar, du Mont Blanc, etc.; comme aussi des alternances, même plusieurs fois répétées, de Granites avec des Gneiss granitiques et même avec des Gneiss micaschisteux; ou des formations granitoïdes passant graduellement aux gneissiques, si bien qu'on dirait que le Gneiss se granitise çà et là près des masses granitiques, et souvent la délimitation entre les deux formations est même incertaine, ainsi qu'on le vérifie p. ex. sur plusieurs des Massifs gneissiques de la basse Vallée de la Doire, du Grand Paradis, du Mont Rosa, dans le basse Vallée de la Sesia, etc.

Ces faits nous indiquent que le plutonisme d'où deriva le Granite dut être relié avec les phénomènes de Métamorphisme général de profondeur qui donnèrent naissance aux Gneiss et aux Schistes cristallins en général; c'est-à-dire avec un Métamorphisme plus ou moins fortement thermal (même simplement de quelques centaines de degrés) s'étant accompli en des conditions spéciales de notable profondeur (quelques milliers de mètres), de forte pression, de grande tranquillité, de longue durée, comme aussi avec de phénomènes spéciaux (plutoniques ou endogènes qu'un veuille les appeler) et avec le concours d'agents minéralisateurs (Pneumatolyse) représentés par des eaux thermominérales, vapeurs d'eau surchauffée et chargée de principes volatiles, ascendentes, imprégnantes, transformantes, minéralisantes, etc. qui permirent à la formation originaire une lente, complète et parfaite transformation et cristallisation, c'est-à-dire la granitisation; phénomènes que nous examinerons mieux dans le chapitre sur le Métamorphisme.

Cette interprétation nous explique nombre de faits, parmi lesquels justement celui déjà indiqué des Granites montrant parfois un passage graduel aux Gneiss granitoïdes, c'est-à-dire à des Schistes cristallins, qui ont, il est vrai, subi un métamorphisme intense et profond, mais sans pourtant parvenir, ou simplement par endroits ou d'une façon incomplète, au stade de granitisation.

Cela nous explique aussi comment, soit par la plus ou moins intense élévation des formations granitiques (qui semblent prévaloir dans les actuelles régions d'anticlinal), soit par la plus ou moins grande dénudation exogène subie dans la suite par les Gneiss et les Schistes

crystallins recouvrant le Granite, celui-ci peut apparaître typique, homogène, ou bien plus ou moins gneissiforme jusqu'à passer à des Gneiss granulitisés et à des Gneiss avec nombre d'apophyses micropegmatitiques, aplitiques, qui constituent justement l'auréole, même assez lointaine, du massif granitique placé au dessous. Par ailleurs ce culot granitique s'élargissant en profondeur, probablement aux dépens des roches cristallophylliennes voisines, doit se confondre avec les zones magmico-granitoïdes profondes de la croûte terrestre.

Quant à la distribution des roches granitiques tandis que dans les régions géologiquement axiales des Alpes Occidentales (c'est-à-dire de Dora-Maira, Grand Paradis, Dora-Sesia, Mont Rosa et Tessin) on a essentiellement des Gneiss çà et là granitoïdes, il est remarquable que les vrais Granites se développent au contraire soit dans les Massifs extérieurs (Argentera, Pelvoux, Belledonne, Mont Blanc, Aar) soit dans les zones intérieures à l'arc alpin, ainsi que justement les affleurements de Biella, des lacs d'Orta, Majeur, etc.; distinction qui néanmoins n'est pas absolue, mais qui, bien que seulement générale, sert à mieux éclairer le problème de l'origine des formations granitiques.

Pour les autres roches granitoïdes, comme les Syénites et les Diorites acides massives, leur origine plutonique, analogue à celle du Granite, se manifeste évidente, d'autant plus que parfois elles montrent que leur formation a été accompagnée par des phénomènes spéciaux géo-hydrothermiques, dirais-je, de minéralisations, de dissolutions, de réabsorptions, de réactions, en somme de métasomatoses, de pneumatholyses, etc. En effet elles présentent parfois de. apophyses porphyriques et des auréoles métamorphiques de contact, avec des dépôts, sécrétion ou concentrations locales, de minéraux spéciaux, souvent métallifères, etc., ainsi que nous le voyons p. ex. dans les régions (connues par leurs gisements métallifères) de Brosso et de Traversella en Piémont, parfois encore aujourd'hui avec un résidu d'eaux thermo-minérales.

Quelque chose d'analogue peut être dit pour les roches filoniennes ou pseudo-filoniennes, comme les Aplites, les Granulites, les Microgranites, etc. (plus ou moins directement reliées au phénomène granitique) et naturellement avec plus de raison encore pour les roches porphyriques où les caractères de structure, d'affleurement, etc. sont absolument à type intrusif.

Quant aux véritables Pierres vertes (l. s.) la genèse indiquée plus haut pour les roches granitiques peut aussi être admise, avec modifications, pour les Euphotides ou Gabbros et les roches analogues ou connexes. Mais pour les Amphibolites, les Prasinites et autres Pierres vertes schisteuses, etc. il faut noter qu'elles ne se présentent pas en protrusions ou intrusions ou filons ou cheminées qui rappellent une origine plus ou moins intrusive ou protrusive, ni qu'elles montrent de vrais phénomènes de contact, étant au contraire interstratifiées, intercalées avec concordance aux Schistes qui les englobent et des quels elles sont par conséquent contemporaines.

Qu'on note aussi que parfois on peut observer non seulement des concordances parfaites, mais même de vraies nuances de passage entre certaines Pierres vertes et les Schistes voisins riches en silicates ferro-magnésiens. Du reste il nous faut aussi rappeler à ce propos et dès maintenant le fait que dans la série mésozoïque il existe parfois une association intime entre certaines Pierres vertes (spécialement diabasiques ou serpentineuses) et les sédiments typiques, bathyales, à Radiolaires ou Radiolarites.

De même la fameuse Zone dioritique d'Ivrée, crue autrefois une grandiose intrusion ou un épanchement éruptif, presque à travers une gigantesque déchirure, à l'examen détaillé résulte constituée par une alternance de roches basiques (dioritiques, gabbroïdes, péridotiques et pyroxéniques) zonées, de roches gneissiques plus ou moins kinzigitiques, et même de Calcaires. Par conséquent, ainsi qu'on admet que puissent se constituer des gangues ou zonules serpentineuses,

oliviniques ou autres par métamorphisme de contact entre des magmas endogènes et certains sédiments traversés par eux (p. ex. action de vapeurs ou d'eaux thermales silicifères sur des calcaires magnésiens), il semble de même logique d'admettre que certaines formations de Pierres vertes puissent dériver de processus semblables pneumatolítico-idathogènes ou plus simplement hydro-thermiques; métamorphisme, non pas de contact, mais général, analogue à celui qui donna naissance aux Schistes cristallins, mais s'étant accompli d'une façon spéciale et sur des formations argilo-calcaires-magnésiennes ou autrement aptes à subir cette transformation spéciale en Pierres vertes (l. s.). Mais ce sujet sera traité dans un chapitre spécial sur le Métamorphisme.

L'Age aussi des roches massives indiquées nous apparait souvent encore incertain. En effet l'âge du Granite, bien qu'il s'agisse d'une roche si étendue et étudiée, représente une question encore aujourd'hui ouverte, car tandis qu'auparavant on le considérait comme une des formations plus anciennes des Alpes, aujourd'hui au contraire nombre de géologues penchent à le rajeunir de manière à le rapporter jusqu'au Tertiaire, ce que je crois être une exagération. Le fait de rencontrer déjà des cailloux granitiques dans certains conglomérats du Paléozoïque supérieur a une grande importance pour cette question, nous indiquant qu'une partie au moins des formations granitiques des Alpes sont d'un âge vraiment très ancien, si bien qu'elles apparaissent souvent dans les anticlinaux des Massifs cristallins.

J'ai déjà rappelé plus haut que les formations gneissiques à plus ou moins grande profondeur doivent probablement passer graduellement à des terrains granitoïdes, qui représenteraient par conséquent le dernier terme du métamorphisme des formations gneissiques en général. C'est-à-dire que probablement les masses granitiques doivent s'élargir, s'étendre en profondeur jusqu'à constituer le substratum général ou au moins prévalent de la croûte terrestre, ce qui fait que leur âge est indéfinissable. Mais les affleurements granitiques qui dans les Alpes pointent çà et là et s'étendent non seulement parmi les Gneiss mais aussi irrégulièrement parmi les Micaschistes, (comme p. ex. les Granites bien connus des lacs d'Orta et Majeur) semblent spécialement à rapporter au complexe phénomène de plutonisme accentué qui se vérifia vers la fin du Paléozoïque, probablement en corrélation avec l'intense plissement orogénétique, qui se vérifia pendant le période anthracolitique. Il en dut dériver la poussée vers le haut du magma granitoïde profond, avec le relatif cortège de phénomènes intrusifs, ou plus simplement la constitution plus ou moins étendue de formations granitoïdes aux endroits où pouvaient s'accroître d'une façon plus intense les phénomènes de métamorphisme physico-chimique (avec de nouveaux groupements chimiques, minéralogiques et cristallographiques) qui déterminèrent la cristallisation régulière, granulaire, c'est-à-dire granitoïde des masses rocheuses.

Quelque chose d'analogue doit être dit quant à l'âge des roches syénitiques, des Diorites acides massives, etc.

Pour les Gneiss dioritiques on a déjà indiqué qu'ils comparaissent spécialement à la base des schistes graphitiques se rattachant peut-être au Carbonifère, d'où ils sembleraient être du Paléozoïque moyen.

Quant aux Diorites basiques et aux Roches vertes en général, comme Amphibolites, Diabases, Lherzolites, Serpentes, etc. on voit que souvent, tout en manquant ou étant rares parmi les Gneiss plus anciens (tabulaires, glanduleux, granitoïdes, etc.), elles deviennent assez fréquentes vers le haut de la série gneissico-micacée, qui paraît correspondre en grande partie au Paléozoïque moyen. En tout cas, sans pouvoir encore préciser la position chronologique de ces formations basiques nous devons remarquer, fait intéressant à plusieurs points de vue, qu'elles se

multiplient, s'étendent et souvent même s'épaississent notablement dans la partie supérieure de la série gneissique des Alpes.

Quant aux nombreuses apophyses microgranitiques, aplitiques, etc. et spécialement porphyritiques, elles semblent souvent être un peu plus jeunes des roches granitiques ou gneissiques qui en furent en effet traversés, probablement en général vers la fin du Paléozoïque.

### ANTHRACOLITIQUE.

Il y a environ un siècle qu'on a reconnu le rôle joué par le Carbonifère dans la constitution de la chaîne des Alpes.

En effet dès 1808 Brochant de Villers parla de végétaux fossiles découverts à Villard-Lurin; en 1823 apparurent les études de Backewell, qui reconnut vraiment le terrain carbonifère; en 1827 Borson signala une grande *Neuropteris* en Tarantaise. Mais c'est spécialement à A. Brongniart que nous devons, en 1828, la première détermination systématique des phyllites du Carbonifère alpin et à Gueymard les premières études un peu sérieuses sur ces terrains.

Néanmoins quelques géologues, comme Elie de Beaumont, suivi en cela par A. Sismonda, crurent devoir attribuer ces formations carbonifères au Jurassique, trompés comme ils le furent par des complications tectoniques locales, qui montraient (ainsi que le signala Elie de Beaumont en 1828) des zones à Belemnites entre deux zones à plantes carbonifères.

Mais si assez rapidement fut reconnu par la généralité des géologues le Carbonifère alpin à faciès normal, détritique, fossilifère, seulement bien plus tard, ce qui du reste était naturel, fut reconnu et établi chronologiquement son faciès cristallin, plus ou moins profondément métamorphique et sans fossiles, si bien que encore aujourd'hui nombre de formations micaphyllitiques et autres semblables, très étendues dans les Alpes, sont d'une très incertaine interprétation chronologique.

Déjà De Saussure, dans ses fameux *Voyages dans les Alpes*, indiqua que plusieurs roches cristallines alpines, comme Micaschistes, etc., crues primitives, pouvaient être au contraire plus jeunes. Plus tard Lyell et Murchison eurent l'intuition de l'intensité du Métamorphisme qui avait agi sur les terrains sédimentaires des Alpes et dès 1841 A. Favre indiqua clairement le phénomène de la cristallinité envahissant certaines zones du Carbonifère alpin.

A partir de 1848 A. Sismonda non seulement reconnut la nature métamorphique du Gneiss et des Schistes cristallins qui y sont connexes, mais il étendit cette interprétation jusqu'à y comprendre le Jurassique.

Plus tard, en 1861, l'Ingénieur Lachat commença à rapporter certaines formations cristallines gneissico-micaschisteuses de la Maurienne au Paléozoïque supérieur.

En même temps Pareto, dans ses *Coupes à travers l'Appenin, 1862*, rapportait au *Verrucano* c'est-à-dire au Permien, plusieurs formations gneissoïdes puissantes et étendues (aujourd'hui justement reconnues du Paléozoïque supérieur) des Alpes Maritimes, détermination confirmée vingt ans après par Taramelli et Zaccagna, tandis qu'une partie des *Casannaschiefer* commençait à être rapportée au Paléozoïque même supérieur (Permien), selon que l'indiquait Suess dès 1870.

Plus tard D. Zaccagna, soit dans sa note de 1884 *Sulla costit. geol. Alpi Marittime*, soit spécialement dans son important ouvrage général de 1887 *Sulla Geologia delle Alpi Occidentali*, établit et étendit largement et avec une grande sûreté la pertinence au Permien de certaines formations alpines fortement cristallines et gneissoïdes, mais pourtant il continua à rapporter encore à l'Archaique des formations puissantes et étendues qu'on reconnut ensuite être beaucoup plus jeunes.

Enfin M. Bertrand, dans ses importantes *Et. dans les Alpes françaises* de 1894, étendit plus encore les idées sur le métamorphisme alpin qu'il indiqua comme augmentant non seulement en profondeur, au point de gneissifier parfois certaines formations du Carbonifère, mais aussi de Ouest à Est, si bien qu'il rapporta au Carbonifère même les Gneiss les plus typiques, ceux dit centraux et fondamentaux, ainsi que ceux formant la splendide coupole du Grand Paradis, interprétation qui fut ensuite généralisée officiellement dans la récente *Carte géologique de France*.

Rappelons enfin qu'un intéressant ouvrage général sur *I giacimenti di Antracite delle Alpi Occid.*, pour le versant d'Italie, a été publié en 1903 par l'Office Géologique italien.

Sous le nom d'*Anthracolitique*, opportunément proposé par Waagen en 1876 (1), je réunis dans cet ouvrage synthétique la série des terrains qui se formèrent de la fin du Dévonien jusqu'au commencement du Trias, constituant dans l'Histoire de la Terre un ensemble unitaire de relative, dirais-je, continentalité, qui des phénomènes orogénétiques s'étend à ceux oro-hydrographiques, climatologiques, endogéniques, sédimentaires et par conséquent aussi à ceux paléontologiques.

Bien mieux ce *faciès anthracolitique*, l'ancien *terrain psammerytique* de Huot, si caractéristique dans la série géologique de la Terre, s'étend, en les englobant, jusqu'aux formations, plus ou moins clastiques, qui, pour renfermer quelques fossiles déjà à type mésozoïque (bien qu'encore mélangés à plusieurs paléozoïques), on a l'habitude d'attribuer déjà au Trias inférieur sous le nom de *Werfénien* ou *Vosgien* ou *Vogésien* ou *Poecilien*, mais qui au géologue dans les Alpes occidentales, comme aussi souvent ailleurs, il semblerait plus logique de rapporter à une dernière et finale phase du Paléozoïque supérieur.

Je rappelle comme exemples à ces propos les formations suivantes: *Grès werfénien*, *Wogesen-sandstein* ou *Grès vosgien*, *Grödenon*, *Groedner schichten* ou *Grès de Gröden*, *Grödensandstein*, *Grès bigarrés*, *Grès et Argiles bariolées* ou *Argilolites* (pars), *Buntersandstein*, *Roeth*, *Servino*, *Grès rouge*, *Grès métamorphiques*, *Grès bariolés*, *Grès grossiers*, *Kieseligersandstein*, *Bundersandstein* (pars), *Quarzsandstein*, *Verrucano supérieur*, *Quartzites alpines*, *New Red Sandstone* (pars), *Karoo Sandstone* (pars), *Thonsandstein*, *Tartarien*, *Voltzien-Sandstein* ou *Grès à Voltzia*, *Sernifit* ou *Sernfschiefer*, *Mottled-Sandstone*, *Saluergestein*, etc.

C'est pourquoi dans la carte géologique qui accompagne cet ouvrage et dans les coupes où le petitesse de l'échelle ne permet pas des distinctions minutieuses, il m'a semblé opportun d'englober généralement les formations werféniennes avec le Paléozoïque supérieur. Il s'agit du reste de délimitations plus ou moins arbitraires et par conséquent, au fond, de non grande importance; mais il est certainement regrettable qu'on ait établi à l'origine, et qu'on maintienne par conséquent encore aujourd'hui, une division de première importance, c'est-à-dire entre l'Ere paléozoïque et la mésozoïque, en un point de la série stratigraphique où, par suite de passages insensibles et d'entrecroisements de tout genre, une telle séparation apparaît bien peu naturelle.

En ligne très générale on pourrait dire que les Schistes cristallins de l'Anthracolitique se distinguent de ceux plus anciens par la structure moins homogène, la cristallisation plus confuse, les individus cristallins moins volumineux et moins bien formés. La Chlorite et la Séricite au lieu de former des grandes plages qui moulent les grains de Quartz sont plutôt en courtes lamelles, soit groupées en faisceaux parallèles soit confusément enchevêtrées parmi le Quartz; de même les

---

(1) Le nom de *Carbonique* Renev. 1874 englobait aussi le Dévonien et seulement plus tard (1897) il fut réduit au Permocarbonifère; c'est du reste un nom qui se confond trop aisément avec celui, plus limité, de *Carbonifère*, pr. d.

Feldspaths, au lieu de former des grandes plages moulant les Micas et les Chlorites, constituent presque des accentrements spéciaux. Parmi les Feldspaths prédomine l'Albite au lieu de l'Oligoclase; parmi les minéraux l'Oligiste est fréquent et plus rares au contraire le Grenat et la Magnétite.

Néanmoins il s'agit essentiellement de différences non absolues, mais de degré, et qui tendent en conséquence à disparaître dans les régions de métamorphisme plus intense, si bien que nous trouvons parfois des Micaschistes inachevés en des zones placées au dessous du Carbonifère et au contraire des formations gneissiques dans des zones permienes; cela en rapport avec des différences, soit de constitution originaire de la formation, soit de degré, nature, température, temps, etc., du processus métamorphique qu'elle a subi.

Les formations anthracolitiques ont dans les Alpes une constitution assez variée, mais qui dans l'ensemble indique en général dans leurs dépôts originaires une faible profondeur marine ou même une vraie littoralité, avec passage à des zones de deltas (souvent à type torrentiel), de lagunes et même de régions limniques, marécageuses, auprès desquelles, sous un climat humide et chaud, prospéraient luxuriantes les Fougères, les Cycadofougères, les Equisétinées et plusieurs Gymnospermes.

Il s'agit spécialement d'argiloschistes (*Thonschiefer*, *Schistes ardoisiers*, *Dachschiefer*), de grès et même de conglomérats (*Poudingues de Vallorcine*, *Mollièresite*) c'est-à-dire de formations typiques sédimentaires, parfois même avec de fréquentes lentilles charbonneuses, anthracitiques, et un faciès presque normal comme celui que nous voyons en certaines régions, p. ex. dans le Briançonnais.

Mais, ainsi que je l'ai déjà indiqué, ce qui forme la caractéristique essentielle de l'Anthracolitique alpin c'est le degré plus ou moins intense du métamorphisme que ces formations sédimentaires ont subi sur des régions très étendues, si bien qu'au lieu des dépôts surindiqués, évidemment élastiques, les formations anthracolitiques se présentent souvent changées en grès métamorphiques plus ou moins micacés (p. ex. les *Grès de Trient* de Favre, le *Fouilly-Sandstein* ou *Grès métamorphique de Fouilly*), ou bien en Schistes plus ou moins évidemment cristallins ou intensément laminés, *Phyllades* ou *Phyllites*, *Thonglimmerschiefer*, *Micaschistes* variés et même en roches gneissiformes jusqu'à de vrais *Gneiss*, c'est-à-dire avec le faciès gneissico-micaphyllitique que nous avons déjà indiqué aux chapitres précédents.

Le phénomène du métamorphisme progressif de cristallisation en Gneiss, Micaschistes et autres peut souvent se suivre soit verticalement dans la série anthracolitique d'une région donnée, soit latéralement entre régions voisines (p. ex. dans les Alpes Maritimes, dans les Alpes Graies, dans la haute vallée d'Aoste, etc.), si bien que l'examen géologique sur place, comme l'étude pétrographique (soit à œil soit au microscope) des échantillons, nous font constater tous les stades de métamorphisme qui nous mènent graduellement des Quartzites triasiques et des Argilolites ou des Grès psammitiques avec Anthracite et des Phyllites typiques du Carbonifère non seulement aux Micaschistes ou autres Schistes cristallins variés (*Casannaschiefer* l. s.), mais jusqu'aux Gneiss les plus caractéristiques, graphitifères ou non, qui nous rappellent à l'esprit l'idée de l'Arcaïque.

Ainsi p. ex. dans la haute vallée d'Aoste nous voyons que la formation carbonifère, énormément étendue et puissante, même beaucoup plus que de 1000 mètres, est constituée par des schistes psammitiques arénacés ou phylladiques gris-brunâtres, souvent charbonneux, anthracitifères, çà et là avec des restes de Flore (spécialement Fougères) nettement carbonifère, intercalés parfois avec des zones plus ou moins puissantes de conglomérats poudingoïdes ou Anagénites plus ou moins laminées, à ciment cristallin quartzo-micacé; formations qui passent vers le bas avec une concordance absolue, et de même transversalement et latéralement, à des Gneiss menus psammitiques, à des Micaschistes graphitiques ou non, à des Séricitoschistes gris-bruns, parfois avec

nodules feldspathiques, etc., lesquels Schistes cristallins sont évidemment des simples sédiments de l'Anthracolitique qui ont subi un plus haut degré de Métamorphisme.

Ces faits, s'ils sont hautement suggestifs quant à l'importance du Métamorphisme en général et dans les Alpes en particulier, sont de même un grave obstacle pour l'exacte détermination chronologique des terrains, qui ont ainsi perdu presque tous leurs primitifs caractères lithologiques, paléontologiques, etc.

C'est pourquoi dans les chapitres précédents je me suis borné à attribuer au Paléozoïque en général de très puissantes formations gneissico-micaphyllitiques et roches massives conjointes qui probablement doivent être en partie attribuées déjà à l'Anthracolitique.

Parmi les formations intensément cristallines qu'on doute fort puissent être du Carbonifère, d'un spécial intérêt sont celles du Pignerolais s'étendant pourtant aussi au Saluçois et reparaisant encore sur une vaste étendue dans le groupe de l'Argentera, etc. En effet, bien qu'elles soient représentées par des schistes éminemment cristallins (Phyllades, Schistes mouchetés à Chistolite, Micaschistes variés et Gneiss menus, psammitiques, passant parfois vers le bas à des Gneiss prasinitiques, etc.), le fait qu'ils sont souvent graphiteux, même fréquemment avec de vraies lentilles ou bancs de graphite (qui passe parfois localement à l'anhracite, rappelant même dans la disposition irrégulièrement amigdaloidé les Anthracites du Carbonifère, bien que très métamorphique, des Alpes Liguriennes, de la Haute vallée d'Aoste, du Briançonnais, etc.); la présence de lentilles ou bancs de conglomérats, bien qu'un peu gneissifiés et à éléments laminés; les rapports parfois assez étroits qu'on observe (p. ex. dans la basse Vallée de la Maira, près de Rossana, etc.) entre les Schistes graphiteux et les Micaschistes d'une part et les Quartzoschistes et même les Calcschistes mésozoïques de l'autre, sont autant de données qui font penser qu'il s'agit de Carbonifère, seulement très profondément métamorphosé.

Il ne faut pourtant pas oublier que des formations graphiteuses analogues se développent aussi dans des terrains paléozoïques plus anciens, ce qui impose une certaine réserve à cette interprétation chronologique.

Le jour où l'on découvre des fossiles carbonifères dans ces formations gneissico-micaphyllitiques, graphitifères, du Pignerolais et autres analogues, ou bien si on pouvait d'une manière absolue constater leur âge contemporain avec des formations cristallines analogues et graphitifères, mais avec *Calamites*, *Lepidodendron*, *Sigillaria*, *Neuropteris*, *Pecopteris*, etc. (ainsi qu'on le vérifie p. ex. en Styrie et autres régions alpines), et par conséquent, disparaissant tous les doutes, qu'on puisse rapporter au Carbonifère ces formations éminemment cristallines, comme justement celles du Massif Dora-Maira, alors une bonne partie des Gneiss menus, des Micaschistes et des Schistes cristallins des Alpes Occidentales devraient être attribués à l'Anthracolitique.

Mais, même manquant de cette constatation, il est certain que dans les Alpes, si les Gneiss glanduleux, tabulaires ou autres sont généralement du Paléozoïque inférieur, néanmoins plusieurs formations gneissiques, spécialement certains Gneiss menus ou psammitiques plus ou moins listés, mais par endroits aussi granitoïdes et porphyroïdes, {certains Micaschistes et Schistes variés cristallins, séricitiques, phylladiques, parfois un peu graphiteux, plus rarement calcarifères, etc., doivent être rapportés à l'Anthracolitique.

Cela d'autant plus que, comme j'ai indiqué plus haut, en certaines régions alpines on peut directement constater le passage graduel, même par alternances ou par entrecroisements latéraux, entre ces formations gneissico-micaphyllitiques et les schistes les plus variés, d'ordinaire bruns ou grisâtres, arénacés ou phylladiques ou psammitiques ou ardoisiers ou schisto-micacés plus ou moins satinés, à pâte demi-cristallisée et même avec des vrais grès (comme les grès de la Mure),

grès feuilletés, conglomérats, poudingues (parfois à galets déformés), etc., ayant une épaisseur dans l'ensemble de plus qu'un millier de mètres; formations qui non seulement sont souvent charbonneuses ou bitumineuses, graphitifères et même par endroit anthracitifères, mais qui çà et là conservent encore les traces (bien que très altérées, déformées, etc.) de *Sphenophyllum*, *Calamites*, *Lepidodendron*, *Sigillaria*, *Annularia*, *Asterophyllites*, *Sphenopteris*, *Pecopteris*, *Neuropteris*, *Dicksonites*, *Asterotheca*, *Cordaites*, etc., c'est-à-dire d'une Flore nettement carbonifère.

Il faut pourtant noter que ces restes phyllitiques sont souvent complètement séricitisés (par *Gümbelite* ou autre) constituant des splendides empreintes argentées, qui nous prouvent elles aussi l'intensité du métamorphisme chimico-minéralogique subi par le Carbonifère alpin.

Quant aux grès de l'Anthracolitique alpin typique, qui se présentent souvent demi-cristallins avec d'abondantes paillettes de mica séricite, on observe qu'ils sont généralement sans calcite, élément qui apparaît au contraire déjà dans les grès du Werfénien. Du reste les Conglomérats et les Conglomérats-Brèches de l'Anthracolitique, même supérieur, sont essentiellement à éléments de quartz, de schistes et de grès cristallins variés, de granites, de granulites, etc. (provenant de régions voisines, cristallines, déjà alors émergées), mais non de calcaire, probablement par le simple motif que les calcaires des Alpes occidentales sont pour la plus grande partie d'âge mésozoïque.

Qu'on note que dans les conglomérats anthracolitiques de certaines régions alpines sont rares et même manquent les éléments de granite typique (plus fréquentes étant au contraire les granulites) probablement par le fait que pendant la période Anthracolitique les formations granitiques étaient encore en très grande partie masquées par les couvertures gneissico-micacées avec intrusions granulitiques, couverture qui fut par la suite profondément érodée et incisée.

Par les différents auteurs, suivant les régions, suivant la différente constitution, etc., les formations cristallines plus ou moins profondément métamorphosées du Paléozoïque supérieur alpin ont reçu les noms les plus variés, comme p. ex.: *Gneiss chloritiques* ou *chloriteux* (Lory), *Gneiss chloritico-micacés*, *Gneiss verts*, *Gneiss anagénitiques*, *Gneiss protoginiques*, *Gneiss appennitiques*, *Gneiss prasinitiques*, *Gneiss à glaucophane*, *Gneiss récents*, *Pseudo-Gneiss* ou *Faux-Gneiss*, *Gneiss menus*, *Gneiss listés*, *Gneiss psammitiques*, *Gneiss séricitiques*, *Gneiss arkosiques*, *Gneiss phylladiques*, *Helvetan-Gneiss*, *Gneiss porphyroïdes*, *Suretta-Gneiss*, *Spluga-Gneiss*, *Rofla-Gneiss* (V. Buch 1809), *Gneiss de Modane* (Lory), *Lebendun-Gneiss*, *Adula-Gneiss*, *Grüner-Gneiss*, *Euphotide talqueuse*, *Anagénites feldspathiques* ou *talco-feldspathiques*, *Anagénites laminées*, *Mollièresite* (Sacco 1910) ou *Anagénites gneissifiées*, *Quartzites séricitiques à yeux feldspathiques*, *Quartz-Gneiss*, *Quartzites chloritico-séricitiques*, *Quartzites talqueuses*, *Quartzites micacées*, *Quartzites feldspathiques*, *Quartzites gneissiformes*, *Quartzites feuilletées*, *Schistes gneissiques* ou *gneissiformes* ou *gneissiformes-talqueux* ou *gneissiformes-feldspathiques*, *Schistes quartzitico-feldspathiques*, *Felsites talqueuses* ou *chloritiques*, *Schistes talco-chloritiques*, *Schistes chloritico-épidotiques*, *Schistes chloritico-amphiboliques*, *Schistes chloritico-micacés*, *Schistes chloritico-quartzeux*, *Chloritoschistes*, *Talcoschistes* et *Chloritoschistes feldspathiques*, *Schistes talqueux-micacés*, *Schistes talqueux-nodulés*, *Schistes talqueux à noyaux feldspathiques* ou *quartzitiques*, *Schistes verts* en général, plus rarement *Schistes amphiboliques*, *Schistes à Glaucophane* ou *Chloritoïde*, *Schistes albitico-calcitifères*, *Micaschistes chloritiques*, *Schistes anagénitiques*, *Schistes quartzo-séricitiques*, *Phyllades feldspathiques* ou *Phyllades vertes à nodules feldspathiques*, *Verrucano gneissique* de Vorderrheim, par d'autres appelé *Verrucano gneissoïde* ou *gneissifié* ou *Sernifite gneissoïde*, *Alpinit* (Simmler 1862), *Alpinit à Helvétan*, c'est-à-dire schiste métamorphique vert, *Appenninite* (Gastaldi 1878, non *Penninite* auct.) que je crois analogue au *Rofla-Gneiss*; *Besimaudite* (Zaccagna 1889), qui diffère de l'Appenninite avec laquelle plusieurs auteurs la confondent, etc.

A rapporter de même à l'Anthracolitique sont les très divers *Schistes micacés* ou *Micaschistes*

l. s. (entre autres plusieurs compris parmi les *Casannaschiefer* l. s. de Theobald et de Gerlach, les *Valtliner-Schiefer* de Theobald, etc.), spécialement les séricitiques ou *Sericitoschistes* ou arénacéo-séricitiques (*Séricit-Schiefer*), comme aussi en général les *Micalithes* ou *Phyllades cristallines* (à Glaucothane, à Sismondine, à Epidote), les *Phyllades quartzifères*, *Micaschistes phylladiques*, *Micaphyllites* ou *Micaphyllades*, certains *Schistes lustrés*, *Schistes satinés*, *Schistes argentés*, *Schistes micacés à noyaux quartzeux* ou *feldspathiques*, les *Micaschistes psammitiques* ou *psammitico-feldspathiques*; ou bien certains *Schistes feldspathiques*, plus souvent *chloritiques* (avec passage à de vrais *Chloritoschistes*) ou *ottrélitiques* ou *talqueux* (comme aussi de vrais *Talcoschistes*, les *Talcites* de Cordier), parfois même un peu *amphiboliques*, telle autre au contraire plutôt *quartzeux*, *phtanitiques*, etc., souvent *charbonneux* bruns ou vraiment anthracitifères.

Se rapprochent au contraire déjà du faciès normal certains *Argiloschistes* plus ou moins métamorphosés en *Argilolites micacées* ou en *Phyllades bigarrées*, brunes, verdâtres (les *Schistes verts* en général), rougeâtres, rouges vin (*Schistes lie de vin* de Favre), violacées (*Schistes violacées*), etc., comme la Pierre du Roja ou *Rojaite* des Alpes Maritimes, le *Bunte Schiefer* des géologues suisses, etc.

A ces Schistes spéciaux métamorphiques, fins ou grossiers, se relie aussi beaucoup de formes analogues indiquées par différents auteurs dans les différentes régions sous les noms de *Servino* (pars), *Sernfschiefer* ou *Sernifit* (pars), le *Saluergestein* (Studer), etc. De même analogues à la *Rojaite* ou à d'autres semblables Argilolites, mais à un stade moins avancé de métamorphisme, sont certains Schistes préférentiellement rougeâtres ou bariolés ou rutilants (avec fréquentes taches verdâtres), argileux ou marneux ou phtanitiques ou jasproïdes, très développés et puissants dans le Permien, avec passage même au Werfénien, comme p. ex. dans les Alpes Maritimes, spécialement aux alentours de S. Sauveur.

Avec ces Schistes rougeâtres, verdâtres ou autres, plus ou moins métamorphosés et d'origine essentiellement argileuse, se croisent et souvent s'alternent des couches et des bancs, même très puissants, soit d'arkoses et de grès parfois un peu transformés et avec teinte verdâtre ou rouge-violacée ou vinée, qui les firent parfois confondre avec des Porphyres (comme p. ex. dans le groupe de l'Abisso), soit de conglomérats métamorphosés en bancs tenaces pseudocristallins (comme nous pouvons l'observer très bien p. ex. dans les Alpes Maritimes en remontant le vallon de la Miniera jusqu'au Mont Bego), nous indiquant l'ancien débouché de cours d'eaux continentaux en de spéciales régions littorales des Alpes, qui commençaient alors à peine à comparaître entre la fin de l'Ere paléozoïque et l'écllosion du Mésozoïque. Par conséquent de ces conglomérats il y en a d'âges divers, c'est-à-dire des Mollièresites ou Anagénites gneissifiées du Carbonifère jusqu'aux Anagénites typiques du Werfénien.

Du reste il n'est pas toujours facile à distinguer chronologiquement d'une façon exacte ces différentes formations clastiques, qui correspondent à des moments divers ou phases d'un même phénomène, dans l'ensemble de continentalité, qui se développa de la fin du Dévonien jusqu'au commencement du Trias.

Ces formations reçurent différents noms par les différents auteurs dans les différentes régions et même selon les différentes qualités, comme p. ex.: *Anagénites* ou *Schistes anagénitiques*, *Anthracit-sandstein*, *Arkoses*, *Grès bariolés*, *Conglomérat-Gneiss*, *Conglomérats rutilants*, *Grauwacke* (V. Buch) ou *Grauwacke-Schiefer*, *Grès arkosiques*, *Grès bigarrés*, *Grès d'Alleverd* (Savoie), *Grès feldspatho-quartzeux*, *Grès grossiers*, *Grès laminés* ou *gneissoïdes*, *Grès recristallisés*, *Grès rouges*, *Grödner Conglomérat* ou *Grödener Sandstein* (Groedenon Mayer 1888), *Melserconglomérats*, *Mollièresite*, *Psammite*, *Psephite* (Brongniart), *Poudingue des gorges* (Bas Valais), *Poudingue bigarrée* de Lory, *Poudingue*

de Manno près de Lugano, *Poudingue de Valorsine* (indiqué par De Saussure dès 1779), *Poudingues métamorphiques*, *Puddingstein*, *Quartzites* (*Quarzfels*, *Quarzitischistes*, *Quarzschiefer*, *Kieselschiefer*), *Salese* (Brocchi 1807), *Sandsteinschiefer*, *Sernfit* (pars) des anciens géologues suisses ou Conglomérats rouges-violacés de Sernf, *Servino* (pas) de Stoppani, *Trientsandstein* (Favre), *Verrucano* (Savi 1830) nom introduit par Studer et Theobald dans la géologie alpine, etc.

Les éléments des conglomérats anthracolitiques sont souvent déformés et parfois vraiment écrasés (d'autant plus quand ils sont compris entre les Schistes) et laminés de manière qu'ils nous prouvent la puissance extraordinaire de la pression qu'ils ont subi; c'est là un des plus sûrs effets du Dinamométamorphisme.

Comme conclusion on peut dire par conséquent qu'en ligne générale l'Anthracolitique métamorphosé dans les Alpes occidentales est souvent représenté par des *Gneiss* menus ou par des *Pseudogneiss* laminés, cataclastiques, souvent chloriteux ou talqueux, de préférence gris-verdâtres; par des *Gneiss* appenninitiques ou besimauditiques, *Gneiss* arkosiques, *Gneiss* graphitiques, *Gneiss* conglomératiques ou anagénitiques (*Mollièresites*); par des *Micaschistes* variés, souvent séricitiques, parfois très quartzeux ou bien feldspathiques, souvent à *Sismondine* ou *Gastaldite* ou *Epidote* ou *Chlorite* ou *Albite*, non rarement graphiteux; par plusieurs *Schistes* micacéo-phylladiques, plus ou moins chloriteux ou talqueux, préféremment brunâtres ou gris-verdâtres, les *Helvetan-Phyllites*, etc., passant parfois aussi à des *Chloritoschistes* ou à des *Talcoschistes*, plus rarement à des *Calcschistes*, etc.; en somme par nombre de *Schistes* cristallins souvent à *Tourmaline*, *Sphène*, *Glaucothane*, *Feldspths* divers, *Ilménite*, *Pyrite*, *Rutile*, *Zircon*, *Grenat*, *Zoïzite*, *Epidote*, *Ottrelite*, *Chloritoïde*; par des *Appenninites* et *Schistes* appenninitiques; par des *Bésimaudites* ou *Schistes* besimauditiques, etc.

Au contraire soit dans la partie tout-à-fait supérieure de l'Anthracolitique, soit spécialement dans le *Werfénien*, dans les régions à métamorphisme intense, en outre des *Schistes* arénacés et argileux bariolés (rougeâtres, grisâtres, verdâtres, etc.), parfois plus ou moins séricitiques, ottrélitiques, phtanitiques, jasproïdes, etc., avec les Grès et les Conglomérats bariolés viennent à prévaloir: soit les *Anagénites* ou *Poudingues* (de préférence quartzes) plus ou moins métamorphosées, comme aussi les *Anagénites séricitiques* ou même *feldspathiques* passant parfois jusqu'à des formes gneissiques ou micaschisteuses; soit les *Schistes séricitiques*, *Schistes phylladiques*, *Schistes lustrés*, *Schistes quartzo-séricitiques*, *Schistes quartzo-anagénitiques* avec patines talqueuses ou micacées passant même à de vrais *Schistes chloritico-talqueux* ou bien à des *Gneiss menus* ou *Micaschistes*; ou bien apparaissent des *Schistes quartzeux* avec paillettes de mica et matériel caolinisé, ou des *Schistes verts* spéciaux ou même des *Schistes siliceux-phtanitiques*.

Mais ce sont spécialement les *Quartzites* (*Quarzfels*) qui prévalent sous les formes les plus variées, comme: *Quarzitischistes* (*Quarzschiefer*), *Kieselschiefer*, *Lyddite*, *Melsersandstein*, *Quarzphyllites*, *Quartzites anagénitiques*, *Quartzites phylladiques* ou *Quartzites feuilletées*, *Quartzites tabulaires*, *Quartzites séricitiques*, *Quartzites* à mica blanc et glaucophane, *Quartzites feldspathiques*, *Quartzites chloriteuses* ou *chloritico-séricitiques*, *Quartzites talqueuses*, etc., aux teintes les plus variées, de la blanchâtre (la plus fréquente) au gris, au rouge, au rougeâtre, au verdâtre, etc.

Je fais noter néanmoins que si parfois on observe un métamorphisme progressif de la formation inférieure à la supérieure de la série anthracolitique (l. s.) avec des passages multiples lithologiques, structuraux, etc., souvent au contraire l'intensité et la qualité du métamorphisme se montrent très irrégulières et fréquemment même les formations permienes sont plus métamorphosées que les carbonifères qui sont au-dessous. Ainsi p. ex dans les Alpes occidentales nous voyons souvent le Carbonifère représenté par des grès, psammites et conglomérats avec intercalations anthracitiques

et même encore avec un résidu de Flore, tandis qu'au-dessus se développent des micaschistes et des schistes variés plus ou moins cristallins, séricitiques, chloritiques, etc., parfois aussi gneissiformes, passant verticalement ou latéralement à d'autres schistes bariolés, quartzites phyladiques, etc., qui dans l'ensemble représentent le Permien passant vers le haut au Werfénien.

Les divers phénomènes de métamorphisme progressif peuvent s'examiner spécialement bien en plusieurs régions des Alpes Maritimes, dans le groupe d'Ambin, dans la haute vallée de l'Arve, dans le groupe de la Vanoise, dans la haute vallée d'Aoste, etc.

Les restes animaux de l'Anthracolitique alpin sont très rares se réduisant essentiellement à des empreintes attribuables à Blattines et Anthracosies.

La Flore du Carbonifère au contraire est très riche, ainsi que nous l'indique la liste spécifique donnée par Kilian et Revil à page 112 du II<sup>e</sup> volume de leur *Et. géol. dans les Alpes Occid.* suivant les recherches de A. Brongniart, Heer, Grand'Eury, Portis, Zeiller et Peola. Me limitant ici à un aperçu générique je rappellerai : parmi les Filicinées et les Ptéridospermées ou Cycadofilicinées les genres *Taeniopteris*, *Neuropteris* très abondants, *Linopteris*, *Odontopteris* fréquents, *Cyclopteris* nombreux, *Alethopteris*, *Callipteridium*, *Pecopteris* en nombre extraordinairement grand (avec les formes *Astherotheca*, *Ptychocarpus*, *Scolecopteris*, *Dactylothea*, *Ptychocarpus*, *Dicksonites*), *Diplotmema*, *Mariopteris* et *Sphenopteris* très abondants ; parmi les Equisétinées les genres : *Calamites* extraordinairement fréquents, *Calamocladus*, *Equisetites*, *Asterophyllites* très nombreux, *Annularia* fréquents, *Phyllothea* et *Volkmannia* ; parmi les Sphénophyllées très nombreux les *Sphenophyllum* ; parmi les Licopodinéés les genres : *Lycopodites*, *Lepidodendron* très abondants, *Lepidophloios*, *Lepidophyllum* nombreux, *Distrigophyllum*, *Ulodendron*, *Syringodendron*, *Sigillaria* fréquents, *Pseudosigillaria*, *Stigmaria* et *Stigmariopsis* ; parmi les Gymnospermes plusieurs Cordaïtées (spécialement *Cordaïtes* et *Dorycordaïtes*, *Poacordaïtes*, *Cladiscus*, *Artisia*, *Cordaiphloios*), les Conifères représentées par les *Walchia* et plusieurs formes *incertae sedis*, comme *Carpolithes*, *Rhabdocarpus*, *Cardiocarpus*, *Trigonocarpus*, etc.

Au contraire dans la série permienne (appelée *pénéenne* par Omalius en 1822, justement à cause de sa pauvreté), étant donnée sa nature originale et le métamorphisme intense subi, les fossiles sont extraordinairement rares partout, c'est-à-dire limités essentiellement à quelques restes de *Walchia piniformis*, de *W. filiciformis*, de *Callipteris*, de *Sphenopteris*, etc., en outre de paléoicnites variés dont quelques-unes à interpréter comme empreintes de *Cheirotherium*.

J'ai déjà indiqué au chapitre des roches massives le fait que la constitution ou la mise en place de beaucoup de formations granitiques, siénitiques, dioritiques quartzifères et autres roches plutoniennes fut probablement concomitante, ou presque, avec le grandiose phénomène orogénétique qui se vérifia pendant la période anthracolitique et qui ferma l'ère paléozoïque.

En effet parmi les formations anthracolitiques certaines (bien que plus ou moins métamorphiques) des Alpes Occidentales nous voyons paraître çà et là, parfois même assez fréquentes et puissantes, des spéciales roches massives à type plutonique ou nettement intrusif, hypoabyssal, ainsi :

*Granites*, ordinairement grisâtres ou rougeâtres et généralement pauvres en mica, comme ceux de la zone bien connue du Canavais entre Rivara et Vistrorio, où ils se rattachent aux roches porphyriques.

Nous voyons paraître des intercalations granitoïdes parmi certains porphyres, plus ou moins laminés, comme p. ex. dans l'alignement du M.<sup>t</sup> Chétif-La Saxe près de Courmayeur. De même des sortes de nucléus de granites chloritiques se trouvent çà et là intercalés parmi les schistes métamorphiques permien des Alpes liguriennes.

*Porphyres*, ordinairement quartzifères (*Quartzophyres*, *Microgranulites acides*, *Granitites*, etc.), mais aussi peu ou point quartzifères, *Felsophyres*, etc., en majorité rougeâtres ou même brunâtres et verdâtres avec les tufs relatifs et épanchements de *Granophyres*, *Felsophyres*, brèches et conglomérats porphyriques, etc., et parfois aussi avec *Pechstein* ou *Rétinites*, comme p. ex. dans la région de l'Esterel et de Lugano-Varese, où dominent les Porphyres brunâtres en bas et les Porphyres rougeâtres vers le haut.

Ces formations, aujourd'hui souvent laminées dans les étaux tectoniques des Alpes, se constituèrent spécialement à la fin de l'Ere paléozoïque bien qu'elles se soient souvent aussi répétées ou continuées pendant la première moitié du Trias.

L'ampleur que présentent certaines zones porphyriques, comme p. ex. dans la région Biella-Varese et dans l'Esterel, est due en grande partie à l'originale disposition en coulées et en vastes dépôts tufacés, qui se voient en effet (dans l'Esterel spécialement) alterner avec des schistes permien à *Walchia piniformis* et *Callipteris conferta*.

*Lamprophyres* et *Porphyrites* bariolées (souvent andésitiques, parfois augitiques) reliées aux Porphyres et aux Granites ou même en affleurements isolés ou en intercalations (dues parfois à d'anciennes coulées) parmi les schistes variés, spécialement du Permien, comme sur plusieurs points des Alpes Maritimes méridionales.

*Tufs porphyriques* des plus variés, bariolés (verdâtres, violets, etc.), souvent stratifiés, alternés ou mélangés à des dépôts sédimentaires, p. ex. à des Schistes séricitiques ou phanitiques ou jasproïdes ou argileux bigarrés, comme dans la série du Canavais, ou à des grès et conglomérats porphyriques comme dans l'Esterel, la région de Lugano-Varese, la Valsassina, etc.

*Orthophyres* (*Trachytes*, *Andésites*, etc.) de nature trachitique mais à aspect phonolitique, à teinte ordinairement verdâtres ou bleuâtres, en grandes coulées, reliés souvent à des tufs et conglomérats orthophyriques, comme dans le groupe des Grandes Rousses, où ils représentent, selon Termier, des formes intrusives d'un magma profond syénitique ou, si l'on veut, monzonitique.

*Mélaphyres* ou *Porphyrites* à *pyroxène* et *biotite*, souvent reliés aux *Porphyrites* indiquées auparavant et aux *Tufs porphyriques*; *Rhyolites* en coulées, etc.

Très intéressante est la zone étendue, porphyrico-mélaphyrique, du Biéllais où elle englobe çà et là des fragments de micaschistes éclogitiques spécialement aux endroits où elle s'appuie sur cette roche micaphyllitique.

Mais spécialement typique par l'étendue et la variété de ces formations porphyriques est la région de l'Esterel avec ses très amples coulées et dykes variés de Porphyres tabulaires et de porphyres pétro-siliceux, comme aussi de *Pyromérides* (roches acides rubannées), *Rétinites* ou *Pechstein*, *Microgranulites* acides ou basiques alternées, et essentiellement *Mélaphyres* variés (ou *Porphyrites* et *Dolérîtes*) noirs-verdâtres, *Porphyrites labradoritico-ophitiques* (*Andoses*), *Diabases ophitiques*, *Esterellite* ou *Porphyre bleu*, etc.

Plusieurs de ces roches éruptives microlithiques plus ou moins laminées, schisteuses, spécialement du Permien, qu'on peut identifier comme *Porphyrites* en large sens, ont été par Termier déterminées plus précisément comme *Andésites* et *Dacites*.

Quelques *Pierres vertes* aussi, comme *Péridotites* (*Lherzolites*), *Serpentines*, etc., apparaissent çà et là reliées à la formation schisto-cristalline de l'Antracolitique typique, mais en général elles sont peu fréquentes et avec un petit développement.

Il faut noter que parmi les formations du Carbonifère Briançonnais paraissent plusieurs roches à type intrusif, bien que généralement disposées en couches, comme *Diorites granitoïdes*, *Diorites micacées*, *Diorites quartzifères*, *Microdiorites* ou *Porphyrites diabasiques* verdâtres quelque peu

analogues à l'*Esterellite* de Michel-Lévy, *Microsyénites* ou *Porphyres syénitiques*, *Microgranulites basiques* diverses, *Microgranites* ou *Porphyres granitiques* ou *Porphyres euritiques*, etc., déjà signalés en 1828 par Elie de Beaumont qui les indiqua comme *Porphyres dioritiques*; ils semblent dériver, au point de vue génétique, d'un seul magma plus ou moins dioritique, ce qui rappelle un peu le phénomène des *Porphyrites diabasiques* ou autres analogues qui se rencontrent parfois dans l'Anthracolitique des Alpes Orientales. En quelques points des régions dioritifères l'Antracite passe à la Graphite, fait qui fut attribué à un intense métamorphisme relié avec l'apparition de ces roches à type intrusif.

Ces faits sont intéressants aussi parcequ'ils peuvent jeter une certaine lumière sur l'âge des formations dioritiques déjà indiquées plus haut en parlant de certaines roches massives du Paléozoïque cristallin du versant piémontais des Alpes.

Il résulte de toute manière de ce que je viens d'exposer que les phénomènes endogènes se vérifièrent à plusieurs reprises et d'une façon étendue, grandiose, pendant l'Anthracolitique jusqu'au Werfénien compris, c'est-à-dire accompagnant, ce qui est naturel, le contemporain et très puissant mouvement orogénétique, à qui on doit le premier grand soulèvement de la Chaîne alpine.

---

---

---

## MÉSOZOÏQUE

---

La série mésozoïque, amplement, extraordinairement puissante dans les Alpes Occidentales, y est représentée par deux faciès principaux, distincts dans l'ensemble; c'est-à-dire:

1° par un *faciès cristallin, métamorphique*, qui occupe une grande partie de la région centrale et orientale, d'où le nom de *faciès piémontais* de Haug (1909) ou *faciès cristallin* ou *faciès métamorphique* ou *lépontin* de Steinemann (1897), ou *faciès calcschisteux* ou de *Flysch mésozoïque*, ce qui constitue la *Zone du Piémont* ou *zone pennine* ou *penninique* de Argand (1909), ou *Zone des Pierres vertes*, ainsi que l'appela justement et d'une façon caractéristique Gastaldi il y a quarante ans;

2° par un *faciès normal*, plus ou moins typique, essentiellement calcaire-marneux, appelé parfois *briançonnais-dauphinois* ou *helvétique*, qui forme dans l'ensemble une ceinture extérieure à la haute région alpine, apparaissant pourtant aussi à l'intérieur, dans la région insubrienne ou des grands lacs lombards.

Néanmoins si dans l'ensemble la distinction entre les formations des deux faciès surindiqués est bien nette, sur le terrain on observe parfois des transitions, et même il y a des zones dites à *faciès mixte* justement parcequ'elles présentent des caractères de l'une et de l'autre formation.

Puisque le faciès cristallin du Mésozoïque alpin représente la continuation naturelle de la série, éminemment métamorphique, du Paléozoïque de cette région, c'est logique de l'examiner le premier.

### MÉSOZOÏQUE MÉTAMORPHIQUE.

De même qu'un intense phénomène de métamorphisme rendit gneissico-micaphyllitique la plus grande partie du Paléozoïque des Alpes occidentales, ainsi un phénomène analogue agit aussi sur une grande partie de la série suivante, mésozoïque, si bien qu'elle y est représentée aujourd'hui, sur de très vastes régions, par une formation de Schistes cristallins très puissante.

Ces Schistes, avec une certaine uniformité lithologique et presque sans fossiles, forment souvent un faciès compréhensif qui commence avec le Trias, se développe énormément dans le Lias continuant jusqu'au Jura et s'étendant encore ensuite, spécialement vers le Sud-Est (dans la région appenninique) à y représenter, bien que naturellement avec une cristallinité moindre, une grande partie du Cretacé, jusqu'à nous montrer même encore des indices plus ou moins marqués dans l'Eocène à type de *Flysch*.

Un temps assez long ayant été nécessaire pour qu'on reconnut l'âge paléozoïque de formations cristallines étendues des Alpes, de même, et à plus forte raison, de nombreuses études et

comparaisons (et par conséquent plusieurs années) furent nécessaires pour comprendre et faire pénétrer la conviction qu'aussi d'autres puissantes et très étendues formations cristallines, à faciès plus ou moins archaïque, doivent au contraire être interprétées comme terrains du Mésozoïque à faciès profondément métamorphique.

Il est curieux de devoir constater que ce fut une erreur de géo-tectonique (commise en 1828 par Elie de Beaumont dans l'interprétation de la série stratigraphique de Petit-Cœur en Savoie) qui détermina cet auteur, et spécialement ensuite A. Sismonda dès 1834, à rapporter au Mésozoïque (avec le nom compréhensif, dont se servirent E. de Beaumont et Sismonda, de *terrain jurassique métamorphosé*) des formations très étendues des Alpes piémontaises, superposées, il est vrai, aux Gneiss et Granites, mais encore plus ou moins profondément cristallines; formations qui ensuite furent considérées, pendant environ un demi-siècle, comme archaïques et seulement depuis peu d'années, reconnues comme étant à rapporter vraiment, au moins en partie, au Mésozoïque métamorphosé.

Du reste déjà dans la première moitié du XIX<sup>e</sup> siècle les grands pionniers de la Géologie, Lyell et Murchison, avaient insisté sur l'intensité et le développement du métamorphisme dans les Alpes.

Il est notable que dès 1839 A. Escher et B. Studer, dans *Geol. Beschreib. v. Mittelbünden*, purent établir l'âge liasique des *Schistes gris* ou *Bundnerschiefer*, en se basant sur la découverte de Bélemnites et Pentacrinus.

En 1846 L. Pareto dans sa *Descrizione di Genova e del Genovesato* rattachait au Jurassique une partie des Calcschistes des Alpes Maritimes; de même A. Stoppani, il y a plus d'un demi-siècle, s'occupant des schistes spéciaux analogues qui apparaissent aussi dans les Alpes lombardes les considérait comme triasiques.

Ce fut Ch. Lory, le vrai fondateur de la Géologie alpine française, qui eût à s'occuper le premier d'une façon étendue des formations cristallines dénommées *Schistes lustrés* et dès 1861, dans sa *Note const. Haute Maurienne*, et toujours par la suite jusqu'à sa mort (1889) il en soutint l'âge triasique.

Dans cette interprétation il fut suivi par A. Favre avec ses *Rech. géol. partie de la Savoie*, etc., 1862-67. Presque en même temps G. Theobald dans *Geol. Beschreib. d. Graubünden*, 1864, suivant les idées des premiers géologues suisses, indiquées plus haut, considérait comme liasiques les *Bundnerschiefer*.

Peu après, en 1868, Gerlach dans ses études sur *Die Penninischen Alpen* attribuait au Trias, comme Lory, des formations cristallines analogues indiquées par lui comme *Glanzschiefer*; à ces idées s'approchait en même temps F. Giordano dans son étude sur le Cervin.

B. Gastaldi au contraire, à commencer de ses *Studi sulle Alpi Occidentali* en 1871, tandis qu'il réussissait à séparer les formations cristallines en question des Gneiss, dits par lui centraux, les individualisant et les définissant justement comme la *Zone des Pierres vertes*, tout en reconnaissant leur nature sédimentaire métamorphique, d'autre part (à cause de la haute cristallinité de cette zone et le manque presque total de bons fossiles, et par ailleurs mis hors de route par des analogies avec certains terrains de l'Amérique du Nord et par des déterminations paléontologiques erronées de G. Michelotti), fut conduit à rapporter ces formations à l'Archaïque supérieur ou *Huronien*, en quoi il fut naturellement suivi par son élève et collaborateur M. Baretta.

Il faut pourtant noter que la Zone des Pierres vertes, comme elle fut établie par Gastaldi et adoptée par son école, était plus compréhensive de ce qu'on admet aujourd'hui, c'est-à-dire (d'une façon analogue à la *Schieferhülle* des géologues autrichiens, dans les Alpes orientales) elle s'étendait par le bas aussi aux Schistes cristallins variés, aucunement calcschisteux, avec Diorites, Amphibolites, etc., qu'on a reconnu ensuite être prétriasiques.

Malheureusement cette interprétation erronée de la Géologie alpine piémontaise passa, presque comme une tradition immuable, à D. Zaccagna. Cet illustrateur bien connu des Alpes Apuanes, qui ouvrait brillamment en 1883 une nouvelle période d'études géologiques dans les Alpes après celle de Gastaldi, établissait dès 1884, dans sa note *Sulla costituzione geologica delle Alpi Marittime*, l'âge permien de puissantes formations gneissiformes et attribuait au Trias des zones étendues de Talcschistes et Calcschistes avec Pierres vertes, interprétation acceptée de suite par Issel et Mazzuoli pour la zone des Pierres vertes constituant le groupe de Voltri.

Pourtant Zaccagna continua à considérer en général comme archaïque la grande zone des Pierres vertes des Alpes, convalidant même cette interprétation avec son important mémoire *Sulla Geologia delle Alpi Occidentali* de 1887.

Il est curieux qu'en général l'importance de cet ouvrage fut tellement reconnue que même les géologues français, étant mort en 1889 Ch. Lory, le fort défenseur de l'âge triasique des Schistes lustrés, embrassèrent en grande partie les idées de Zaccagna et après plusieurs courses faites en commun par M. Bertrand, Potier, Zaccagna, Mattiolo et Franchi, on tomba d'accord sur l'âge ancien de ces formations cristallines; ainsi qu'il apparait des Notes de M. Bertrand *Sur les schistes lustrés du M. Cenis*, 1889, de Termier (*Et. constit. géol. Massif Vanoise*, 1891), de Kilian (*Et. géol. Alpes occidentales*, 1891) et ainsi qu'il était convalidé par Bonney dans ses *Note on two Traverses of the Crystall. Rocks of the Alps*, 1889 et par Diener: *Die Gebirgsbau der Westalpen*, 1891.

Mais, en attendant, une découverte qui semblait petite en soi, mais qui devait être importante dans ses conséquences était faite en 1891 par C. F. Parona *Sugli schisti silicei a Radiolarie di Cesana*, reconnaissant en ces schistes, connexes à des Diabases et Serpentes de la zone des Pierres vertes, une petite faune de Radiolaires à type en prévalence jurassique, faune récemment (1912) à nouveau étudiée par Squinabol, qui confirma cette interprétation chronologique; ces Radiolaires appartiennent spécialement aux genres *Trochodiscus*, *Heliodiscus*, *Staurodictyon*, *Rhopalastrum*, *Hagiastrium*, *Halicapsa*, *Dictyomitra*, *Lithocampe*, *Spirocapsa*, *Stichocapsa*, etc.

Dans la même année 1891 A. Heim, en *Geol. der Hochalpen*, signalait le retrouvement de Pentacrinus, Gryphées et Belemnites dans la formation schisteuse en examen, rappelant ainsi à la mémoire les découvertes analogues faites un demi-siècle auparavant par Escher et Studer, si bien que depuis lors l'âge mésozoïque de ces formations fut généralement admis par les géologues suisses.

Peu après D. Zaccagna, en un *Riassunto di osser. geol. sul vers. occid. Alpi Graie*, 1892, tout en maintenant ses idées sur l'ancienneté des Calcschistes, tandis qu'il combattait la théorie des grandes failles de Lory et étendait la connaissance du Permien, entreprenait aussi au point de vue cartographique la distinction entre les formations gneissico-micaschisteuses et les calcschisteuses, distinction qui devait produire par la suite des fruits si importants pour la connaissance de la Géologie alpine du Piémont.

En attendant du côté français les géologues (P. Termier, M. Bertrand, E. Haug, etc.) qui accomplissaient des levers soignés dans les Alpes, comprenaient peu à peu qu'il leur fallait retourner en partie aux idées de Lory sur l'âge des Schistes lustrés; et spécialement M. Bertrand dans ses *Et. dans les Alpes franç.*, 1894, en outre des importantes conceptions sur la structure en éventail, sur les Massifs amigdalaires et sur le Métamorphisme intense du Carbonifère des Alpes, développa l'idée de la tria-liassité des Schistes lustrés, signalant dans la Haute Tarantaise le passage latéral entre ces Schistes lustrés et les Marbres phyllitiques du Trias.

Mais si pour le côté extérieur des Alpes le problème en question était entré dans sa phase résolutive, cela ne se vérifiait pas encore du côté italien. C'est alors que S. Franchi accomplissant,

pour l'Office géologique italien, des levers réguliers et minutieux dans les Alpes Cotiennes y découvrait parmi les Calcschistes les premiers fossiles qui, bien que mal conservés, furent reconnus par G. Di Stefano comme triasiques et liasiques, ce qui résulta de leur ouvrage en commun *Sull'età di alcuni calcari e calcschisti fossiliferi nelle Alpi Cozie*, 1896, par lequel on commença à rapporter au Mésozoïque une partie de la fameuse zone calcschisteuse avec Pierres vertes du Piémont.

Depuis lors et en peu de temps la nouvelle interprétation chronologique put se développer et se consolider spécialement par l'œuvre aussi active qu'intelligente de S. Franchi, qui en 1898 publiait son important ouvrage général « *Sull'età mesozoica della Zona delle Pietre verdi nelle Alpi occidentali* », avec lequel ouvrage on peut dire qu'aussi du côté italien la question entra dans sa phase résolutive; d'autant plus parcequ'on reconnaissait, peu à peu, des faits qui consolidaient une fois plus l'interprétation, dirais-je, mésozoïque, comme: transitions entre les Calcschistes et les Calcaires à Diplopores, Loxonemes, Worthenies, Encrinus, etc.; intercalation de Calcaire typique du Trias entre l'Anthracolitique et les Calcschistes; inclusion de Calcschistes en sinclinales de Trias typique; passages latéraux, au moyen d'un faciès mixte, entre le Trias-Lias à faciès normal et le faciès cristallin des Calcschistes; intercalations de bancs ou lentilles de brèches à éléments calcaires du Trias parmi les Calcschistes; découverte de fossiles (Radiolaires, Térébratules, Pentacrinus, Gryphées, Belemnites, Ariétites, etc.) dans les Calcschistes mêmes, etc.

Si, après un débat presque séculier et des levers géologiques répétés, à été aujourd'hui généralement acceptée l'interprétation de l'âge trias-jurassique, dirais-je, des Schistes lustrés, c'est-à-dire de la Zone des Pierres vertes (str. s.) des Alpes, bien différent fut au contraire le sort de la formation des *Argiloschistes*, *Argiles écailleuses*, etc., pourtant avec nombreuses *Pierres vertes*, de l'Appenin septentrional. Elle y constitue néanmoins aussi une *Zone des Pierres vertes* caractéristique, qu'on pourrait indiquer comme *jeune* ou *appenninique* par rapport à l'autre formation relativement *ancienne* ou *alpine*, *trias-liasique*, qui fut à son tour précédée par une *zone des Pierres vertes très ancienne, paléozoïque*, c'est-à-dire celle des nombreux Schistes cristallins (*Casanna-schiefer*, etc.) du Paléozoïque alpin profondément métamorphosé.

Or la formation complexe des Pierres vertes appenniniques, qui a tant d'analogie avec celle des Pierres vertes alpines, fut et est encore généralement considérée par les géologues comme seulement éocénique.

Au contraire à la suite de levers géologiques étendus qui m'ont montré en général la position des Schistes ophitifères au dessous des Grès et des Calcaires nummulitifères du typique Eocène appenninique et après le retrouvement de fossiles caractéristiques (Cycadéoidées, Radiolaires à type mésozoïque, Inocérames, Ammonites, Turrilites, Hamites, dents de Ptycodes, Ichtyosauriens, etc.) parmi ces formations argileuses, depuis un quart de siècle (en de nombreuses monographies, accompagnées par des cartes et des coupes géologiques sur les différents points de *L'Appennino Settentrionale*) je soutiens l'idée qu'elles sont à rapporter spécialement au Crétacé, bien qu'il faille admettre que parfois elles s'étendent jusqu'à l'Eocène, ce qui du reste on observe aussi en plusieurs régions des Alpes suisses et qui me résulta spécialement évident dans l'Appenin méridional.

C'est-à-dire que cette caractéristique zone appenninique des Pierres vertes ne serait, je pense, que la naturelle continuation (dans la série supérieure du Mésozoïque) de la fameuse zone des Pierres vertes des Alpes (ou elle se développe au contraire dans la partie inférieure et moyenne du Mésozoïque même); seulement ce qui est naturel, étant cette formation appenninique plus jeune que l'alpine, et reliée à des phénomènes orogéniques, etc., un peu plus récents et moins

intenses, elle est moins métamorphique, moins cristalline, jusqu'à passer en haut, parfois graduellement ou avec alternance, aux formations spéciales, dites *Flysch*, de l'Eocène. Les incertitudes qui existent encore parmi certains géologues sur la distinction des formations des Pierres vertes anciennes et jeunes dans l'Appennin de Gênes plaident aussi en faveur de la transition relative (car il y a transgression) des unes aux autres.

Du reste, même par rapport aux Alpes, plusieurs géologues, comme Termier, Rothpletz, Steinemann, Schardt, Paulke, Boussac, etc., penchent à étendre la formation de la zone des schistes plus ou moins métamorphiques, avec ou sans Pierres vertes, à travers tout le Mésozoïque jusqu'à l'Eocène, constatant un faciès analogue aux Schistes lustrés dans certains schistes avec fossiles crétaciques, comme p. ex. sur plusieurs points du Rhaetikon et en certaines zones de *Flysch*.

Mais puisque la question est encore complètement ouverte et que quant à moi j'y représente, pour l'Appennin, un rôle dissident de la majorité absolue des géologues, je ne crois pas qu'il soit opportun d'insister et de faire ici l'historique du débat, d'autant plus qu'il est relié beaucoup plus avec l'Appennin que non avec les Alpes, qui nous intéressent plus spécialement ici.

La nature des sédiments mésozoïques étant spécialement marneuse il est naturel que leur faciès métamorphique soit représenté en grande partie par des *Calcschisti* (des géologues italiens) ou *Calcschistes* plus ou moins micacés: *Calcmicaschistes*, *Micaschistes calcaires*, *Calcschisti gneissici* (Traverso), *Calcaires phylliteux*, *Schistes calcaires-talqueux* (Lory), qui sont ordinairement des Schistes calcaires-séricitiques, *Glimmerkalk*, *Kalkthonphylliten* (de l'Engadine), *Kalkphyllite* (de l'Hohe Tauern), *Kalkschiefer*, *Kalkglimmerschiefer*, etc., Schistes qui souvent sont un peu arénacés, parfois albitifères, et passent çà et là à des Calcaires cristallins, Calcéphyres, etc.

Néanmoins avec les Calcschistes, qui en général prédominent, s'entre-croisent et souvent même deviennent assez étendus, spécialement vers le bas, nombre d'autres Schistes plus ou moins cristallins, qui rappellent parfois parfaitement ceux du Paléozoïque supérieur, si bien que, seulement après des études minutieuses et après avoir observé sur différents points leurs indéniables associations, alternances et transitions avec les Calcschistes, on a pu en reconnaître l'âge de même mésozoïque.

Ainsi, spécialement vers le bas de la série mésozoïque, quand elle est plus profondément métamorphique (p. ex. en plusieurs endroits de la vallée inférieure de la Doire Ripaire, de la Stura de Lanzo, de l'Orco, de la Doire Baltée, de l'Ossola, dans les Groupes de Voltri (1), de la Vanoise, etc.) nous rencontrons même des *Gneiss* menus, parfois albitifères, Pseudogneiss, Gneiss séricitiques, Gneiss prasinitiques ou amphiboliques passant aux Prasinites, plus fréquemment *Micaschistes* divers, même gneissiques, souvent à Sismondine ou Gastaldite ou à Grenat, à Epidote, Zoïzite, Sphène, Chlorite, Orthose, Quartz, Graphite, etc., outre à une grande variété de Schistes plus ou moins cristallins qui, selon leur nature ou leurs caractères ou leurs régions de développement, etc., ont reçu par les différents auteurs les noms de *Micalytes*, *Phyllades*, *Schistes phylladiques*, *Schistes séricitiques*, *Schistes ottrélitiques*, *Schistes quartzitiques* passant parfois aux *Cornéennes* ou aux *Quartzites* (spécialement à la base de la série), *Schistes jasproïdes* (parfois à Radiolaires), *Schistes chloritiques* ou *Chloritoschistes* souvent *feldspathiques*, *Schistes talqueux* ou *Talcschistes* ou *Talkflysch*,

(1) Fait assez notable est l'analogie des formations métamorphiques de la zone de Voltri-Rossiglione avec celle, pourtant plus gneissique, de Almese-Viù et d'autres zones semblables qui se développent entre la vallée de la Stura et celle de la Doire Ripaire.

*Glimmerflysch*, *Thonglimmerschiefer*, *Thonschiefer*, *Sericitphyllit*, *Schistes argilo-micacés*, *Schistes quartzo-sériciteux*, *Schistes à deux micas*, *Schistes à Disthène*, *Sandschiefer* de Theobald (quand un peu gréseux), *Schistes graphitiques*, *Schistes ardésiens*, *Schistes cornéens*, *Schistes satinés*, *Schistes luisants*, *Schistes lustrés* (de Lory et des géologues français en général), *Glanzschiefer* de Gerlach, *Schistes gris argilo-calcaires* ou simplement *Schistes gris*, *Graueschiefer* de Studer, *Grünschiefer*, *Schieferhülle* (pars), *Bündnerschiefer* de Studer (1837), de Escher, de Theobald et des géologues suisses en général ou *Schistes des Grisons*, parfois verdâtres vers le bas et grisâtres vers le haut, *Walliserschiefer*, *Schistes de Prätigau*, *Brennerphyllite* de Rothpletz, etc.

Ces différentes formations schisteuses plus ou moins cristallines, spécialement micacées, dans l'ensemble d'une épaisseur même bien supérieure à un millier de mètres, s'enlacent souvent, s'associent variablement et se remplacent dans l'espace et dans la série stratigraphique d'une façon très variée, restant seulement comme règle générale le fait que les Calcschistes prédominent d'une manière absolue sur tous les autres schistes et que les Micaschistes, les Schistes micacés-quartzeux ou quartzitiques et les gneissiques apparaissent spécialement vers le bas de la série. Cela du reste va d'accord avec le fait que le Trias inférieur (*Werfenien*) est généralement représenté, dans les Alpes et ailleurs, par des formations quartzeuses ou quartzo-feldspathiques ou plus souvent quartzo-micacées, par des Quartzites tabulaires ou feuilletées, par des Grès quartzeux et autres, ainsi que je l'ai indiqué au chapitre précédent, ce qui fait qu'il y a souvent une liaison assez régulière entre la partie inférieure de la zone des Pierres vertes et la formation micaphyllitique du Paléozoïque supérieur. Ces faits et en général les passages, croisements, etc., qui existent souvent dans les Alpes entre la formation complexe de la zone des Pierres vertes et les Schistes plus ou moins cristallins placés au dessous, rendent parfois difficile et incertaine la séparation entre le Paléozoïque et le Mésozoïque alpin, quand ils sont tous les deux métamorphosés d'une façon analogue et concordante.

Dans la partie inférieure, c'est-à-dire triasique (l. s.), de la série calcschisteuse apparaissent çà et là des zonules ou intercalations lenticulaires de Calcaires et de Marbres phyllitiques, parfois albitifères, de Calcéphyres, de Cipolins, de Calcaires généralement magnésiens ou même de vraies Dolomies, plus ou moins cristallines, saccharoïdes (*Dolomitmarmor*), blanchâtres, jaunâtres, grisâtres ou même noirâtres, avec intercalation de schistes bruns, plus ou moins charbonneux, ayant du mica abondant parfois au point de constituer des Marbres micacés, rarement avec fossiles ou avec traces de fossiles, comme Encrinides et Brachiopodes mal conservés, plus ou moins spathisés.

En plusieurs régions nous voyons aussi des intercalations de brèches poligéniques à éléments ordinairement dolomitiques et quelquefois même de Cargneules jaunâtres, de Gypses et d'Anhydrites. Ce qui fait qu'en ces régions, situées spécialement à la partie périphérique et moins profondément métamorphique de la formation qui nous intéresse (ainsi que p. ex. à S. O. du Mont Blanc, à Nord du Massif du Pelvoux, à Sud du Massif gneissique de Val Maira, en plusieurs régions des Alpes suisses et françaises, etc.), on peut suivre la transition, le passage latéral et l'enlacement existant entre le faciès cristallin et le faciès normal du Mésozoïque.

En correspondance de l'*Infralias* et spécialement du *Lias* la formation des Calcschistes présente son développement maximum, avec une puissance souvent extraordinaire; pourtant même en ce cas dans les régions de métamorphisme moins accentué ou de passage aux dépôts normaux, on rencontre çà et là des restes mal conservés, déformés, spathisés, de Corallaires, de Pentacrinus, d'Ariétites, de Bélemnites, etc., qui en précisent l'âge.

Ce sont justement ces rares mais précieux restes fossiles qui ont permis, pendant ces dernières années de recherches, de rapporter au Mésozoïque des formations micaphyllitiques de grande

puissance et étendue dans les Alpes occidentales, formations qui, ainsi que je l'ai dit, avaient été pendant longtemps considérées comme archaïques.

C'est en particulier dans la partie moyenne et supérieure de la série des Calcschistes que, ordinairement en connexion avec des lentilles diabasiques ou serpentineuses, l'on rencontre des zonules de Phtanites et de Jaspres bariolés, souvent riches en Radiolaires (comme ceux de Césane dans la haute vallée de Suse, de Montenotte dans le Savonais, etc.), qui rappellent les *Radiolarites* de certaines régions jurassiques des Alpes, spécialement suisses.

La série calcschisteuse alpine continue vers le haut jusqu'à englober le Jurassique, mais avec des limites supérieures pas encore bien définies, que certains auteurs poussent jusqu'à l'Eocène.

Si nous voulons suivre le développement de la formation métamorphique dans le Crétacé (le faciès crétacique étant encore un peu incertain dans les Alpes), nous devons nous porter à Est du Groupe de Voltri, c'est-à-dire dans l'Appennin génois, ou dans l'Appennin septentrional en général où nous voyons s'étendre très amplement, et avec une puissance extraordinaire, des *Argiloschistes* spéciaux, *Phyllades*, *Argiloles*, *Psammoschistes*, *Bardellone* ou *Schistes marneux*, *Schistes luisants*, *Argiles écailleuses*, *Flysch* (l. s.), *Galestri* ou *Argiles galestrines*, etc. alternant souvent avec des *Schistes arénacés*, *Psammites* (*Pietraforte*), ou même avec des couches calcaires (*Calcarî albesi* l. s.), *Schistes siliceux-calcaires* avec intercalations phtanitiques, jasproïdes, etc.

A vrai dire, comme j'ai indiqué plus haut, cette complexe et très puissante formation (*Infra-ligurien* de Issel et Mazzuoli, *Modénien* (pars) de Pareto 1861) est attribuée par la plus grande partie des géologues italiens à l'Eocène, tandis que par sa position stratigraphique et les fossiles sporadiquement rencontrés je la considère comme une série compréhensive crétacique, continuation naturelle de la série analogue (mais naturellement plus métamorphosée) trias-jurassique ou Zone des Pierres vertes des Alpes; tout en admettant que cette formation appenninique puisse se continuer aussi dans l'Eocène, ainsi qu'on peut par exemple le constater clairement dans l'Appennin méridional où des lentilles calcaires nummulitifères s'enlacent souvent avec des argiloschistes ophitiformes analogues à ceux indiqués plus haut.

La région ligure de Sestri-Voltaggio, où la série crétacique se superpose directement, bien qu'avec un fort hiatus, à la triasico-liasique, toutes deux métamorphiques et à *Pierres vertes* analogues, se prête très bien à constater la ressemblance des deux formations (spécialement quant aux roches massives), si bien qu'anciennement elles furent réunies ensemble, et récemment quelques géologues éminents voulurent à nouveau les identifier chronologiquement.

Les faits stratigraphiques sur lesquels on base l'interprétation crétacique, dirais-je, de la grandiose formation ophitiforme en question sont indiqués dans les différentes monographies que, accompagnées de cartes et coupes géologiques, j'ai publiées en ces dernières vingt années à partir de 1891 sur les diverses régions de l'« *Appennino settentrionale* ». Les données paléontologiques sont indiquées en de spéciales notes, comme « *Contribution à la connaissance paléontologique des Argiles écailleuses 1893* » et « *Les formations ophitiformes du Crétacé - 1905* ».

Je rappelle en quelques mots que dans ces formations, en outre de très nombreux hiéroglyphes ou paléoïchnites de différente origine (*Nemertilites*, *Helminthopsis*, *Pennatulites*, etc.) ayant peu de valeur chronologique, sont fréquents les restes de *Cycadeoidea* (*C. etrusca*, *C. masseiana*, *C. Scarabellii*, etc.) genre essentiellement crétacique. Si les Foraminifères n'ont pas encore maintenant (du fait aussi qu'ils ont été peu étudiés) une valeur stratigraphique notable, les Radiolaires au contraire, fréquentes dans les Schistes jasproïdes (rappelant les *Radiolarites* des Alpes), sont à type jurassico-crétacique, fonctionnant ces restes microscopiques dans la série appenninique comme fossiles caractéristiques, ainsi que ceux de la série alpine (Césane, etc.). Outre à des restes

de *Hemipneustes* et de *Rhynchonella Vespertilio*, rappelons une quantité de *Inoceramus* (*I. Cripsii*, *I. Monticuli*, *I. labiatus*, *I. Brongniarti*, *I. cardissoides*, etc.), quelques *Ostrea* (*O. cf. acutirostris*) trouvées adhérentes à Inocérames; nombreux *Hamites* (*H. cylindraceus*), quelques *Scaphites*, *Toxoceras*, *Ancyloceras*, *Baculites*, *Turrilites*, *Desmoceras* (*D. cf. planorbiforme*), nombre de *Acanthoceras* (*A. Mantellii*, *A. naviculare*), *Pachydiscus* et plusieurs *Schloenbachia* (*S. cf. goupiliana*, *S. cf. tricarinata*) et autres Ammonites mal conservées; de nombreuses dents de Poissons comme: *Lamna*, *Oxyrhina* (*O. Mantellii*, *O. angustidens*), *Carchurodon* (*C. cf. longidens* ou *C. cf. angustidens*), *Notidanus*, *Otodus* (*O. appendiculatus*), *Corax pristodontus*, *Pseudocorax affinis*, *Odontaspis* (*O. Bronni*), *Scapanorhynchus raphiodon*, fréquents *Ptychodus* (*Ph. latissimus*, *Ph. polygyrus*, *Ph. mamillaris*, *Ph. decurrens*) et enfin des restes de Reptiles comme *Capellinosuchus mutinensis* et *Ichtyosaurus campylodon*.

La puissance de la formation mésozoïque métamorphique est parfois énorme, certainement de plusieurs milliers de mètres, d'autant plus si nous considérons qu'à la série trias-jurassique des Alpes il faut ajouter celle, de même très puissante, crétacique de l'Appennin.

L'origine est certainement sédimentaire, plutôt de mer un peu profonde, ainsi que l'indique la prévalence de l'élément argileux, la présence point rare de schistes siliceux à Radiolaires, etc. bien qu'y comparaissent aussi parfois des zones arénacées ou brècheïdes, ou nettement calcaires qui nous indiquent des dépôts moins profonds ou la proximité de régions littorales, peut-être spécialement à type d'archipel.

Dans la série mésozoïque les roches dites massives, essentiellement basiques, sont très communes et parfois même énormément développées, ainsi que nous le voyons p. ex. dans l'Appennin ligure (Groupe de Voltri), dans le Groupe du Mont Viso, dans les vallées de Lanzo, dans la moyenne vallée d'Aoste et, pour la série supérieure crétacique, dans la région appenninique entre Chiavari et Bobbio, si bien qu'il en naît l'idée que ces régions correspondent à des centres endogènes spécialement actifs pendant l'ère mésozoïque.

Néanmoins ces roches ne se présentent aucunement en dômes de protrusion et moins encore avec le moindre caractère intrusif, mais au contraire comme des intercalations lenticulaires plus ou moins étendues et puissantes parmi les formations sédimentaires.

Parmi les régions où mieux et plus commodément on peut voir ces intercalations de Calc-schistes, Micaschistes, etc. avec des Prasinites, Amphibolites, Serpentes, Cloritoschistes, etc., je rappelle les zones de Voltri-Rossiglione, de Molare-Tiglieto et autres points du Groupe de Voltri, la zone de Almese-Viù, entre la Vallée de Suse et la Vallée de Lanzo, où justement on peut souvent sur quelques centaines de mètres constater de très nombreuses alternances et de très nombreux croisements de ces différentes formations dans la très intéressante série de passage du Mésozoïque inférieur au Paléozoïque supérieur, tous deux métamorphiques et par conséquent un peu analogues, avec prévalence néanmoins des roches vertes dans la partie supérieure de cette série.

Une telle disposition est analogue à celle que j'ai déjà indiquée parlant des *Pierres vertes* (Diorites, Amphibolites, Diabases, Péridotites, Serpentes, etc.) ou roches massives basiques intercalées avec les Gneiss et les Schistes cristallins du Paléozoïque. Il s'agit du reste du même phénomène, en connexion évidemment avec les roches profondément métamorphiques, si bien que plusieurs croient qu'il en soit la cause, tandis que moi je pense qu'il constitue un fait concomitant au phénomène général du Métamorphisme.

Par conséquent la formation des *Pierres vertes* ou *Grünschiefer* l. s. du Mésozoïque métamorphique n'est autre que la continuation de celle analogue du Paléozoïque, presque de la même

manière que les Micaschistes et autres Schistes cristallins à faciès paléozoïco-archaïque comparaissent dans cette série métamorphique du Mésozoïque.

Dans l'ensemble pourtant on note une certaine différence lithologique entre les roches massives des deux séries; c'est-à-dire, tandis que dans la série paléozoïque prédominent les roches acides sur les basiques et parmi ces dernières prédominent les roches amphiboliques (comme Diorites, Amphibolites, Prasinites, etc.), dans la série mésozoïque au contraire prévalent absolument les roches basiques, et plus précisément en général les Amphibolico-prasinitiques dans le Mésozoïque inférieur (un peu comme dans le Paléozoïque moyen-supérieur) et spécialement les péridotico-serpentineuses dans le Mésozoïque moyen et supérieur; naturellement avec de nombreuses exceptions à cette règle générale. C'est là un fait intéressant qui est évidemment en rapport avec des différences chimiques originaires et dont il faut tenir compte quand on cherche à expliquer la formation des Pierres vertes.

Néanmoins aussi dans la série métamorphique du Mésozoïque, soit inférieur-moyen alpin, soit supérieur appenninique, comparaissent des roches à type plutonique comme les Euphotides ou Gabbros et même, dans l'Appennin septentrional, des vrais *Granites* (que nous pouvons indiquer comme *Granites jeunes*) généralement pourtant en affleurements limités, accompagnant à l'ordinaire les Pierres vertes et avec une constitution un peu spéciale, c'est-à-dire à éléments bien distincts, Chlorite très abondante et remplaçant le Mica, ce qui donne souvent à ces Granites une physionomie un peu particulière et un teint un peu verdâtre.

Associés souvent aux Serpentineuses et aux autres Pierres vertes surindiquées on rencontre dans la partie inférieure et moyenne du Mésozoïque métamorphique des Schistes variés plus ou moins verdâtres, spécialement *Chloritoschistes* (parfois aussi *Talcschistes*), çà et là actinolitiques, grenatifères (même jusqu'à passer aux *Grenatites*), plus rarement tourmalinifères; parfois au contraire avec passages et liaisons aux *Pyroxénites*, *Epidosites*, *Glaucophanites*, etc.

Il s'agit de Schistes métamorphiques dérivants de l'altération plus ou moins directe et profonde de roches variées sédimentaires ou massives riches en silicates ferro-magnésiens plus ou moins alluminifères et constituant dans l'ensemble les *Grünschiefer* des Alpes.

J'ai déjà indiqué que dans la partie inférieure de cette série prédomine le groupe complexe des roches amphibolitiques, c'est-à-dire des *Amphibolites* et des *Prasinites* (1), qui passent souvent à des *Amphiboloschistes* (*Hornblendschiefer*) et à des *Prasinitoschistes*, d'autant plus que fréquemment ils s'enlacent tellement avec les Schistes gneissiques ou micacés qu'ils constituent des *Gneiss* et *Micaschistes prasinitiques* et plusieurs autres roches, comme Schistes (micacés ou feldspathiques ou amphiboliques ou chloritiques, etc.) à Grenat, à Epidote, à Zoïzite, à Sphène, à Séricite, à Gastaldite, à Actinote, à Lawsonite, etc.

Ces roches qui autrefois étaient indiquées avec le nom d'ensemble d'Amphibolites (l. s.) sont en réalité très variables; quelques-unes préférentiellement amphiboliques ou vraies *Amphibolites* ou *Amphiboloschistes*, d'autres épidotiques ou *Epidotites* ou *Epidosites* (*Epidotschiefer*); d'autres chloritiques ou *Ovardites* (str. s.) passant aux *Chloritoschistes*; souvent grenatifères jusqu'à devenir *Ecoligites* et par endroits *Grenatites*; parfois avec passage aux *Pyroxénites* ou *Pyroxénoschistes* (spécialement *Chloromélanites* ou *Jadéitites*) et à plusieurs roches à glaucophane (*Glaucophanites*, etc.), à Gastaldite, grenatifères, etc.

Néanmoins les roches jadéitiques, chloromélanitiques, etc. sont peu étendues et elles représentent

---

(1) Vraiment par loi de priorité elles devraient s'appeler *Ovardites* (Strüver, 1873) et non *Prasinites* (Kalkowsky, 1886).

souvent des accidents lithologiques locaux, spécialement dans les zones de passage entre les roches amphiboliques et les serpentineuses.

Parfois les roches prasinitiques ressemblent à des Porphyrites diabasiques et à leurs tufs, plus ou moins laminés et métamorphosés. Ça et là aux roches prasinitiques, variolitiques, etc. s'associent aussi des *Cornéennes* (*Hornfels*).

Les *Diabases* avec plusieurs variétés, soit de forme et structure (comme les porphyritiques, les variolitiques, les tufacées, etc.), soit de constitution (comme les glaucophanitiques, les prasinitiques, etc.), sont très répandues dans toute la série mésozoïque métamorphique, parfois avec prévalence dans la partie inférieure, mais étant très abondantes aussi dans la partie supérieure, appenninique, où leur altération est connue sous le nom de *Gabbro rosso* (*Épidiabase*).

Les *Euphotides* ou *Gabbros* sont dans l'ensemble moins communs que les autres roches vertes, dont ils se distinguent par le type nettement massif, grenu (le *Granitone* des Toscans), bien que, à la suite de phénomènes de lamination et de métamorphisme spécial, ils passent parfois à des roches plus ou moins zonées, prasinitiques ou glaucophanitiques, souvent avec Grenat, Mica (spécialement Mouscovite), etc. Les Euphotides à diallage sont fréquentes, souvent plus ou moins ouralitisées ou épigénisées, avec Chlorite, Épidote, Albite, Quartz, etc.

Les roches euphotidiques aussi sont dans l'ensemble un peu plus répandues dans la partie inférieure et moyenne de la zone des Pierres vertes des Alpes que non vers le haut. Les *Péridotites* (*Lherzolites*, *Saxonites*) sont ordinairement peu étendues, mais elles se présentent aussi parfois en grandes zones, comme p. ex. dans la région préalpine de la Vallée de Suse à la Vallée de Lanzo; elle sont parfois téglulaires, mais généralement au contraire elles sont massives, avec petits filons de roches olivinico-pyroxéniques qui donnent souvent naissance, par altération, à Magnésite, Giobertite et Résinite (Voir p. ex. les environs de Caselletta et de Baldissero en Piémont).

Les *Hypersténites* sont généralement très limitées.

Les *Serpentines*, souvent extraordinairement étendues et puissantes, sont particulièrement développées dans la partie moyenne et supérieure de la série métamorphique mésozoïque du Lias au Crétacé compris, soit compactes, soit comme *Serpentinoschistes* ou comme *Diallagschiefer* de Studer (1839), soit comme *Ophicalces* ou *Ophicalcites*, qui forment les beaux marbres connus comme *Vert ancien*, *Vert des Alpes*, *Pietra Lavezzara*, etc. Néanmoins les Serpentine ne manquent pas non plus dans la partie inférieure de la zone des Pierres vertes (p. e. dans le groupe du Monviso) aussi que du reste parmi les Schistes cristallins du Paléozoïque, souvent avec des caractères qui indiquent qu'elles dérivent du métamorphisme d'autres roches vertes.

Parfois, en effet, parmi les roches serpentineuses on trouve des nucléus ou lentilles péridotiques qui prouvent le lien étroit qui existe entre les deux roches; ce qui fait penser que les Serpentine peuvent en partie dériver des Péridotites par métamorphisme essentiellement d'hydratation.

Avec les Serpentine, spécialement dans leur partie périphérique, on trouve parfois associées des *Grenatites*, *Peridotites*, *Epidosites* et plusieurs minéraux, qui ont rendu célèbres certaines régions, comme p. ex. le Piano della Mussa dans la haute Vallée de la Stura d'Ala.

Quant à l'origine des roches massives, ou Pierres vertes en général, il faut observer avant tout qu'elles n'apparaissent point en protusions ou dykes ou filons ou avec d'autres modalités à type nettement éruptif; elles se présentent au contraire comme des intercalations plus ou moins amigdaloides renfermées parmi les schistes, avec un développement variable de quelques mètres à plusieurs kilomètres et une épaisseur de même variable de quelques centimètres à plusieurs centaines de mètres.

On observe en outre, mais rarement, des passages graduels entre les roches vertes et les schistes plus ou moins riches en silicates ferro-magnésiens qui les englobent.

Par conséquent, ainsi qu'il a été déjà dit parlant des roches massives analogues du Paléozoïque, non seulement ces roches massives sont contemporaines des formations parmi lesquelles elles sont intercalées en concordance, mais il semblerait plus naturel d'en expliquer souvent l'origine par un intense métamorphisme général relié à des phénomènes plutoniques spéciaux que non par des vrais phénomènes éruptifs; les Pierres vertes ne sont pas la cause du métamorphisme des formations entre lesquelles elles sont intercalées, mais elles aussi sont le produit d'un intense métamorphisme général de profondeur.

Il faut enfin noter que la fréquence des roches granitoïdes, c'est-à-dire des Euphotides ou Gabbros et même (bien que rarement, par endroits et seulement dans la série appenninique) de vraies roches granitiques, nous indique que les phénomènes de plutonisme qui donnèrent naissance aux Pierres vertes furent parfois d'une telle intensité de pouvoir se relier à ceux qu'on indique comme protrusifs.

### MÉSOZOÏQUE NORMAL.

Si dans une grande partie des Alpes Occidentales proprement dites, spécialement vers le Piémont, les formations mésozoïques, pour des causes spéciales de conditions originaires et de métamorphisme successif, présentent un faciès particulier plus ou moins cristallin, dit justement *faciès piémontais*, ou *lepontin* ou *penninique* ou *pennin* ou *cristallin* esquissé dans le chapitre précédent, dans leur immense ceinture extérieure, spécialement occidentale, au contraire, ainsi qu'à l'Est dans la région des lacs lombards ou région insubrienne, la série mésozoïque se présente avec le faciès ordinaire, normal, essentiellement calcaire-marneux dont nous donnerons un bref aperçu en quelques chapitres dédiés aux périodes géologiques principales, en en indiquant aussi les subdivisions avec les fossiles plus caractéristiques ou abondants, au moins avec le nom générique et parfois avec celui spécifique (pour les formes plus typiques), afin de rendre plus clair le tableau synthétique des multiples formations qui constituent la chaîne alpine occidentale, largement entendue.

Naturellement la distinction des étages est souvent un peu artificielle et par conséquent elle se prête à plusieurs interprétations selon les endroits et même selon les différents auteurs. Ainsi la détermination des fossiles n'est pas toujours uniforme, ni leur indication est ici disposée d'une façon régulière, ne s'agissant pas d'une ouvrage paléontologique mais de simples aperçus sur les fossiles à l'appui des délimitations stratigraphiques.

Du reste quant à la détermination précise des fossiles il y a encore beaucoup à faire; qu'il me suffise de rappeler à ce propos soit les différences dans l'indication générique et sous-générique des Ammonites, soit le fait que certaines formes sont très compréhensives (comme p. ex. le *Rynchonella varians*, le *Parkinsonia Parkinsonii*, etc.) et qu'elles correspondent or à des formes à ample extension chronologique, or à des formes qui devront, par des études plus minutieuses, se subdiviser vraiment en espèces différentes.

### TRIAS.

Dans les Alpes occidentales la formation triasique fut déjà reconnue par Buckland dès 1821 et ensuite, en 1834, Pareto y rapporta les dépôts gypseux spéciaux. D'importantes études y firent aussi A. Favre et d'autres, si bien que peu à peu le domaine du Trias s'étendit aux dépens de terrains retenus auparavant comme jurassiques et même éocéniques.

Plus tard le retrouvement des caractéristiques Gyroporelles dans les calcaires de Villanova de Mondovi, les levés géologiques de Zaccagna et d'autres savants, firent reconnaître une fois mieux en ces dernières trente années quelle importance a cette formation dans la constitution des Alpes.

Ainsi que je l'ai rappelé au chapitre de l'Anthracolitique, le Trias inférieur (*Vosgien* ou *Werfénien* qu'on veuille le nommer), ainsi qu'il est interprété aujourd'hui, est représenté dans les Alpes par nombre de formations argiloschisteuses arénacées, quarzitiques, anagénitiques, et (où la série est métamorphique) phylladiques, micaschisteuses et parfois même gneissiformes, qui montrent à l'ordinaire un passage si insensible (par alternances, croisements, transitions latérales) au Permien et une telle analogie générale avec le Permo-carbonifère, que le *Vosgien* constitue avec lui une sorte d'unité géo-lithologique assez caractéristique et naturelle.

C'est pourquoi en cet ouvrage synthétique et spécialement dans la petite carte qui y est unie avec les coupes respectives (qui étant du reste à petite échelle ne permettaient pas des subdivisions détaillées), j'ai crû chose logique d'englober les formations werféniennes ou vosgiennes dans le chapitre et le teint de l'Anthracolitique (l. s.).

Néanmoins puisqu'on voit vers le haut ces formations werféniennes à caractère essentiellement détritique s'enlancer de différente façon aux formations essentiellement calcaires à vrai type triasique et présenter, bien que très rarement, des fossiles à type déjà en partie triasique, ce qui fait qu'on les considère généralement comme Trias inférieur, il est logique de les indiquer encore ici traitant du Trias alpin plus ou moins normal.

On a déjà noté combien est varié le faciès métamorphique ou *piémontais*, essentiellement cristallin, du Trias des Alpes occidentales, mais non moins varié est le faciès normal ou ordinaire, essentiellement dolomitique; car les formations triasiques ne sont pas seulement plus ou moins métamorphiques, mais elles se présentent aussi avec des physionomies différentes dans les différentes régions, d'autant plus qu'il s'agit de dépôts en partie littoraux ou de basse mer ou de lagunes, en partie phytogènes ou coralligènes, etc., par conséquent très variables de place en place. Il n'est pas possible de classer les formations triasiques en question selon le type classique du Trias européen, préféremment continental-lagunaire, dit à *faciès septentrional* ou *germanique* avec ses typiques divisions en *Buntersandstein*, *Muschelkalk* (*Conchylien*) et *Keuper*; mais on peut y distinguer deux faciès principaux, un *helvétique*, ayant quelques affinités avec le germanique et en connexion avec le type général du faciès métamorphique surindiqué du Mésozoïque alpin, et un *faciès oriental* (*Ostalpine faciès*) ou *méditerranéen* à type marin plus accentué, souvent à faciès néritique.

1°) LE FACIÈS HELVÉTIQUE correspond un peu aux zones moins altérées de la série métamorphique dont il forme souvent par conséquent la partie inférieure, très étendue et presque caractéristique, des Alpes occidentales proprement dites.

Elle prend naissance par le bas (**Trias inférieur** ou **Vosgien**) avec les habituelles formations arénacées du *Buntersandstein* (qui sont généralement moins feldspathiques des formations inférieures, permienne), c'est-à-dire les *Grès vosgiens*, *Grès d'Allevard*, *Arenarie variegata* des Italiens, *Grès rouges*, *Grès bigarrés* ou *bariolés* (*Poecilien*) analogues au *Quadersandstein*, rougeâtres-violacés, verdâtres, etc. passant ordinairement (au moyen de grès recristallisés, de grès siliceux, arkoses et roches semblables) aux *Quartzites*, *Quartzschistes* (blancs, rosés, verdâtres, etc.) souvent talqueux ou micacés et non infrequemment avec des zonules chloritiques, séricitiques (*Quarzsericit*), *Schistes satinés*, etc.

Les formations quartzzeuses à leur tour passent souvent aux formations conglomératiques ou poudingoïdes (à élément spécialement quartzeux), c'est-à-dire aux *Anagénites*, *Anagénitoschistes*, etc. connus aussi sous les noms de *Servino*, *Verrucano supérieur*, etc. formant parfois des piles de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur.

Ailleurs se développent aussi certaines *Argilolites* et nombre de *Schistes bariolés* (c'est-à-dire rougeâtres, violacés ou verdâtres analogues aux *Roeth*), etc., parfois plus ou moins métamorphosés, comme les *Streifenschiefer* (Theobald, 1864) ou *Schistes rubanés des Grisons*, les *Royaites* (Sacco, 1910) et même des *Schistes chloritiques* ou *micacés* ou *talqueux* ou *feldspathiques* et plusieurs autres *Schistes phylladiques* plus ou moins siliceux.

Etant donnée leur nature, ces formations *vosgiennes* n'ont ordinairement pas de fossiles; on y a pourtant, bien que très-rarement, découvert des restes de *Myacites fassaensis*, retenus auparavant pour *Estheria minuta*.

Au dessus de ces formations *vosgiennes* plus ou moins métamorphosées apparaissent, pourtant avec un développement très-varié, les formations du **Trias moyen**, qui est représenté essentiellement par des Calcaires plus ou moins dolomitiques ou même par de vraies Dolomies blanchâtres ou grisâtres, ou brunes, ou jaunâtres, parfois cavernoïdes ou vacuolaires (les *Zellendolomit*), ou corneuleuses (*Rauchwacke*), çà et là même corniolo-gypsifères plus souvent bréchoïdes, parfois complètement cristallines, à type marmoréen (blanches, grises, brunes ou varicolores, utilisées par conséquent souvent comme marbres), plus rarement silicifères, parfois albitifères, or en grands bancs à stratification presque oblitérée, or au contraire fixiles, phylladiques.

Non rarement on peut observer que la formation calcaire du Trias, compacte inférieurement où elle représente le *Muschelkalk*, devient vers le haut stratifiée, plus ou moins micacée, jusqu'à ce qu'on passe à une formation essentiellement calcschisteuse, qui se développe spécialement ensuite dans le Lias (l. s.).

Mais aussi vers le bas ou le milieu de la série calcaire-dolomitique du Trias apparaissent parfois des intercalations calcschisteuses ou micaschisteuses (*Micalytes*, *Schistes séricitiques* ou *chloritiques*, *Schistes luisants*, *Schistes satinés*, gris, verdâtres ou rosés) qui montrent une transition graduelle (par alternances, insertions, passages latéraux, etc.) entre le Trias normal et le métamorphique; ce qui représente le *faciès mixte*, où les calcaires dolomitiques, plus ou moins marmoréens, à *Encrinus*, s'enlacent avec des Micaschistes et autres Schistes subcristallins.

Les formations calcaires, plus ou moins dolomitiques, puissantes souvent plusieurs centaines de mètres (parfois même plus de 500 m.), compactes, uniformes, sont à type en grande partie récifal (voir les études spéciales de Richtofen), spécialement phytogènes (c'est-à-dire avec des accumulations immenses d'Algues calcaires) et elles sont connues sous les noms spéciaux de *Calcaires du Briançonnais* de Lory, *Calcarei di Villanuova* (Mondovi) de Zaccagna, *Calcaires francs* de Termier, *Calcaires à Gyroporelles* ou à *Diploplores*, *Diploplorenkalk*, *Calcaires à Encrinus* ou *Enkrinitenkalk*, etc., constituant la formation la plus caractéristique du Trias dit à *faciès ordinaire* ou *normal* ou *briançonnais* ou *monrégalais* (Franchi).

Dans ces calcaires dolomitiques du Trias moyen, mais qui passent aussi au Trias supérieur, et qui correspondent en partie au *Roethidolomit* (Heim, 1891) et au *Roethikalk* des Alpes suisses, on rencontre çà et là où leur cristallinité est moindre des restes fossiles généralement plutôt mal conservés, déterminables comme *Gyroporelles* ou *Diploplores* (*Diploporella annulata*, *D. pauciforata*, *D. cf. cylindrica*, *D. discita*, *D. minuta*); Polypiers; Crinoïdes (*Dadocrinus gracilis*, *Encrinus liliiformis*); Brachiopodes, comme: *Terebratula (Coenothyris) vulgaris*, *Orurattula carinthiaca*, *Rhynchonella decurtata*, *Spiriferina Mentzeli*, *S. fragilis*, *S. trigonella*, *Waldheimia (Aulacothyris) angusta*, *Spirigera (Retzia) trigonella*; Bivalves: *Lima costata*, *L. striata*, *Avicula*, *Myophoria Goldfussi*, *M. elegans*, *Pecten laevigatus*, *Gervilleia (Hörnesia) socialis*, *Myacites fassaensis*, *Pleuromya*, *Myalinia*; Gastéropodes: *Loxonema*, *Chemnitzia*, *Pleurotomaria (Worthenia) solitaria*, *Hologyra*, *Marmolatella*, *Natica*, *Naticella sublineata*, *Naticopsis*, etc. et quelques Céphalopodes: *Ceratites nodosus*, *C. Münsteri*, *Nautilus (Germanonautilus) bidorsatus*, etc.

Quant aux Algues calcaires, Dasycladées (Diplopores, Gyroporelles, etc.) il faut observer que, bien qu'elles aient été de grande utilité pour séparer dans les Alpes les calcaires triasiques des plus jeunes, parfois un peu analogues au point de vue lithologique, elles ont néanmoins seulement une valeur stratigraphique relative, car elles se développent du Trias moyen jusqu'au Rhétien, reparaisant même encore plus en haut parmi les calcaires organogéniques, par exemple dans le faciès urgonien du Crétacé; par conséquent elles représentent plutôt un faciès spécial biogéologique que non un véritable étage géologique.

Dans le **Trias supérieur**, qu'il est pourtant souvent difficile de séparer nettement du moyen, prédominent les formations à type lagunaire, saumâtres et de mer peu profonde, plus ou moins minéralisée.

Parfois en effet les calcaires plus ou moins dolomitiques s'étendent jusqu'au Trias supérieur, y représentant presque le *Dachsteinkalk* et l'*Hauptdolomit* ou *Dolomie principale* et englobant des Gyroporelles (*G. triasina*), *Gervillia exilis*, *Avicula*, *Loxonema*, *Worthenia solitaria*, parfois encore le *Myophoria Goldfussi*; ou bien dans le Trias supérieur les calcaires dolomitiques prennent par altération un teint spécial jaune nankin ou brun capucin, passant ainsi graduellement au Rhétique. Mais généralement au contraire les formations lagunaires, seules ou associées à des calcaires dolomitiques, calcaires schisteux, etc., apparaissent en zones cornioliques, anhydritiques (*Karstenite*, rappelant l'*Anhydrit-Gruppe*), gypseuses, plus rarement salifères (Sel de Bex), etc., les *Lünerschichten* de Theobald dans les Grisons, les *Raukwacke*, le *Röthigruppe* de quelques géologues, formations qui deviennent parfois très-étendues, puissantes et prédominantes sur tous les autres dépôts et qui donnent naissance aux phénomènes habituels et caractéristiques d'érosion, de dissolution, d'effondrement, etc.

Les Cornioles (Cargneules des géologues français) représentent généralement le produit secondaire des calcaires dolomitiques et ont ordinairement un teint jaunâtre.

Les formations gypseuses, souvent saccharoïdes, qui apparaissent sous forme presque de lentilles irrégulières, plus ou moins grandioses, ont un teint ordinairement blanchâtre ou blanc-jaunâtre, parfois elles sont aussi rubanées (rougeâtres, noirâtres, blanchâtres, etc.); et puisque par leur nature elles affleurent très-irrégulièrement et d'une façon confuse elles furent pour quelque temps rapportées par certains géologues même à l'Eocène.

Il faut pourtant noter que ce faciès gypseux-corniolique s'étend parfois, envahissant grande partie de la série triasique, aussi au Trias moyen; car si ce faciès doit être attribué en grande partie à la nature originare du dépôt lagunaire, par précipitation chimique d'eaux sursaturées (et en effet on y voit comparaitre aussi parfois des lentilles de sel gemme révélé souvent par des sources salées), il put aussi se constituer par la suite aux dépens de formations calcaires d'âge varié aux endroits où se vérifiaient les conditions de décalcification, de gypsification, de corniolisation, etc., opérées par les eaux souterraines riches en anhydride carbonique et matériaux sulfuriques; ce qui nous explique que ces formations gypso-cornioliques présentent des croisements irréguliers et des passages latéraux et verticaux aux formations calcaires et dolomitiques.

Non rarement, en connexion, intercalation et entrecroisement avec ces dépôts calcaires-gypseux-cornioliques, ou bien avec des couches gréseuses, apparaissent, parfois même avec une grande puissance, des schistes spéciaux argilo-marneux plus ou moins bigarrés, comme *Marnes irisées*, *Argiles rouges* ou *rutilantes*, *Argilolites* rougeâtres, lilas, verdâtres ou brunâtres, *Schistes versicolores* ou *Schistes satinés bariolés*, analogues aux *Quartenschiefer* (Escher) de la Suisse du Nord, ainsi que des *Schistes ardoisiers*, *Schistes phylladiques* gris-brunâtres, *Schistes noirs luisants*, etc., qui peuvent aussi passer aux fameux *Schistes lustrés* déjà indiqués.

2° Le FACIÈS ORIENTAL (comme caractéristique et très-développé dans les Alpes orientales) ou MÉDITERRANÉEN (par sa nature préférentiellement marine), ou OSTALPINEFACIES OU FACIÈS OU type AUSTRALPIN, que certains géologues indiquent aussi simplement comme TRIAS ALPIN, représente un faciès beaucoup plus normal que l'helvétique, moins métamorphique, plus typiquement marin et par conséquent bien plus fossilifère, au point que quelques unes de ses zones sont devenues typiques (p. ex. Esino, San Cassiano, Perledo, etc.) pour leur grande richesse en fossiles.

Il commence à comparaître dans la région des lacs lombards (d'où aussi le nom de *faciès subalpin*, se développant au Sud des vraies Alpes centrales) et s'étend amplement ensuite à l'est dans les Alpes orientales.

Néanmoins ce faciès oriental du Trias n'est pas nettement détaché de l'helvétique, mais, spécialement en passant des Alpes occidentales aux Alpes centrales, on voit qu'ils s'enlacent d'une façon très-variée et on observe dans l'ensemble que vers l'Est le Trias se transforme graduellement en dépôts plus normaux et par conséquent plus riches en fossiles.

Comme à l'ordinaire le **Trias inférieur** (*Werfénien* ou *Vosgien*) commence par des formations clastiques connues sous les noms de *Grödner-Sandstein*, *Grödner-Schichten*, *Werfener-Schichten* et en partie de grès, *Servino*, *Sernifit*, conglomérats, *Verrucano*, etc., c'est-à-dire de formations clastiques plus ou moins grossières, parfois alternées et associées à des Grès bigarrés (ou *Buntsandstein*), Grès dolomitiques et micacés, Schistes argilo-gréseux, Schistes siliceux variés, *Sericitquarzit*, *Tarnthaler Quarzit-Schiefer*, plusieurs Schistes bariolés, spécialement rougeâtres, Marnes feuilletées rosées, avec quelques rares fossiles, comme *Woltzia heterophylla*, *Schizoneura Meriani*, *Pseudomonotis Telleri*, *Pecten*, *Mytilus*, *Lithophyllum speciosum*, et, dans la partie supérieure passant au Trias moyen, restes d'*Avicula Clarai*, *Myophoria costata*, *M. ovata*, *M. rotundata* (*Myophorien-Schichten* de Lepsius, 1878, ou *Campiler-Schichten* ou *Campilien* de Mayer, 1888), *Gervillia mytiloides*, *G. polyodonta*, *Pleuromya* ou *Myacites fassaensis*, *Natica*, *Naticella costata*, *Turbonilla*, *Tyrolites cassianus*, etc.

Le **Trias moyen** est souvent très-puissant; y prédomine essentiellement le faciès calcaire-dolomitique, la *Dolomie inférieure* à Crinoïdes (rarement avec substitutions ou intercalations locales gypso-cornioliques), correspondant dans l'ensemble au *Muschelkalk* alpin (l. s.) à type récifal, plus ou moins phytogénique, qui envahit parfois toute la série, présentant une épaisseur de plus que mille mètres.

On peut le subdiviser, bien qu'avec quelque incertitude, en deux étages, c'est-à-dire:

a) **Virglorien** ou *Franconien* (qui correspond à la plus grande partie du *Muschelkalk*) représenté par des Calcaires (*Virgloriakalk* analogue au *Wellen-Dolomit* [inf.] et au *Wellenkalk* [sup.]) et par des Marnes à *Diplopora pauciforata*, Crinoïdes (*Dadocrinus gracilis*, *Encrinus liliiformis* [*Trochitenkalk*]), *Cidaris*, plusieurs Brachiopodes (d'où aussi le nom de *Brachiopodenkalk*), comme *Spiriferina Mentzeli*, *S. hirsuta*, *S. fragilis*, *Spirigera* (*Retzia*) *trigonella*, *Rhynchonella decurtata*, *Rh. trinodosa*, *Terebratulula* (*Coenothyris*) *vulgaris*, *Waldheimia angusta*; Péléciopodes, comme *Homomya*, *Mioconcha Goldfussi*, *Gervillia mytiloides*, *G. costata*, *G. socialis*, *Pecten discites*, *Lima lineata*, *L. striata*, *Myophoria* (*M. vulgaris*, *M. laevigata*, *M. elegans*, *M. cardissoides* [*Myophorien-Schichten* de Rothpletz, 1888]); quelques *Chemnitzia*, *Natica* et plusieurs Céphalopodes, spécialement *Ceratites* du groupe *Trachiceras*, comme *C. binodosus*, etc.

Rappelons comme particulièrement fossilifère (à *Ceratites*, etc.) la fameuse *Dolomie de Mendola* (*Mendolin* May. 1869) passant au *Ladinien*.

b) **Ladinien** (l. s.) ou *Larien* ou *Larish* de Mojsisovich 1869 (du nom latin du lac de Côme) représenté: par des schistes et calcaires à Gyroporelles ou Diplopores (*Diplopora annulata*) d'où les noms de *Gyroporellenkalk* ou *Diploporakalk*, avec plusieurs Brachiopodes, Mollusques, etc.;

par les *Buchensteinkalk* ou Calcaires noduleux silicifères à *Trachyceras*. (d'où aussi le nom de *Nodosenkalk* ou *Nodosenschichten*); par le *Wettersteinkalk*; par les fameux Calcaires de *Esino* (*Esinien* de Suess) et de Saint Cassien (*Cassianoschichten* ou *Cassianon* de Mayer, 1888) toujours plus ou moins dolomitiques et avec intercalations marneuses extraordinairement riches en fossiles (plutôt nains à Saint Cassien et grands au contraire à Esino), comme: *Waldheimia*, *Rhynchonella*, *Provermicularia*, *Chemnitzia*, *Naticopsides*, *Néritides*, *Arpadites*, *Arcestes*, *Sturia*, *Trachyceras*, etc.; par les *Partnach-Schichten*, *Halobia-Schichten* ou *Halobien-Schiefer*, *Wengener-Schichten* ou *Wengen-kalk*, *Goeslinger-Schichten*, etc., c'est-à-dire par des grès, tufs porphyriques et schistes calcaires à *Daonella* (*Halobia*) *Lommeli*, *Posidonomya wengensis*, *Retzia Schwageri*, *Spiriferina Lipoldi*, *Bactryllium Schmidti*, *Protrachyceras Archelaus*, etc.

Rappelons encore ici les Calcaires du *Salvatore* près de *Lugano*, le *Langobardisch* de Mojsisovic (1895), etc., etc., formations souvent enlacées ou se remplaçant par place selon les conditions originaires locales.

Parmi les différentes formations du Trias moyen (jusqu'au *Raiblien* compris) comparaissent aussi çà et là (comme p. ex. à Besano dans le Varesotto, à Varenna et Perledo sur le lac de Côme) des schistes spéciaux calcaires, brunâtres (parfois marmoréens, les *Marbres noirs* bien connus) plus ou moins bitumineux, parfois très puissants, devenus fameux par leur faune ichtyolitifère (à *Nemacanthus*, *Leptacanthus*, *Belonorhynchus*, *Pholidophorus*, *Peltopleurus*, *Semionotus*, *Lepidotus*, *Urolepis*, *Perleidus*, etc.), entre lesquels on a découvert aussi par endroits des restes de Reptiles, comme *Mixosaurus*, *Pachypleura*, *Lariosaurus*, etc., sans compter qu'on y a trouvé des empreintes de *Halobia* ou *Daonella* (*D. Moussoni*), des restes de *Ceratites*, *Trachyceras* et des intéressantes Phyllites des genres *Voltzia* (*V. keuperiana*), *Brachyphyllum*, *Glyptolepidium*, *Danaeopsis*, *Schizoneura*, *Equisetum*, etc.

Au dessus de la complexe série calcaire-dolomitique qui représente presque le *Muschelkalk* alpin et parfois en connexion avec quelques unes des formations fossilifères indiquées comme *ladiennes*, se développe le **Raiblien** ou *Carinthien* ou *Carnien* qui, à partir de quelques petites couches, ainsi qu'on l'observe en certains points, passe graduellement ailleurs à des épaisseurs de plusieurs centaines de mètres; il est très variablement constitué, or par des Dolomies qui peuvent aussi envahir toute la série, mais plus souvent par des Calcaires marneux avec *Cardita*, par des marnes et par des calcaires en plaquettes, or par des Schistes à *Myophoria*, *Halobia*, etc., Schistes bariolés, etc., or aussi par des corneules et gypses en lentilles (faciès de *Rauchwacke*), parfois par des zones de grès commixtes aux calcaires et même localement avec des tufs dus à des éruptions porphyriques, porphyritiques et mélaphyriques diverses s'étant vérifiées dans le Tyrol méridional. Mais il s'agit essentiellement d'un terrain marneux, caractéristique conséquemment pour ses sources et son paysage déprimé parmi les arides et abrupts massifs dolomitiques.

Cette formation renferme parfois une riche faune (comme p. ex. aux alentours de Gorno [*Couches de Gorno*], Dossena et Acquate en Lombardie) représentée par *Trachyceras aonoides*, *Nautilus brebanus*, *Loxonema obliquecostatum*, *Natica Deshayesi*, *Lima subpunctata*, *Pecten filus*, *Cassianella decussata*, *Gervilia Meriani*, *G. Pallium*, *G. costata*, *Hörnnesia Joannis Austriae* (= *Gervillia bipartita*), *Myophoria* (*M. Kefersteini*, *M. inaequicostata*, etc.), *Hinnites Ombonii*, *Myoconcha longobardica*, *M. Curioni*, *Megalodon cassianus*, *M. triqueter*, *Trigonodus* (qui par endroits forme de vrais *Trigonodusdolomit*), *Pleuromya carinata*, etc.

Le **Trias supérieur**, *Norien* de Bittner ou *Iuvavien* ou *Tyrolien*, est représenté de nouveau par des formations puissantes calcaires-dolomitiques connues sous les noms de *Hauptdolomit* de Theobald, ou *Dolomie principale* ou *Dolomie moyenne* ou *Grande Dolomie*, le *Dachsteinkalk* ou *Cal-*

caires à *Megalodon* vers le haut; formations à type récifal, en bonne partie phytogénique, qui constituent des masses de l'épaisseur de centaines et parfois de même plus que mille mètres, subcristallines, parfois au contraire farineuses, mais en général compactes, si bien qu'elles forment des reliefs montueux caractéristiques, grandioses, aujourd'hui plus ou moins ruiniformes.

Çà et là ces Dolomies sont metallifères, c'est-à-dire avec galène, calamine, baritine, ecc; parfois on y trouve des fossiles, comme; *Diplopora*, *Gyroporella vesiculifera*, *Avicula (Gervillia) exilis*, *G. salvata*, *Neomegalodus*, *Megalodon Guembeli*, *Dicerocardium Iani*, *D. Ragazzonii*, *D. Curionii*, *Worthenia Songavatii* ou *W. solitaria* ou *W. contabulata* (indiquée souvent comme *Turbo solitarius*), *Loxonema*, *Natica*, *Cnemitzia*, etc.

Mais dans les régions situées un peu au Nord des Alpes, où le Trias supérieur est plus fossilifère, y apparaissent en série ascendente des marnes schisteuses à *Estheria minuta*, des zones dolomitiques à *Myophoria Goldfussi*, *Lingula tenuissima*, etc., et le vrai *Gypskeuper*, à marnes bigarrées, par endroits gypsifères, avec *Avicula gansinensis*, *Myophoria vestita*, *Anaplophora*, *Pseudocorbula*, *Cardita*, *Zygopleura*, etc.

Dans le Trias normal on trouve des rares traces de phénomènes éruptifs, représentés par quelques intercalations, même assez puissantes, de Méléphyres (*Spilites*) à interpréter comme Basaltes anciens, qui gisent spécialement dans la partie supérieure du Trias. On rencontre parfois aussi des tufs volcaniques, p. ex. parmi les dépôts du Raiblien.

En outre dans le Trias, spécialement inférieur, à type méditerranéen, on peut observer non seulement des Méléphyres, mais aussi des Porphyrites augitiques et autres roches de nature protrusive, presque comme en continuation des analogues formations du Permien.

## RHÉTIEN.

L'étage de passage entre le Trias et le Lias, dit *Rhétien* ou *Infralias*, même dans les aires métamorphosées, c'est-à-dire à calcschistes prévalents, apparaît parfois à la base de la série calcschisteuse sous la forme, assez bien individualisée, de calcaires gris-bruns, çà et là fossilifères, c'est-à-dire avec Corallaires (*Rhabdophyllia*, etc.) curieusement spathisés et des restes mal conservés de Brachiopodes et Bivalves.

En général le Rhétien alpin est représenté par des calcaires plus ou moins bruns, assez bien stratifiés, souvent même en couches très minces, lastriformes, en plaquettes, avec intercalation de schistes bitumineux gris-noirâtres, ou bariolés (verdâtres, rougeâtres, jaunâtres), souvent pyritifères, avec passage or à de minces couches marneuses, or à des zonules argileuses brunes-verdâtres ou rougeâtres, or à de minces couches gréseuses, parfois avec des lits silicifères.

En certains endroits dans des couches spéciales ou nids (fameuse la localité de l'Azzarola près de Lecco) on rencontre parfois de nombreux fossiles, formant même localement des *lumaquelles*, spécialement: *Chondrites*, *Bactryllium striolatum* (sur schistes noirs marneux); quelques Corallaires, formant les *Lithodendronkalk* ou *Madreporenkalk* avec *Rhabdophyllia* en belles colonies, *Thecosmilia*, *Thamnastrea*, *Astreomorpha*; quelques *Pentacrinus*, *Cidaris* et *Hypodiadema*; plusieurs Brachiopodes (*Terebratula gregaria*, *Waldheimia*, *Spiriferina*, *Cyrtina*); grand nombre de Bivalves: *Avicula contorta* (*Contorta-Zone* ou *Contorta-Schichten*), *Myophoria (M. postera, M. Emmerichi, M. costata, M. Ewaldi)*, *Lucina circularis*, *Ostrea sublamellosa*, *Alectryonia nodosa (Ostrea marcignyana)*, *Modiola minuta*, *Gervilleia inflata*, *G. precursor (Gervilien-Schichten)*, *Pinna miliaria*, *Lima valoniensis*, *L. punctata*, *Dimyopsis Emmerichi (Plicatula intusstriata)*, *Pecten Azzarolae*, *P. valoniensis*, *Cardium rheticum*, *Cardita (Paleocardita) austriaca*, *C. Quenstedti*, *Pholadomya*, *Nucula alpina*, *Leda*, *Anatina*, *Myacites Quens-*

*tedti*, *Placunopsis alpina*, *Mytilus*, *Cypricardia*, *Protocardia rhaetica*, *Anomia*, *Schizodus cloacinus*, *S. Ewaldi*, etc. Les premières Belemnites comparaissent, mais les Ammonites (*Choristoceras rhaeticum*) sont rares.

Moins fréquemment il y a des zonules, qui rappellent les *Bonebeds*, avec dents de Poissons (*Acroodus*, *Hybodius*, *Amblypterus*, *Saurichtys*, *Gyrolepis*, *Sphaerodus*, *Sargodon*, *Colobodus*, etc.).

Dans les Alpes calcaires septentrionales le Rhétien est représenté par les fameuses *Couches de Koessen* (*Kossenon* May, 1888, *Koessener Schichten*) à faune très riche, spécialement en Brachiopodes et Bivalves.

Au dessus du Rhétien pr. dit on peut en certains endroits distinguer un étage spécial ou *Hettangien* (*Infralias* str. s.) représenté par des calcaires parfois un peu dolomitiques gris-blanchâtres ou jaunâtres et même par des marnes schisteuses bitumineuses de l'épaisseur de quelques dizaines de mètres, avec Echinodermes (*Pentacrinus*, *Millericrinus*, *Diademopsis*), Brachiopodes (*Spiriferina*, *Waldheimia perforata*, *Rhynchonella Colombi*, etc.), très grand nombre de Bivalves (*Pleuromya*, *Pholadomya corrugata*, *Pecten* (*Chlamys*) *valoniensis*, *Lima hettangiensis*, *L. tuberculata*, *L. valoniensis*, *Mytilus*, *Modiola*, *Plicatula hettangiensis*, *Avicula*, *Pinna*, *Cardinia* (parfois *Cardinien-Bank*), *Cypricardia*, *Ostrea* (*O. irregularis*, *O. sublamellosa*), *Oxytoma*, etc., et quelques Ammonites, comme *Psiloceras planorbe* (*Psilonotenkalk* ou *Planorbis-Zone*), *Psiloceras Johnstoni*, *Alsatites liasicus*, *Phylloceras*, *Lytoceras*, *Schlotheimia angulata* (*Angulaten-Kalk* ou *Angulatus-Zone*).

Dans les Alpes calcaires méridionales au-dessus des schistes marneux à lumaquelles du Rhétien, qui constitue un horizon géologique typique bien reconnu par Stoppani, se développe une puissante et compacte formation calcaire dolomitique subcristalline, c'est-à-dire la *Dolomie supérieure* ou *Dolomie rhétique*, *Conchodon-Dolomit* ou *Dolomie à Conchodon*, *Calcaire* ou *Sasso degli Stampi* par l'abondance du grand et caractéristique *Conchodon infraliasicus* (*Lycodus cor*), qui représente l'*Infralias* (str. s.) ou *Hettangien*, parfois même avec quelques-uns des fossiles infraliasiques rappelés plus haut.

## LIAS.

Le Lias est une formation très étendue et puissante dans les Alpes, soit avec le faciès métamorphique cristallin, déjà examiné précédemment, soit avec le faciès normal représenté par des calcaires plus ou moins marneux ou argileux, schisteux, brunâtres, çà et là rougeâtres, parfois un peu siliceux ou avec nodules de silice.

Par endroits y apparaissent des zones gréseuses ou même conglomératiques ou brècheïdes qui, lorsqu'elles sont polygéniques et variablement colorées, forment des magnifiques marbres, comme p. ex. sur plusieurs points des Alpes liguriennes.

De beaux marbres forment aussi certains Calcaires liasiques rougeâtres à lumaquelles par l'abondance de Brachiopodes, comme p. ex. les calcaires de Gozzano au sud du lac d'Orta.

Les faciès du Lias varient beaucoup, soit dans les différentes régions, soit dans les différents étages et par conséquent corrélativement varient les fossiles parmi lesquels prédominent or les Gryphées, or les Entroques ou Encrinides, or les Ammonites, etc.

Nous pouvons rappeler pour les zones intérieures de la chaîne alpine, en outre du Lias métamorphique, c'est-à-dire à faciès piémontais ou de *Schistes lustrés*, *Calcschistes*, etc., correspondant probablement à des zones de profond géosynclinal:

1° Le *Lias Briançonnais* à marnes et schistes calcaires, parfois à lentilles siliceuses, avec Gryphées, Belemnites, Ariétites, Rhacophyllites, etc.; çà et là à type néritique, correspondant parfois à des zones littorales ou de géo-anticlinal sous-marin, c'est-à-dire avec calcaires oolithiques ou

zoogéniques à Corails et Crinoïdes, souvent avec des zones brècheuses, dont est type la fameuse *Brèche du Télégraphe* de Kilian, à éléments calcaires dolomitiques, qui est si fréquente dans le Briançonnais et la Savoie.

2° Le *Lias dauphinois* (Haug) ou bathyal, c'est-à-dire de mer un peu profonde correspondant à des zones de géo-synclinal (à Ariétites, Belemnites, Gryphées, *Pecten liasicus*, etc.), qui se développe dans la Haute-Savoie et dans une partie des Alpes Suisses; un peu analogue est le *Lias chablaisien* formé de calcaires noirâtres de mer profonde à *Posidonomya*, *Harpoceras*, etc.

Le Lias dauphinois peut dans l'ensemble se diviser en un horizon inférieur (*Lias pr. d.*) ou *Lias calcaire*, brun, compact, extraordinairement riche en *Phylloceras*, *Tropidoceras*, *Lytoceras*, *Aegoceras*, *Dactyloceras*, *Liparoceras*, *Harpoceras*, *Amaltheus*, etc., et en un horizon supérieur (*Supralias*) ou *Lias schisteux*, argileux, formé de schistes marneux, ou calcaires-marneux, noirâtres, à type bathyal, à faciès vaseux, de même avec Ammonites (*Grammoceras*, *Pseudogrammoceras*, *Hammatoceras*, *Arietites*, *Harpoceras*, *Lillia*, *Haugia*, etc.), Belemnites, etc. et d'une puissance parfois extraordinaire, c'est-à-dire même de plus que mille mètres; ce qui sert à nous expliquer la puissance énorme que prennent parfois les Calcschistes du Mésozoïque métamorphique, auxquels montrent parfois un passage graduel les formations du Lias schisteux devenant séricitique, tout en englobant encore çà et là des restes de Belemnites, comme p. ex. autour du Mont Blanc.

3° Le *Lias rhodanien* ou *provençal*, à calcaires marneux, gris, très variablement et richement fossilifères (Gryphées, Cardinies, etc.), souvent à vrais calcaires zoogéniques avec intercalations marneuses à type néritique, comme dans les régions de la Provence, du Jura, etc.

Qu'on note que ces différents faciès du Lias s'enlacent parfois et passent les uns aux autres (*Lias à type mixte*); ainsi p. ex. dans la région vraiment alpine des Alpes Occidentales le Lias normal montre parfois des passages, par alternances et entrecroisements, au Lias calcschisteux métamorphique, comme autour du Groupe du Mont Blanc, dans la zone dite de Sion, dans les Alpes Maritimes, etc.

Ces différences entre les dépôts liasiques des Alpes occidentales sont en grande partie en rapport avec les plissements positifs et négatifs qui commençaient alors à s'esquisser, p. ex. par le fait que la mer liasique présentait en cette région un géosynclinal occidental (*dauphinois*) et un géo-synclinal oriental (*piémontais*), entre lesquels se développait au contraire un géo-anticlinal central (*briançonnais*), qui préluait aux futurs grands plissements alpins.

Les subdivisions de la série liasique alpine ne sont pas toujours faciles, mais cette formation étant souvent fossilifère on y peut distinguer deux étages principaux, c'est-à-dire, comme j'ai déjà indiqué plus haut:

**Lias inférieur** ou **Lias pr. dit**, dont les calcaires schisteux, brunâtres, souvent siliceux, sont parfois extraordinairement riches en fossiles, comme ceux du Col de Pourriac (Alpes Maritimes) que j'ai recueilli et étudié il y a bientôt trente ans.

Il s'agit d'empreintes variées (*Cylindrites*, *Cancellophycus*, etc.), Crinoïdes (*Pentacrinus tuberculatus*, *Balanocrinus*, etc. formant parfois un vrai *Crinoïdenkalk*), Brachiopodes (*Rhynchonella*, *Terebratula*), Bivalves (*Gryphea* de plusieurs espèces, entre lesquelles est prévalente le *G. arcuata* en quantité extraordinaire jusqu'à former parfois un *Gryphitenkalk*), *Mytilus*, *Lima*, *Pecten* (*P. textorius*); Gastéropodes (spécialement *Pleurotomaria*), Céphalopodes, comme *Nautilus*, *Amaltheus*, *Psiloceras*, *Lytoceras*, de très nombreux *Arietites* de beaucoup d'espèces (*A. bisulcatus*, *A. Bucklandi*, *A. obtusus*, etc.) *Aegoceras* (*A. Conybeari*), *Schlotheimia* (*Sch. angulata*), *Coeloceras*, *Phylloceras*, grand nombre de *Belemnites* de différents groupes (*B. acutus*, etc.).

**Lias moyen-supérieur** ou **Supralias** — Est lui aussi représenté par des calcaires plus ou moins sombres, parfois pourtant rougeâtres, comme le calcaire à *Rhynchonella* et *Terebratula* de Gozzano; çà et là avec des zones de brèches polygéniques et non rarement assez riches en fossiles, comme Crinoïdes (*Pentacrinus*), Brachiopodes (*Terebratula punctata*, *T. gozzanensis*, *Rhynchonella scherina*, *Rh. Briseis*), Bivalves (*Posidonomya*), Céphalopodes (*Arietites*, *Amaltheus*, *Hildoceras*, *Harpoceras*, *Phylloceras*, *Belemnites*, etc.).

Dans les régions circumalpines occidentales (Basses Alpes, Provence, etc.) et septentrionales (Suisse), dans le Jura et dans les Alpes Lombardes ou Alpes calcaires méridionales la série liasique par sa plus grande richesse en fossiles variés peut se subdiviser en plusieurs étages, qu'on peut schématiquement indiquer ainsi, du bas en haut.

**Sinemurien** — Marnes calcaires grises-brunes ou noirâtres à *Pentacrinus tuberculatus* (*Pentacriten-Bank*), *Spiriferina pinguis*, *Gryphea arcuata* (d'où le Calcaire à *Gryphites*, le *Gryphitenkalk* et le *Gryphitien* proposé en 1874 par Renevier), *Lima*, *Pecten textorius*, *P. Hehli*, *Pleuromya*, *Macromya*, *Pholadomya Voltzi*, *Belemnites (B. acutus)* très abondantes, *Aegoceras muticus*, *Arietites bisulcatus*, *A. raricostatus (Arietiten-kalk p. p.)*, etc.

Parfois y comparaissent aussi des Dolomies grises claires stratifiées et quelques bancs argileux gris-verdâtres et parfois aussi des zones bréchoïdes.

Dans les Alpes Calcaires spécialement méridionales (Lombardie) prédominent au contraire les calcaires silicifères, parfois marmoréens avec des restes phyllitiques (*Ctenopteris*, *Otozamites*, *Pagopyllum*, *Brachyphyllum*); *Pentacrinus tuberculatus*, *Millericrinus*; *Rhynchonella acanthica*, *Rh. belemnitica*, *Zeilleria cor*, *Spiriferina*; *Oxytoma sinemuriensis*, *Pecten Thiolleri*, *Chlamys textorius*, *Pseudamussium Hehli*, *Lima gigantea*, *Cardinia hybrida*, *Gryphea obliqua (Obliqua-Schichten)*, *Pleurotomaria anglica*, *Belemnites acutus*, et nombre d'Ammonites, comme *Arietites (A. Bucklandi, A. bisulcatus, A. retiformis, A. ceratitoides, A. raricostatus, A. obtusus, A. stellaris, A. spiratissimus)*, *Asteroceras*, *Oxynotoceras oxynotus* [d'où l'*Oxynotus-Zone*, l'*Oxynotien* proposé par Renevier en 1874], *Schlotheimia (S. angulata)*, *Arietoceras*, *Psiloceras*, *Aegoceras (A. planicostata, A. laevigatum, A. bispinatum)*, *Arnio-ceras*, *Phylloceras*, *Cycloceras*, *Harpoceras*, *Agassiziceras scipionianum*, *Nautilus striatus*, etc.

Spécialement renommées pour les fossiles et pour les calcaires d'ornementation sont les formations de Saltrio, Moltrasio, Viggiù, etc. dans les préalpes de la Lombardie.

**Pliensbachien** ou **Charmouthien** — Calcaires marneux, gris, par endroits rougeâtres, à *Gryphea cymbium* (d'où le nom de *Cymbien* proposé en 1878 par Leymerie), *Pecten (Pseudopecten) aequivalvis*, *Cardinia*, *Plicatula*; *Zeilleria cornuta*, *Rhynchonella acuta*, *Rh. tetraedra*, *Spiriferina*; *Belemnites (B. elongatus)*; mais spécialement riches en Ammonites des genres *Phylloceras (Ph. ibex)*, *Lytoceras (L. fimbriatum)*, *Aegoceras (A. armatum)*, *Lyparoceras*, *Harpoceras (H. boscense)*, *Amaltheus (A. spinatus [Spinatus-Zone], A. margaritatus [Margaritatus-Schichten o Amaltheen-Zone])*, *Agassiziceras (A. personatum)*, *Deroceras*, *Dactylioceras*, *Cycloceras (G. calliplocum)*, *Coeloceras*, *Polymorphites (P. Bronni)*, *Tropidoceras*, etc.

Dans les Alpes Calcaires méridionales prédominent en outre des *Phylloceras*, *Arietites*, *Lytoceras*, *Hildoceras*, *Coeloceras*, *Harpoceras*, *Aegoceras*, *Dumortieria*, *Polymorphites Jamesoni*, etc., les Brachiopodes, comme *Spiriferina rostrata*, *S. expansa*, *Rhynchonella Briseis*, *Rhynchonellina alpina*, *Terebratula punctata*, *T. rotzoana*, *Waldheimia (Zeilleria) cornuta*, *Terebratula (Pygope) aspasia (Aspasia-kalk)*; de plus *Millericrinus*, etc. Fameux par leur richesse en fossiles sont devenus les calcaires de la Bicolica de Suello (Lombardie), remplis de *Rhynchonellines*, *Pygopes*, *Térébratules*, *Phylloceras*, *Rhacophyllites*, *Liparoceras*, *Tropidoceras*, etc.

La série termine avec une zone (*Domérien*) peu puissante, mais étendue, de calcaires marneux

silicifères (*Medolo* de Brescia) remplis d'Ammonites, spécialement *Phylloceras*, *Harpoceras*, *Grammoceras*, *Coeloceras*, *Arietoceras* (*A. algovianum*, *A. domeriense*), *Amaltheus*, etc., qui se développe aussi dans le bassin du Rhône.

**Toarcien** — Calcaires et schistes marneux, ayant une puissance de même 200 à 300 mètres, à *Helminthosides*, *Fucoïdes*, empreintes des plus variées, *Cancellophycus* ou *Zoophycus* (*Z. scoparius*), articles de *Millecrinus* et restes d'Echinidés, localement abondants dans de spéciales brèches, dites pour cela échinodermiques; il y a aussi beaucoup de Brachiopodes (*Rhynchonella tethraedra*, *Rh. Amalthei*, *Rh. cynocephala*, *Terebratula Jauberti*), des petits *Turbo* et *Trochus*; l'*Entalium disciforme*; des petites *Posidonomya*, come la typique *P. Bronni* (*Posidonien-Schiefer* ou *Bronni-Zone*); nombreuses Ammonites: *Hildoceras bifrons* (*Bifrons-Zone*), *Harpoceras* (*H. fallaciosum*, *H. serpentinum*), *Coeloceras*, *Stephanoceras*, *Grammoceras*, *Lytoceras jurensis* (*Jeurense-Schichten*), *L. cornucopiae*, *Hammatoceras*, *Phylloceras* (*Ph. Nillsoni*), *Lillia*, *Belemnites* (*B. tripartitus*), etc.

Dans les Alpes calcaires méridionales ou lombardes cet étage est représenté par un faciès spécial, plus ou moins pélagal, à calcaires marneux, rougeâtres ou gris-verdâtres ou bariolés, extraordinairement remplis d'Ammonites (d'où le nom d'*Ammonitique rouge* ou de *Rosso ammonitico*) comme: *Phylloceras* (*Ph. Nillsoni*, *Ph. frondosum*, *Ph. doderleinianium*), *Lytoceras*, (*L. torulosum*, *L. Dorcadis*, *L. cornucopiae*), *Hildoceras* (*H. bifrons*), *Harpoceras*, (*H. falciferum*, *H. exaratum*, *H. subplanatum*), *Coeloceras* (*C. crassum*), *Lillia* (*L. Mercati*, *L. comensis*, *L. erbaensis*), *Pseudogrammoceras* (*P. fallaciosum*), *Poecilomorphus*, *Dumortieria*, *Grammoceras*, *Hammatoceras* (*H. insigne*), *Paroniceras* (*P. sternale*), *Nautilus semistriatus*, etc.

**Aalénien** — Étage de transition entre le Lias et le Jura, si bien que quelques auteurs en font la base de la série jurassique. Marnes et calcaires gris-brunâtres, souvent schisteux, à *Cancellophycus*, *Rhabdocidaris*, quelques Brachiopodes, *Lima*, *Posidonomya*, *Lucina*, *Pecten*, *Eunema*, *Trochus* et beaucoup d'Ammonites spécialement des genres *Harpoceras*, entre autre caractéristique *H. (Lioceras) opalinum* (d'où le nom d'*Opalinus-Thon* et d'*Opalinien* proposé par Renevier en 1874), *H. aalense* et l'*H. (Ludwigia) Murchisonae*, *Phylloceras* (*Ph. heterophyllum*), en outre de *Lytoceras* (*L. tripartitum*), *Hammatoceras*, *Tmetoceras*, *Grammoceras*, *Lioceras* (*L. concavum*), *Dumortieria*, *Haplopleuroceras*, *Hyperlioceras*, *Sphaeroceras*, *Pleydellia aalensis*, *Hibolites*, etc.

Dans les Alpes lombardes cet étage est représenté par la partie supérieure du Calcaire rouge ammonitique avec grand nombre de *Phylloceras* (*Ph. taticum*, *Ph. ultramontanum*), *Harpoceras* (*H. aalense*, *H. opalinum*), *Erycites* (*E. fallax*), *Tmetoceras* (*T. scissum*), *Hammatoceras* (*H. subinsigne*), *Lytoceras*, *Dumortieria* (*D. Dumortieri*), *Pleydellia*, *Grammoceras*, *Ludwigia*, etc.

Les phénomènes éruptifs furent rares pendant l'Infralias et le Lias, y ayant été seulement observés certains Basaltes mélaphyriques (sphyliques) d'époque pourtant non bien précisée, quelques uns peut-être du commencement du Rhétien.

## JURASSIQUE.

Dans la partie subcentrale des Alpes occidentales la formation jurassique est, relativement, peu développée et assez variée dans sa constitution.

Y prédominent les calcaires grisâtres, souvent un peu clairs, çà et là rosés, plus ou moins compacts, en grosses couches ou bancs, qui deviennent pourtant généralement un peu schisteux vers le bas dans le passage au Lias supérieur; parfois dolomitiques ou même marmoréens.

En certaines régions, p. ex. autour du groupe du M. Blanc, on peut voir les calcaires jurassiques assez typiques, soit compacts magnésiens à Crinoïdes soit schisteux argileux à

Belemnites, passer graduellement, au moyen de Schistes luisants, aux Calcschistes du faciès cristallin, métamorphique, dit *piémontais*.

Les fossiles n'y sont pas rares, mais ordinairement mal conservés, plus ou moins spathisés; rappelons p. ex.: Corallaires (qui constituent parfois des bancs coralligènes), Ellipsactinies, Cri-noïdes, Brachiopodes (parmi lesquels dominent les Rhynchonelles, les Térébratules et les Pygopes), Gastéropodes (*Cryptoplocus*, *Itieria*, *Nerinea*, etc.) et Céphalopodes, soit Ammonites soit Belemnites.

Dans la région circumalpine occidentale au contraire, se reliant aux régions classiques du Jura, les formations jurassiques, essentiellement calcaires-marneuses, arrivent à des extensions et à des développements très notables; elles renferment une immense quantité de fossiles et peuvent par conséquent se subdiviser en plusieurs étages et sous-étages.

Le faciès caractéristique, général, des formations jurassiques, même plus introalpines, est nettement marin, ce qui nous prouve que cette région correspondait alors à un synclinal complexe; en effet nous y voyons très développé le faciès bathyal ou demi-bathyal, plus ou moins vaseux (*faciès dauphinois*), transformé maintenant en marnes calcaires grises sombres, les *Terres noires*, avec de nombreux Céphalopodes. De même étendues et puissantes, on pourrait dire normales, y sont les formations de mer relativement profonde à *Zoophycus* (*Taonurus faciès*), Posidonies, Belemnites et Ammonites. Néanmoins y apparaissent aussi des dépôts qui indiquent la constitution, dès lors, de légers géo-anticlinaux alternants avec les géo-synclinaux dominants; ainsi p. ex. les faciès littoraux à Mytils (le *Wimmis-Kalk*), Corallaires, Brachiopodes et même restes phyllitiques (*Zamites*). Notable est aussi la Brèche-calcaire de certaines régions alpines, p. ex. la *Brèche du Chablais*, l'*Hornfluh-Gestein*, etc.

Une immense dépression marine (la *fosse vocontienne*) existait déjà alors entre le Plateau Central, en grande partie émergé, et la région alpine, si bien que purent s'y déposer des puissantes formations vaseuses.

Ailleurs, spécialement pendant le jurassique inférieur, s'étendit variablement la phase oolithique; d'où le nom de *Terrain oolithique* ou simplement de *Oolithe* (inférieur, supérieur, blanche, ferrugineuse, miliaire, *Grande Oolithe*) dont on se sert comme terme général ou pour plusieurs étages du Jurassique. C'est spécialement dans les zones marines moins profondes que se constituèrent des formations dolomitiques, oolithiques ou non, souvent coralligènes; ainsi dans les régions alpines se développent souvent les différents faciès néritiques.

Dans la région du Jura les formations des différents étages jurassiques présentent les faciès les plus variés, qui selon les fossiles dominants (correspondants à des milieux différents de vie) pourraient s'indiquer comme faciès ammonitique, myacitique, échinodermique, madréporique ou corallin, etc., faciès qui se succèdent ou bien s'entrecroisent, mais qui dans l'ensemble ordinairement s'excluent l'un l'autre.

La série jurassique (moins l'*Aalénien* déjà indiqué dans le Lias) peut, dans ses régions de plus grand développement et de plus grande richesse paléontologique, classiquement se subdiviser en :

**Bajocien** — Calcaires souvent coralligènes ou mieux zoogéniques, parfois bréchoïdes, parfois oolithiques, à Entroques, Corallaires, Brachiopodes, etc., à faciès dans l'ensemble néritique; passant parfois à l'Aalénien. Avec les calcaires zoogéniques, çà et là silicifères (nodules siliceux), alternent souvent des calcaires marneux (*Thonkalk*) et des Schistes marneux bruns (d'où le nom de *Jura brun*) souvent avec de nombreux fossiles, comme: *Cancellophycus* ou *Zoophycus scoparius* (*Dogger* à *Zoophycus*); Zoanthaires (*Isastraea*, *Thamnastraea*, etc.); Echinodermes (*Plagiocidaris*, *Cidaris*, *Rhabdocidaris*, *Stomechinus*, *Pentacrinus*, etc.) formant parfois, en certaines régions du Jura, des vrais

calcaires à Entroques ou calcaire échinodermique (comme le *Calcaire loedonien* de Marcou 1848); Brachiopodes (*Rhynchonella obsoleta*, *Terebratula ventricosa*, *T. sphaeroidalis*); Bivalves (*Ceromya*, *Plagiostoma Hersilia* ou *Lima heteromorpha*, *Trigonia*, *Pecten*, *Lopha*, *Modiola*, *Alectryonia*, *Exogyra*, *Ctenostreon*, etc.); quelques Gastéropodes, comme *Nerinea jurensis* (dans le faciès coralligène du Jura, avec Huitres, Pectens, Zoanthaires, etc.); une quantité extraordinaire de Céphalopodes, spécialement *Phylloceras* (*Ph. Circe*, *P. heterophyllum*) en nombre infini, *Sonninia* (*S. corrugata*, *S. Sowerbyi* [Sowerby-Zone]), *Harpoceras*, *Ludwigia* (*L. Murchisonae* [Murchisonae-Schichten]), *Emileia*, *Stephanoceras Blagdeni* (Blagdeni-Schichten), *St.* (*Coeloceras*) *humphriesianum* (Humphriesianus-Schichten), *Lytoceras* (*L. tripartitum*), *Oppelia*, *Witchellia* (*W. Romani*), *Hastites*, *Hyperlioceras* (*H. Desori*), *Poecilomorphus*, *Sphaeroceras*, *Strigoceras*, *Cosmoceras*, *Patoceras*, *Parkinsonia* (*P. Parkinsoni*), *Perisphinctes*, *Megatheutis garuntiana*, *M. gigantea* et beaucoup de Belemnites variées.

**Bathonien** — Marnes grises ou calcaires marneux, souvent brunâtres ou presque noirs, rarement rougeâtres, çà et là oolithiques; non rarement calcaires dolomitiques (qui pourtant envahissent parfois grande partie du Jurassique inférieur), de l'épaisseur dans l'ensemble même d'une centaine de mètres, qui constituent le *Mandoubien* de Marcou, 1860, pour la région du Jura.

Parmi les fossiles principaux rappelons les nombreux Echinodermes, comme *Eugeniocrinus*, *Millerocrinus*, *Pentacrinus* (formant parfois des calcaires à Entroques), *Cidaris*, *Rhabdocidaris*, *Echinobrissus clunicularis*, *Holactypus depressus* (Marnes à Discoidées ou *Discoideen-Mergel* du Jura), *Clypeus*, *Collyrites ovalis*, *Acrosalenia*, *Stomechinus*; Brachiopodes, comme *Terebratula maxillata* (*Maxillata-Schichten*), *T. sphaeroidalis*, *Rhynchonella varians* [*Varians-Schichten*], *Rh. spinosa*, *Rh. decorata*, *Rh. elegantula*, *Zeilleria*, *Acanthothyris spinosa*, *Eudesia* (*E. cardium*), *Dictyothyris*; Bivalves comme *Lima*, *Helignus*, *Pecten* (*P. exaratus*, *P. silenus*), *Mytilus*, *Modiola*, *Ostrea*, *Alectryonia*, *Exogyra* (*E. sinuata*), *Pycnodonta*, *Pholadomya Murchisoni*, *Ceromya plicata*, *Homomya gibbosa*, etc.; Gastéropodes, comme *Sulcactaeon*, *Cerithiella*, *Nerinea*, *Nerinella*, *Amberleya*, etc.; Céphalopodes, comme *Sphaeroceras*, *Perisphinctes* (*P. Moorei*, *P. arbustigerus*), *Lytoceras* (*L. tripartitum*), *Zigzagoceras*, *Stephanoceras zig-zag*, *Phylloceras*, *Lissoceras*, *Strigoceras*, *Oppelia* (*O. subradiata*, *O. fusca*, *O. aspidoides*), *Parkinsonia* (*P. Parkinsoni*, *P. ferruginea*, d'où les *Parkinsoni-Schichten* ou *Parkinsoniëseoolithe*), *Hecticoceras* (*H. retrocostatum*), *Cosmoceras*, *Morphoceras*, *Hamites*, etc.

En cet horizon, presque plus qu'en les autres du Jurassique, se développent des faciès divers; ainsi, outre celui calcaire-marneux dominant déjà indiqué, sont spécialement caractéristiques certains schistes marneux (*Posidonomyen Schiefer* p. p.) à *Posidonomya* (*P. alpina*, *P. Dalmasi*), *Belemnites hastatus*, *Zoophycus scoparius*, etc., certaines marnes à petites Huitres, c'est-à-dire à *Ostrea* (*Exogyra acuminata* (*Acuminata-Schichten* du Bathonien inférieur ou *Vésulien* de Marcou, 1848) et certaines couches spéciales de type littoral à *Mytilus*, parfois avec Corallaires (*Thamnastraea*, *Convexatraea*, *Astrocoenia*, *Cryptocoenia*, *Montlivaultia*, etc.), *Hemicidaris*, Brachiopodes (*Terebratula*, *Waldheimia*, *Rhynchonella*) et beaucoup de Bivalves (*Modiola*, *Astarte*, *Ostrea*, *Cardium*, etc.); çà et là comparaisent aussi des zones brècheuses, plus ou moins locales.

**Callovien** — Marnes calcaires grises et jaunâtres, ou bien Calcaires, oolithiques, çà et là ferrugineux (la *Oolithe* dite *ferrugineuse*, *Eisenoolith*, p. ex. de Chanaz en Savoie), à *Millerocrinus*, *Collyrites*, *Holactypus*, *Rhynchonella varians*, *Terebratula*, *Waldheimia*, *Zeilleria*, *Pecten*, *Lima*, *Pleurotomaria*, *Proplanulites*, *Macrocephalites macrocephalus* (*Macrocephalus-Schichten*), *Kepplerites calloviensis*, *Hecticoceras* (*H. lunula*, *H. punctatum*), *Lophoceras*, *Acanthoceras*, *Sphaeroceras* (*S. tumidum*), *Phylloceras*, *Ludwigia*, *Perisphinctes* extraordinairement abondants, *Cosmoceras* (*C. Jason*, *C. ornatum*), *Oppelia*, *Peltoceras*, *Pachyceras*, *Cadoceras*, *Cardioceras* (*C. Lamberti*, *C. flexicostatum*), *Stephanoceras*, *Harpoceras*, *Reineckia anceps* (*Anceps-Zone*), *Nautilus*, *Belemnopsis*, etc.

Parfois y apparaissent des schistes marneux (par conséquent souvent sourcifères) à *Posidonomya alpina* (*Posidonomya-Schichten*) ou des plaquettes calcaires à Huîtres, la *Dalle nacrée* ou *Calcaire échinodermique* en plaquettes du Jura, avec *Millericrinus*, *Cyclocrinus*, outre à *Rhynchonella*, *Cardita*, etc.

En quelques zones les fossiles sont extraordinairement abondants, ainsi que l'indiqua p. ex. l'étude de Parona et Bonarelli sur la « Fauna del Calloviano, 1894 » de Chanaz en Savoie, d'où le nom de *Chanazien*.

**Oxfordien** (str. s.) ou **Divesien** (*Alésien* Marcou, 1860) — Horizon marneux ou même un peu argileux, gris brunâtre, essentiellement bathyal, parfois pyritifère (p. ex. les *Schistes du Moe-veran* dans les Hautes Alpes Vaudoises, les *Marnes pyriteuses* du Jura) ou ferrifère (*Chamoisite* ou *Chamoisit* de Chamoison dans la Vallais), peu puissant (pourtant parfois supérieur à 100 m.), dans lequel abondent d'une façon extraordinaire les Ammonites, spécialement: *Cardioceras* (*C. cordatum* [*Cordatus-Zone*], *C. Lamberti*, etc.), *Creniceras* (*Oekotraustes*) *Renggerreri*, *Peltoceras* (*P. arduennense*, *P. Athleta* [*Athleta-Zone*], *P. toucasianum*), *Aspidoceras* (*A. biarmatum* [*Biarmatus-Zone*], *A. perarmatum*), *Lunuloceras*, *Quenstedticeras*, *Cosmoceras*, *Phylloceras* (*Sowerbyceras*) *tortisulcatum*, *Hecticoceras chatillonense*, *Aulacoceras*, *Ochaetoceras* (*O. canaliculatum*), *Disticoceras*, *Lytoceras*, *Pachyceras*, *Harpoceras* (*H. lunula*, *H. punctatum*), *Oppelia*, très nombreux *Perisphinctes* (*P. plicatilis*), *Neumayria*, *Proplanulites*, *Kepplerites*, etc.; en outre *Belemnopsis*, *Belemnites* (*Hibolites*) *hastatus*, etc.

Parfois, spécialement dans le Jura où souvent l'Oxfordien est à nodules siliceux ou calcaires (*Terrain-à-Chailles*), on y trouve aussi des Bivalves comme *Pholadomya* (*Ph. exaltata*), *Pleuromya*, *Goniomya* et des Brachiopodes (*Zeilleria*, *Rhynchonella*, *Terebratula*, *Waldheimia*, etc.), et des Echinodermes, comme *Collyrites friburgensis*, *Balanocrinus pentagonalis* *Millericrinus*, etc.

Non rarement certains fossiles, spécialement les Ammonites, sont pyritisés ou ferrugineux.

**Argovien** (*Oxfordien sup.* pour quelques auteurs) — Assez variablement représenté, soit par des marnes calcaires (Calcaires marneux ou hydrauliques, Calcaires à ciment) à type demi-bathyal, parfois silicifères (d'où le nom de *Terrain à chailles siliceux*, *Argiles à chailles*, etc. de même à type bathyal), soit par des calcaires grumuleux ou noduleux, soit par des calcaires à Spongiaires, le *Spongitiien* (Stallon 1857) ou *Schiltkalk* p. p., *Spongitenkalk* ou *Calcaires spongitiens* ou Argovien inférieur.

Y abondent souvent les fossiles comme: Fucoïdes, Spongites, Zoanthaires (*Zoantharien* d'Etallon 1860 p. p.), Crinoïdes (*Millericrinus*, *Apiocrinus*, *Balanocrinus*, *Eugeniocrinus*); Echinodermes, comme *Diplocidaris*, *Hemicidaris* (*H. crenularis*), grand nombre de *Cidaris*, *Glypticus hieroglyphicus* (d'où le nom de *Glypticien*, Etallon 1861, pour l'Argovien supérieur passant au Séquanien inf.), *Disaster*, *Stomechinus*, *Pseudodiadema*; Brachiopodes (*Rhynchonella arolica*, *Terebratula*, *Glossothyris*, *Dictyothyris*, *Aulacothyris impressa* [Effingon Mayer, 1888], *Megerlea*, *Zeilleria*); Bivalves, comme *Pecten*, *Alecthryonia*, *Opis*, *Myoconcha*, *Modiola*, *Trigonia clavellata*, *Thracia*, *Lima*, *Pinna*, *Pleuromya*, *Pholadomya* (*Marnes à Pholadomyes* ou *Pholadomyen* d'Etallon 1861, ou Argovien supérieur); Gastéropodes (*Pleurotomaria*, *Bourguetia*, *Pseudomelania*, etc.); Céphalopodes, comme *Phylloceras* (*Sowerbyceras*) *tortisulcatum*, *Oppelia*, *Haploceras erato*, *Neumayria*, *Peltoceras transversarium* (*Transversarius-Schichten* ou *Birmensdorfin* Mayer, 1881, de l'Argovien inférieur passant à l'Oxfordien), *Aspidoceras*, *Ochetoceras* (*O. Henrici*, *O. canaliculatum*), *Oppelia arolica*, *Creniceras*, *Cardioceras*, *Harpoceras* (*H. canaliculatum*, *H. subclausum*), *Perisphinctes* (*P. Martelli* [*Martelli-Zone*], *P. polygiratus*, *P. colubrinus*, *P. plicatilis*), *Hibolites*, *Duvalia Demortieri*, etc.

Le **Rauracien** est un horizon peu important, réuni souvent à l'Argovien dont quelques auteurs voudraient constituer seulement le type récifal développé dans la région du Jura; il est spécialement représenté par des marnes et calcaires alternés en petites couches, parfois par des cal-

caires coralligènes. Y sont en particulier caractéristiques quelques Ammonites, comme *Perisphinctes virgulatus*, *Peltoceras bicristatum* (*P. bimammatum*), *Ochetoceras maranthianum*, etc.

Le **Séquanien** est un horizon à faciès quelque peu variable; mais il est constitué, spécialement par des calcaires gris-jaunâtres or compacts sublithographiques, or en plaquettes avec Ammonites, or échinodermiques, or coralligènes à Zoanthaires, or oolithiques (*Oolithe blanche*), or marneux à Gastéropodes et Bivalves.

L'ancien nom de *Corallien* de Thurmann 1832 et d'Orbigny 1845 (comme le *Zoantharien* de Etallon) correspond essentiellement à un faciès récifal, coralligène, souvent oolithique, qui apparaît en plusieurs horizons du Jurassique supérieur, bien qu'étant spécialement fréquent dans le Séquanien.

Parmi les fossiles les plus communs rappelons les Echinodermes, comme *Cidaris florigemma*, *Diplocidaris*, *Acrocidaris*, *Hemicidaris crenularis* (*Crenularis-Schichten*), *H. strammonium*, *Rhabdocidaris caprimontana* (*Caprimontana-Schichten*), *Glypticus*, *Stomechinus perlatus*, *Pseudodiadema hemisphaericus*, *Pygaster dilatatus*, *Pygurus Blumembachi*, *Apiocrinus Meriani*; Brachiopodes, comme *Waldheimia Moeschi*, *Zeilleria humeralis*, *Rhynchonella pinguis*, *Terebratula subsella*, *Terebratulina*, etc.; Bivalves, comme *Astarte supracorallina* (d'où le nom d'*Astartien* Thurmann, 1852), *Pterocardium*, *Corbis*, *Diceras arietinum* (*Dicératien* Etallon, 1857, ou *Corallien blanc*) dans les dépôts coralligènes du Jura, *Lima*, *Arca*, *Trigonia*, *Opis*, *Mytilus*, *Terquemia*, *Pholadomya* (*Ph. paucicostata*); Gastéropodes des genres *Nerinea*, *Ptygmatis* (*Pt. bruntutana*), *Petersia*, *Neritopsis*, *Delphinula*, *Pseudomelania*, *Cerithium*, *Trochus*, *Turbo*, *Purpuroidea*, *Natica hemisphaerica* et Ammonites comme: *Aspidoceras* (*A. microplum*) et spécialement *Perisphinctes* (*P. polyplocus* [*Polyplocus-Zone*], *P. discobolus*, *P. Roberti*, *P. Lothari*, *P. Achilles*, *P. Tiziani*), *Peltoceras*, *Ochetoceras*, *Simoceras*, *Sutneria platinotus*, *Neumayria*, *Oppelia* (*O. tenuilobata*), *Lissoceras*, *Simoceras*, *Aptychus* (*A. latus*) d'où le nom *Aptychenkalk* p. p.; en outre *Belemnites*, *Belemnopsis*, etc.

Le **Kimmeridgien** est un horizon représenté de même, outre que par des calcaires marneux, spécialement par des calcaires massifs, compacts, sublithographiques, blanchâtres, parfois dolomitiques (*Calcaire ruiniforme*, *Hochgebirge-Kalk* p. p.). Bien que ces calcaires apparaissent de nature zoogénique, les fossiles bien conservés y sont rares, mais on en rencontre parfois dans des couches spéciales, ainsi: Polypiers; *Cidaris*, *Hemicidaris*, *Pseudocidaris*, *Pseudodiadema*; *Pygope janitor*, *Terebratula* (*T. insignis*, *T. subsella*), *Rhynchonella pinguis*; *Ecogyra virgula* en certaines marnes (d'où le nom de *Virgulien* ou *Virgula-Stufe* Thurmann, 1852), *Thracia*, *Pecten*, *Pholadomya Protei*, *Mytilus Trigonia*, *Lima*, *Corbula*, *Ceromya*, *Astarte*, etc.; *Harpagodes* ou *Pteroceras* (d'où le nom de *Ptérocérien* ou *Strombien* Thurmann, 1852); plusieurs Nérinées, avec Dicératides (*Dicératien* Etallon p. p.) en bancs coralligènes, *Actaeon*, *Natica*, et spécialement beaucoup de Céphalopodes des genres *Phylloceras* (*Sowerbyceras*) *Loryi*, *Lissoceras*, *Stephanoceras*, *Simoceras*, *Neumayria*, *Aspidoceras* (*A. inflatum* ou *acanthicum* [d'où les *Acanthicus-Schichten*], *A. longispinum*), *Pachyceras*, *Oppelia* (*O. tenuilobata*, *O. lithographica*), *Perisphinctes*, *Waagenia* (*W. Beckei*), *Hoplites*, *Holcostephanus*, *Reineckeia* (*R. pseudo-mutabilis*), *Nautilus*, etc.

Dans le Jura méridional comparaissent parfois, dans cet horizon, de très intéressantes couches calcaires à Poissons (*Spathobatis*, *Pycnodus*, *Thrissops*, etc.) et Reptiles (*Idiochelys*, *Hydropelta*, *Sauranodon*, *Atoposaurus*, *Crocodylimus*, *Pterodactylus*, etc.).

Le **Portlandien** ou **Titonique** est un des horizons jurassiques plus importants par le développement et la variété de faciès, comme souvent aussi par la richesse en fossiles.

Tandis que dans le faciès métamorphique du Mésozoïque c'est parfois à cet étage qu'apparaissent des schistes caractéristiques à Radiolaires (les *Radiolarites*) à type bathyal, en général

au contraire dans le faciès normal y prédominent d'une façon absolue les calcaires grisâtres ou blanchâtres, rarement un peu rosés, parfois subsaccharoïdes, marmoréens, parfois compacts, sublitographiques, parfois oolithiques, çà et là brècheïdes (*Brèche corallienne*, *Pseudobrèche*, *Brèche de Lemenc* près de Chambéry), parfois rognonneux, ordinairement en grand bancs, souvent un peu dolomitiques (faciès dolomitique qui parfois arrive à une grande puissance, c'est-à-dire de plusieurs centaines de mètres et envahit même toute la formation titonique). Souvent le Portlandien est à type récifal, coralligène ou variablement zoogène (à Polypiers, Briozoaires, Dicératides, Nérinées (d'où le *Nérinéen*, *Calcaires à Nérinées*, *Nérinéen-Kalk*), constituant des masses notables calcaires ou rupestres (*Hochgebirgskalk*), qui parfois représentent tout le Jurassique supérieur (l. s.) ou *Jura blanc*; renommé est p. ex. le *Calcaire de l'Echaillon* (Isère) pour sa large exploitation.

Rappelons parmi les fossiles plus communs: Algues calcaires Syphonées (*Calpionella alpina*); Globigérines et autres Foraminifères variés; spicules de Spongiaires; Hydrozoaires (*Ellipsactinia*, *Sphaeractinia*); Anthozoaires (*Thamnastraea*, *Calamophyllia*, *Dermoseris*, *Latimeandra*, *Thecosmilia*, *Stylosmilia*, *Stylina*); Crinoïdes (*Apiocrinus*, *Balanocrinus*, *Eugeniocrinus*, *Solanocrinus*); Echinidés, comme *Cidaris* (*C. glandifera*), *Acrocidaris*, *Pseudocidaris*, *Rhabdocidaris*, *Diplocidaris*, *Glypticus*, *Collyrites*, etc.; Briozoaires; Brachiopodes, comme *Rhynchonella* (*Rh. astieriana*), *Zeilleria*, *Glossothyris*, *Dictyothyris*, *Pygope diphya* (d'où le *Diphya-Kalk*), *P. janitor* (*Janitor-Kalk*), *Terebratula moravica*, etc.; Bivalves, comme *Matheronia*, *Diceras* (*D. Beyrichi*), *Pterocardia*, *Pecten*, *Ctenostreon*, *Cyprina*, *Trigonia*, *Exogyra virgula*, *Alectryonia*; Gastéropodes, essentiellement Nérinées, des genres *Nerinaea*, *Ithieria*, *Ptygmatis*, *Cryptoplocus*, ainsi que Cérithides, Pleurotomaires, Naticides (*Natica Marcoui*) et parfois aussi beaucoup d'Ammonites, comme *Lytoceras*, *Sowerbycera*, *Simoceras*, *Heterodicerias* (*H. Luci*), *Haploceras* (*H. titonicum*), *Spiticeras*, *Phylloceras* (*Ph. semisulcatum*), *Lissoceras*, *Perisphinctes* (*P. transitorius*, *P. contiguus*, *P. abscissus*), *Neumayria*, *Stephanoceras*, *Haploceras*, *Waagenia*, *Reineckeia*, *Holcostephanus*, très nombreux *Hoplites* (*Berriasiella*) comme *H. callisto*, *H. privasensis*, etc., *Aspidoceras*, *Oppelia lithographica*, *Aptychus* (*A. Beyrichi*, *A. punctatus*), ainsi que plusieurs Belemnites des genres *Belemnopsis* (*B. semisulcatus*), *Duvalia* (*D. lata*), etc.

Pourtant vers le haut, souvent avec transition graduelle au Berriasien superposé, en certaines régions, spécialement du Jura, la formation portlandienne prend un faciès lagunaire, estuarien et même limnal, dans l'ensemble saumâtre (dit *Purbeckien* Brongniart 1829, *Dubisien* Desor 1859) avec gypses, cargneules, parfois aussi dolomies et couches spéciales marneuses-oolithiques riches en Mollusques marins, comme *Gervilleia*, *Nucula*, *Cyprina*, *Astarte*, *Cerithium*, *Turritella*, etc.; souvent entrecroisés avec des couches limnales ou nymphéennes marneuses à Mollusques lacustres ou marécageux, comme *Cyrena* (*Myodon*) *rugosa*, *Cardium* (*Protocardium*), *Unio*, *Corbula inflexa*, *Valvata*, *Hydrobia*, *Megalomastoma*, *Stenogyra*, *Lioplax*, *Neritina*, *Bithynia*, *Lymnaea*, *Potamides*, *Physa wealdiana*, *Planorbis Loryi*, *Succinea*, *Carychium*, outre à des restes phyllitiques (*Otozamites*, etc.), fruits de *Chara Jaccardi*, etc.

Ces formations plus ou moins continentales et les transgressions correspondantes indiquent un mouvement orogénique assez étendu d'émersion justifiant la division faite en ce point entre le Jurassique et le Crétacique.

Dans la région insubrienne des Alpes lombardes la série jurassique est au contraire bien plus simple et beaucoup plus mince, étant constituée en bonne partie par des schistes caractéristiques, rougeâtres, plus ou moins siliceux, avec intercalation de couches calcaires, formation dite *Rosso ad Aptici* (*Aptychen-Schichten*) par le fait qu'y abondent les *Aptychus* (*A. latus*, *A. obliquus*, etc.) parmi les schistes, tandis que certains nodules calcaires-siliceux sont parfois remplis de Radiolaires

(*Radiolarien-Hornstein*). Il s'agit d'une série compréhensive correspondant à un lent et tranquille dépôt pélagal, subabyssal et par conséquent peu puissant.

Vers le haut de la série insubrienne, à constituer le Jurassique supérieur ou *Jura blanc* ou Titonique (l. s.), se développe un calcaire marneux blanchâtre à graine fine et cassure conchoïdale, parfois moiré, souvent avec nodules siliceux, dit *Majolica* (pars inf.); il présente çà et là quelques fossiles comme *Phylloceras*, *Perisphinctes*, *Aspidoceras*, *Simoceras*, *Holcostephanus*, nombreuses Belemnites (*Belemnopsis*, *Duvalia*), outre à *Pygope* (*P. diphya*, *P. euganeensis*, *P. nucleata*, etc.), *Collyrites*, divers Foraminifères et *Calpionella alpina*. Ce calcaire *Majolica* forme un passage graduel du Jurassique supérieur au Crétacé inférieur.

## CRÉTACÉ.

Les formations crétaciques sont presque exclusives de la partie externe des Alpes occidentales prop. d., mais néanmoins elles se développent extraordinairement formant une grande, complexe et puissante ceinture, qui étreint la chaîne alpine de tous les côtés avec pourtant une ampleur et une régularité plus grandes vers l'ouest, car à l'est elles sont en grande partie masquées par les dépôts tertiaires et quaternaires du Bassin du Pô.

Tandis que la grande époque jurassique fut dans l'ensemble de dépôt marin tranquille, pendant l'époque crétacique se vérifièrent plusieurs notables diastrophismes, qui provoquèrent des fortes variations lithologiques, des lacunes, des transgressions, etc.

La série crétacique est représentée spécialement par des calcaires plus ou moins marneux, alternés par endroits avec des petites couches arénacées, au teint ordinairement grisâtre, parfois gris-verdâtre.

En outre dans plusieurs régions (p. ex. dans la haute vallée de la Roia près de Tende) le Crétacé est partiellement constitué par des argiloschistes calcaires gris-brunâtres (*Pseudo-Flysch*) plus ou moins lustrés, souvent très plissotés et qui dans l'ensemble rappellent un peu le faciès métamorphique que prend ce terrain dans l'Appennin septentrional.

Sur des régions alpines étendues la formation crétacique, souvent réduite à des lambeaux épars, peut se subdiviser presque seulement en deux horizons principaux, savoir:

**Crétacé inférieur** ou **Infracrétacé**, formé par des calcaires plus ou moins schisteux, parfois un peu glauconitiques ou bien gréseux, grisâtres ou brunâtres, parfois marmoréens, avec peu de fossiles, comme: *Discoidea*, *Toxaster*, *Térébratules*, *Nérinées*, *Nautilus*, *Acanthoceras*, *Desmoceras*, *Phylloceras*, *Lytoceras*, *Holcostephanus*, *Hoplites*, beaucoup de *Belemnites*, *Duvalia*, etc.

**Crétacé supérieur** ou **Crétacé** pr. d. (souvent très puissant) à calcaires marneux en couches plus ou moins minces, parfois un peu gréseux, parfois au contraire schisteux, grisâtres, souvent ondulés et plissotés, çà et là avec des rognons de Marcassite, avec de rares fossiles, comme: Foraminifères, *Ananchytes*, *Micraster*, *Echinocorys*, *Inocérames*, de très rares *Rudistes*, *Cerithium*, *Actaeonella*, *Acanthoceras*, *Mortonoceras*, *Schloembachia*, *Desmoceras*, etc.

Au contraire dans la grande ceinture crétacique circumalpine occidentale, s'étendant aussi à la grande région du Jura, la série crétacique se présente bien développée et presque complète dans ses étages principaux, c'est-à-dire:

Le CRÉTACÉ INFÉRIEUR OU INFRACRÉTACÉ OU PALÉOCRÉTACÉ, qui est à faciès quelque peu variable. Dans certaines régions circumalpines ou alpines (alors encore à l'état en partie de géosynclinales) y est fréquent le faciès vaseux ou marneux (*provençal* ou *dauphinois*), pélagique ou sub-bathyal

à Ammonites, Aptyques, Belemnites, Limes, Ptéropodes, etc., qui passe pourtant souvent au faciès mixte ou au faciès néritique à Spatangides, Ostricacées, etc. Ou bien y comparait un faciès calcaire zoogénique, qui est le dominant sur de vastes régions, p. ex. dans la Jura, d'où le nom de *faciès jurassien* ou aussi *urgonien* (l. s.), *Schrattenkalk*, *Caprotinenkalk*, etc.; ce faciès zoogénique se développe spécialement dans l'Infracrétacé sup. du Barrémien jusqu'à l'Aptien.

Dans la dépression *vocontienne*, entre les Alpes et le Plateau, Central, qui s'est encore bien conservé pendant l'Infracrétacé, prédominent les marnes calcaires à type bathyal (ou à *faciès méditerranéen*) qui touchent une puissance de même un à deux mille mètres.

Où la série est plus complète et fossilifère on peut y distinguer les horizons géologiques suivants.

**Berriasien ou Infravalangien** — C'est un horizon de passage entre le Jurassique et le Crétacé; on pourrait le réunir au Valangien. Il est représenté par des marnes calcaires passant souvent à des calcaires marneux et même à de vrais calcaires, de l'épaisseur de quelques dizaines jusqu'à 200 mètres, suivant les régions. A y rapporter sont les fameux Calcaires à ciment de la Porte-de-France. La formation comprend une faune de mer un peu profonde, c'est-à-dire: *Pygope triangulus*, *P. diphyoides* (*Diphyoides-Schichten*), *Rhynchonella* (*Rh. contracta*), Huitres, Ptéropodes (*Marnes à Ptéropodes*), la caractéristique *Natica* (*Ampullina*) *léviathan* (= *Strombus Sautieri*) constituant les *Calcaires à Léviathan*, *Nérinaea* (*N. gigantea*), *Hoplites* très abondants (*H. Boissieri*, *H. Malbosi*, *H. consanguineus*, *H. rarefurcatus*, *H. occitanicus*), *Spiticeras*, *Holcostephanus* (*H. obliquenodosus*), *Acanthoceras* (*A. Euthymi*), *Phylloceras* (*Ph. semisulcatum*), *Lissoceras* (*L. Grasi*), *Lytoceras* (*L. Liebigi*), *Aptychus* très fréquents (*Aptychen Schiefer* p. p.), beaucoup de *Duvalia* (*D. conica*), *Hibolites*, etc.

**Valangien** — Série marneuse-calcaire (parfois calcaire-silicifère) ayant même plus de 100 ou 200 mètres d'épaisseur, blanchâtre ou gris bleuâtre, rarement rougeâtre (limonitique aussi), souvent schisteuse, parfois à Ammonites pyriteuses. Dans les régions circumalpines prédomine souvent le faciès *vaseux pélagique* (*provençal*), mais il y apparaît parfois aussi le faciès *littoral* (*jurassien*), et parfois le type mixte des dépôts néritiques.

Dans les dépôts valanginiens sont abondants les Spongiaires, les *Millericrinus* (*M. valangiensis*), les Echinidés (*Cidaris*, *Rhabdocidaris*, *Acrocidaris*, *Cyphosoma*, *Pseudodiadema*, *Toxaster* (*T. complanatus*, *T. granosus*), *Pygorhynchus*, *Pygurus* (*P. rostratus*), *Acrosalenia*, *Tiaromma*, *Echinospatangus* (*E. cordiformis*), *Dysaster*, *Cardiopelta*, *Phyllobrissus*, *Holaster*, *Stomechinus*; beaucoup de Brachiopodes, comme *Terebratula valdensis*, *Pygope* (*P. diphyodes*, d'où le *Diphyoides-Kalk*), *Terebratella*, *Magellania*, *Zeilleria*, *Eudesia*, grand nombre de *Rhynchonella* (*Rh. irregularis*, *Rh. valangiensis*), *Thecidea*, etc.; plusieurs Gastéropodes, comme *Natica*, *Nérinaea*, *Neithea*, *Pterocera* (*P. Jaccardi*, *P. Desori*), *Aporrhais*, *Pleutomaria*, *Turbo*, etc.; nombre de Bivalves, spécialement *Trigonia* (*T. caudata*), *Mytilus*, *Ostrea*, *Arca*, *Pholadomya elongata*, *Pecten*, *Opis*, *Cyprina*, *Astarte*, *Valletia*, *Monopleura* (dans le Jura), *Lima*, comme aussi *Lithodomus*, *Cardium*, *Corbis*, *Isocardia*, *Exogyra* (*E. Couloni*), *Alectryonia* (*A. triangularis*, *A. rectangularis* = *Ostrea macroptera*), etc. Très abondants les Céphalopodes, spécialement: *Acanthodiscus*, *Holcostephanus* (*H. marginatus*, *H. Astieri*), *Phylloceras* (*Ph. semisulcatum*, *Ph. Tethys*), *Desmoceras*, *Spiticeras*, *Hoplites* (spécialement des sous-genres *Thurmannia*, *Neocomites*, *Thurmannites* et *Kilianella*), comme *H. occitanus*, *H. pexiptycus*, *H. callisto*, *H. neocomiensis*, *H. Boissieri*, *H. roubaudianus*, *H. Thurmanni*, etc., *Berriasiella*, *Lyssoceras* (*L. grasianum*), *Garnieria*, *Saynoceras* (*S. verrucosum*), *Haploceras* (*H. Grasi*), *Oxynticeras*, *Crioceras*; en outre *Hamites*, *Nautilus*; *Duvalia* très abondantes (*D. lata* dans les *Marnes pyritifères à Latus*), *D. dilatata*, *D. Emerici*, *Belemnopsis*; *Aptychus* (*A. Diday*, *A. Beyrichi*) nombreux parfois au point de constituer de vrais *Aptychen-schiefer* (p. p.) dans les Alpes suisses orientales. Dans certaines couches on rencontre aussi des restes

de Crustacés (*Glyphea*, *Palaeastacus*, *Haploparia*, etc.) et des dents de Poissons, comme *Strophodus*, *Odontaspis*, *Sphaerodus*, *Pycnodus*, etc.

Çà et là y comparait aussi un faciès plus calcaire, zoogénique, plus ou moins coralligène, récifal, par endroits oolithique, à Chamacées, Rudistes, etc. (p. ex. les *Calcaires à Valletia* de la Savoie).

**Hauterivien** — Y prédominent les marnes grisâtres ou les marnes bleues et les calcaires marneux gris, jaunâtres ou brunâtres, parfois glauconieux ou phosphatés; très rares au contraire y sont les zones de calcaires plus ou moins zoogéniques, même localement oolithiques, gris-jaunâtres, comme les *Stockhorn-Kalk* (Studer, 1834). Apparaissent aussi par endroits des calcaires spéciaux silicifères (*Kieselkalk*) p. ex. les *Witznauerkalk*.

L'épaisseur est très variable, de 30 à 300 mètres environ.

C'est spécialement parmi les marnes que nous trouvons souvent de nombreux fossiles.

Parmi ceux-ci sont parfois très abondants les Echinodermes (*Brèches à Echinodermes*, *Calcaires à Toxaster*), entre lesquels prédominent les genres *Toxaster* (*T. retusus* = *T. complanatus* = *Echinospatagus cordiformis*) formant parfois de vraies zones à Spatangides, *Pseudodiadema*, *Holectypus*, *Pygurus*, *Dysaster* (*D. subelongatus*), *Holaster intermedius*, *Nucleopygus*, *Phyllobrissus*, *Cidaris* (*C. punctatissima*), *Eugeniocrinus*, etc.; beaucoup de Brachiopodes, comme *Eudesia semistriata*, *Waldheimia*, *Rhynchonella* (*Rh. peregrina*, *Rh. Dolfussi*, *Rh. multiformis*), grandes Térébratules (*T. acuta*, *T. sella*); nombre de Bivalves, comme *Lima*, *Pholadomya* (*Ph. gigantea*, *Ph. elongata*), *Hinnites*, *Alectryonia* (*A. rectangularis*), *Exogyra* (*E. Couloni* [*Couloni-Schichten*], *E. sinuata*), *Arca*, *Nucula*, *Trigonia*, *Corbis*, *Astarte*, *Venus*, *Pleuromya*, *Janira*, *Pecten* (*P. Archiaci*), *Cyprina*, *Cardium*, *Panopaea* (*P. neocomiensis*); plusieurs Gastéropodes, comme *Natica*, *Pterocera*, *Neithea*, *Pleurotomaria*, etc. Très abondants les Céphalopodes, spécialement dans les dépôts à faciès pélagal (*Cephalopoden-Gründsand*, *Néocomien à Céphalopodes* ou *Néocomien alpin* p. p.), comme *Cymatoceras*, *Holcostephanus* (*Astieria*) *Astieri* [*Marnes à Astieri*], *H. hispanicus*, très nombreux *Hoplites* (spécialement des sous-genres *Parahoplites*, *Neocomites*, *Leopoldia*, *Acanthodiscus*, etc.), comme *H. leopoldinus*, *H. cruasensis*, *H. radiatus*, *H. angulicostatus*, *H. castellanensis*, *H. regalis*, *H. salevensis*, etc.; *Polyptychites*, *Schloenbachia* (*S. cultrata*), *Holcodiscus* (*H. incertus*, *H. intermedius*), *Lyssoceras*, *Saynella*, *Sonneratia*, *Oppelia*, *Phylloceras*, *Lytoceras*, *Coelopoceras*, *Desmoceras Saini*, *Hamulina*, *Crioceras* (*C. Duvali*), *Nautilus* (*N. pseudoelegans*), *Aptycus*, *Duvalia* (*D. dilatata*, *D. Emerici*), *Belemnopsis*, *Belemnites* (*Hybolites*) *jaculum* (= *B. pistilliformis* p. p.) (*Belemniten-Kalk* de Moesch); de plus *Serpula antiquata*, dents de *Pycnodus*, etc.

**Barrémien** — Horizon qui se présente avec deux faciès principaux, c'est-à-dire souvent à type semibathyal ou pélagique, schisteux (p. ex. *Schistes du Môle*, zone typique de Barrême dans les Basses Alpes), plus ou moins marneux-calcaire, parfois silicifère, avec de très abondants Céphalopodes des genres *Desmoceras* (*D. difficile*), *Phylloceras* (*Ph. infundibulum*), *Holcodiscus* (*H. fallax*, *H. perezianus*), *Lytoceras*, *Parahoplites* (*P. cruasensis*), *Ptychoceras*, *Silesites* (*S. Seranonis*), *Costidiscus* (*C. cruasensis*, *C. recticostatus*), *Pulchellia* (*P. compressissima*), *Macroscaphites* (*M. Yvani*), *Heteroceras* (*H. Astieri*), *Hamulina*, *Crioceras* (*C. Emerici*, d'où les *Crioceras-Schichten* p. p.), *Ancyloceras*; *Aptychus*; beaucoup de *Belemnites*, spécialement *Duvalia* (*D. Grasi*) et *Hybolites*. Y abondent en outre: *Orbitolina*, *Echinospatagus Collegnoi*, *Toxaster* (*T. retusus*), *Heteraster* (*H. oblongus*), *Pygaulus* (*P. depressus*), *Collyrites*, *Cidaris hirsuta*; *Rhynchonella*, *Zeilleria*; *Astarte*, *Exogyra* (*E. Couloni*, *E. sinuata*), *Alectryonia*, *Trigonia*, *Panopaea*, *Lucina*, *Pinna*; *Pterocera Pelagi*, *Cerithium*, etc.

Ailleurs au contraire, comme dans la basse Provence et à nord de la Drôme vers le Jura, etc. on vérifie, préférablement dans la partie supérieure, une sorte d'invasion de calcaires zoogéniques (à Foraminifères, Entroques, Requienies, Caprinides, Toucasies, etc.) compacts, blanchâtres, plus ou moins dolomitiques, souvent saccharoïdes, en grand bancs, constituant le caractère *Urgonien*

(*pars inf.*), la 1<sup>e</sup> zone de *Rudistes* de d'Orbigny, les *Calcaires à Caprotines*, le *Schrattenkalk inf.*, le *Calcaire à Requienies*, etc. Cette formation *urgonienne*, qui fut déjà considérée comme un étage à part, est seulement un faciès spécial, récifal, qui, tout en descendant parfois jusqu'au Jurassique, plus souvent s'étend à tout l'Infracrétacique supérieur touchant même plusieurs centaines de mètres d'épaisseur, ce qui donne naissance à un paysage spécial rocailleux, désertique, aride et par ailleurs à de grosses sources vauclusiennes dans sa partie inférieure.

Dans cette formation calcaire, qui dérive essentiellement de la solidification de vases à Algues calcaires, Miliolites, Orbitolines, fragments de Polypiers, etc., abondent, en en constituant même la plus grande partie, plusieurs fossiles, comme: *Diplopora Muhlbergi*; *Miliolites*, *Orbitolina* (*O. conoidea*, *O. discoidea*, *O. lenticularis*, *O. intermedia*); quelques Crinoïdes; *Cidaris*, *Hemicidaris*, *Pseudocidaris*, (*P. clunifera*), *Bathyopygus*, *Pygaulus* (*P. depressus*, *P. Desmoulinsi*), *Pygorhynchus*, *Goniopygus peltatus*, *Pygurus productus*, *Heteraster* ou *Enallaster* (*E. Couloni*, *E. oblongus*), *Toxaster granosus*; *Terebratula*, *Eudesia*, *Rhynchonella* (*Rh. lata*, *Rh. irregularis*); *Corbis*, *Pecten*, *Requienia* (*R. ammonia*), *Agria*, *Matheronia* (*M. Virginiae*), *Toucasia* (*T. carinata*), *Praecaprina*, *Pachytraga*, *Sphaerulites* ou *Radiolites Blumenbachi*; *Nerinaea*, *Cryptoplocus*, *Itieria*, *Neithea*, *Harpagodes* (*Pterocera*) *Pelagi*, *H. Beaumonti*, *Turbo*, *Trochus*, *Pileolus*, *Nerita*; *Lytoceras*, *Costidiscus*, *Ancyloceras*, etc. etc.

Ce sont les recherches spécialement de ces dernières dizaines d'années, dues à l'œuvre de Kilian, Leehhardt, Paquier, Sayn, Roman, etc. qui ont démontré que le faciès calcaire, zoogénique (à Foraminifères et Pachyodontes en prévalence), dit *Urgonien*, avec les relatives intercalations marneuses à Orbitolines, affecte parfois le Barrémien, parfois l'Aptien inférieur (rarement l'Aptien sup.), parfois les deux horizons. Cette formation *urgonienne* entoure presque de trois côtés la grande et profonde fosse *vocontienne* (dans les parties moyenne et orientale de laquelle se déposèrent au contraire les vases bathyales à Céphalopodes) s'étendant au Nord dans le Vercors (l. s.), dans le Dauphiné, dans les Hautes Alpes calcaires et dans le Jura, à l'Ouest dans le Vivarais, et au Sud dans la Provence. Naturellement il existe des passages latéraux entre le faciès calcaire *urgonien* et le marneux à Céphalopodes.

**Aptien** — Horizon géologique quelque peu variable; souvent marneux (*Apt-Mergel*), brunâtre ou jaunâtre (plus rarement argileux, rutilant), avec très grand nombre d'Ammonites (non rarement pyriteuses); parfois marneux-calcaire à Orbitolines, *Pterocera*, *Ancyloceras Matheroni*, *Douvilleiceras*, *Parahoplites*, etc., constituant le *Rhodanien* (Renevier 1854) ou *Bédoulien* (Toucas 1888) ou *Calcaire de la Bédoule* (Var), dont quelques auteurs voudraient faire un étage à part ou un sous-étage inférieur de l'Aptien, en formant un sous-étage supérieur marneux à Ammonites souvent pyrilités (*Phylloceras*, *Hoplites*, *Lytoceras*, *Douvilleiceras*, *Acanthoceras*, *Puzosia*, *Macroscephites*, etc.) ou *Gargasien* (Kilian 1887) (Marnes de Gargas, près Apt). Parfois l'Aptien est aussi gréseux à Echinides, Brachiopodes, Bivalves, comme p. ex. les *Grès durs* à *Exogyra aquila*.

Comme dans le Barrémien, de même dans l'Aptien on voit (spécialement dans la Basse Provence, dans le Jura, etc.) que par des passages latéraux, même rapides, les formations marneuses normales sont remplacées par des calcaires massifs, compacts, zoogéniques, à type récifal (*Urgonien sup.* ou *Schrattenkalk sup.* ou *Caprotinen-Kalk sup.* à Toucasies, Rudistes, Polypiers, etc.), souvent oolithiques, quelque peu dolomitiques, remplis de débris de Coquilles, Polypiers, Foraminifères, Algues calcaires, etc. avec nombre de Nérinées, Requienies, *Matheronia*, *Toucasia* (*T. carinata*), *Radiolites*, Huîtres, *Heteraster*, *Pygaulus*, *Cidaris*, *Orbitolina*, etc.

Les fossiles principaux de l'Aptien sont: Spongiaires (Pharetrones); *Orbitolina*, comme *O. lenticularis*, *O. concava* (*Orbitolinen-Kalk* ou *Orbitulina-Schichten*); *Toxaster* (*Echinospatagus*) *Collegnoi*, *Miotoxaster*, *Pygaulus* (*P. depressus*), *Pseudodiadema*, *Cidaris*, *Phyllobrissus*, *Epiaster*, *Peltastes*, *Salenia*,

*Heteraster* (*H. Couloni*, *H. oblongus*), *Echinobrissus*, *Enallaster*, *Nucleolites*, *Goniopygus*; *Rhynchonella*, (*R. lata*, *R. Gibbsi*, d'ou les *Gibbsi-Schichten*), *Zeilleria*, *Terebratula Dutemplei*; Bryozoaires; *Sphaera corrugata*, *Alectryonia macroptera*, *Exogyra* (*E. aquila*), *Plicatula* (*P. radiola*, *P. placunea*), *Arca*, *Cyprina* (*C. angulata*), *Gervillia alpina*, *Janira Morrissi*, *Pecten Dutemplei*, *Mytilus Cuvieri*, *Trigonia* (*T. rudis*), *Pholadomya*, *Ethra*, *Agria*, *Requienia* (*R. Lonsdalei*), *Matheronia* (*M. Virginiae*), *Caprina*, *Toucasia* (*T. carinata*), *Polyconites*, *Monopleura*, *Gyropleura*, *Horiopleura*, *Pachytraga paradoxa* (*Sphaerulites paradoxus*); *Nerinaea*, *Pterocera* (*P. Pelagi*, *P. Desori*, [Calcaires à Pterocères]), *Aporrhais*, *Natica*, *Tylostoma*, *Cerithium*, *Bulla*; *Hoplites*, comme: *Neocomites furcatus*, *Parahoplites Deshayesi*, etc., *Douvilleiceras* (*D. subnodosocostatum*, *D. Buxtorfi*, *D. Martini*), *Puzosia* (*P. Emerici*), *Toxoceras*, *Acanthoceras* (*A. Cornueli*), *Lytoceras* (*L. Duvali*, *L. Jauberti*), *Desmoceras*, *Macroscaphites*, *Ancyloceras* (*A. Matheroni*), *Phylloceras* (*Ph. Guettardi*), *Oppelia*, (*O. Nisus*) (*Marnes à Nisus*), *Tetragonites*, *Gaudryceras*, *Costidiscus*, *Crioceras*, *Scaphites*; *Actinocamax fusiformis* ou *Belemnites* (*Belemnopsis*) *semicanaliculatus*, *Duvalia* (*D. Grasi*), etc.

**Albien** (ou *Gault*) — Horizon mince, même à puissance de seulement quelques mètres, particulièrement de marnes plus ou moins schisteuses, grises-jaunâtres ou brunes, parfois avec grès glauconifères, grès-verdâtres (*Grès verts* de la Perte du Rhône), çà et là avec rognons phosphatés, ou même par endroits à sables rougeâtres, plus rarement avec calcaires.

Il est souvent très fossilifère; je rappelle p. ex. les riches faunes du Niçois et spécialement d'Escraignes, les différentes régions du Gênevais, etc. Y appartiennent aussi de spéciales formations calcaires à Entroques (*Calcaires lumaquelles* de Lory) riches en Echinides, Bryozoaires, Brachiopodes, etc.

Parmi les fossiles principaux je rappellerai: *Orbitolina*; *Discoidea* (*D. decorata*, *D. conica*), *Holaster*, *Echinoconus*, *Conulus*, *Cidaris*, *Hemiasster*, *Pseudodiadema*; *Terebratula* (*T. Dutemplei*, *T. arduennensis*), *Rhynchonella sulcata*, *Terebrirostra alpina*; *Cyprina*, *Gervillia*, *Trigonia*, *Myopsis*, *Thracia*, *Cardita*, *Arca*, *Inoceramus* (*I. concentricus* [*Concentricus-Schiefer*], *I. sulcatus*), *Isoarca*, *Pecten*, *Spondylus*, *Exogyra*, *Ostrea* (*Gryphaea*) *vesiculosa*; *Straparollus*, *Solarium*, *Turritella*, *Dimorphosoma*, *Pleurotomaria*, *Avellana incrassata*, *Natica*, *Turbo*, *Trochus*, *Stomatia*, *Aporrhais*, etc.; grand nombre d'Ammonites (parmi lesquelles commencent à être abondantes les très ornées à type néritique et celles déroulées) des genres *Puzozia* (*P. latidorsata*), *Desmoceras* (*Latidorsella*), *Hoplites* (*H. Deluci*, *H. interruptus*), *Leymeriella tardefurcata*, *Parahoplites Milleti*, *Tetragonites*, *Lytoceras*, *Gaudryceras Dutemplei*, *Kosmatella*, *Schloenbachia* ou *Mortonicerias* (*M. inflatum*, *M. hugaridianum*), *Anisoceras perarmatum*, *Acanthoceras* du sous-genre *Douvilleiceras*, (comme *D. mamillare*, *D. Martini*, *D. Bigoureti*, *D. nodosocostatum*), *Sonneratia* (*S. Dutemplei*), *Branccoceras* (*B. verrucosum*), *Phylloceras* (*Ph. Guettardi*), *Ancyloceras*, *Hamites*, *Turritites* (*T. Bergeri*), *Scaphites*; *Belemnites* (*Hibolites*) *semicanaliculatus*, *B. minimus*, etc.

Pendant le CRÉTACÉ MOYEN-SUPÉRIEUR ou SUPRACRÉTACÉ, la fosse vocontienne, ainsi que les géo-synclinaux alpins, prirent graduellement à se retrécir et conséquemment les dépôts marneux furent peu à peu remplacés par les calcaires sablonneux, souvent glauconitifères; caractère qui accompagne fréquemment le faciès néritique (avec *Acanthoceras*, *Schloenbachia*, *Orbitolina*, etc.) jusqu'à comparaître par endroits des faciès spéciaux saumâtres ou estuariens ou même lacustres avec émerisions partielles et relatives érosions, comme p. ex. dans la région du Jura et en plusieurs régions alpines. Ces émerisions furent le prélude des grandioses qui se vérifièrent ensuite d'une façon plus intense pendant l'Eogène au point de faire émerger la chaîne alpine.

Pourtant en certaines régions alpines où les géo-synclinaux mésozoïques se conservèrent plus longtemps, le faciès de *Flysch*, qui est si développé dans l'Eocène s'étendant même parfois jusqu'à l'Oligocène compris, commença à paraître dans le Crétacé supérieur, rendant ainsi parfois difficile la distinction des deux horizons géologiques.

Les étages géologiques principaux du Supracrétacé sont :

**Cénomaniien** — Horizon géologique souvent très important, puissant même plus que 200 mètres, étendu et fossilifère (spécialement en Provence), à faciès les plus variés; or calcaire, or marneux-gréseux (type néritique), or sableux ou sableux-glaucouneux, p. ex. *Sables de la Fauge* (Isère), *Sables d'Apt* bigarrés; plus souvent avec alternance de ces sédiments divers. Parfois au contraire, comme dans une partie des Alpes suisses, il est assez réduit.

Quelques auteurs subdivisent la série cénomanienne en un étage inférieur, *Vraconnien*, plutôt gréseux, à *Turrilites*, *Schloenbachia*, *Anisoceras*, *Baculites*, etc., et en un étage supérieur passant à l'Albien, c'est-à-dire le *Rotomagien*, plutôt calcaire, souvent récifal à *Caprina* (*Calcaire à Caprines*), *Caprotina*, *Acanthoceras*, etc.

Parmi les fossiles principaux rappelons: *Orbitolina concava* (*Grès à Orbitolines*); *Trochocyatus*; *Heterodiadema*, *Pseudodiadema*, *Anorthopygus*, *Hemiaster*, *Holaster* (*H. laevis*, *H. subglobosus*), *Epiaster*, *Discoidea* (*D. cylindrica*), *Cidaris* (*C. vesiculosa*), *Echinoconus*; *Rhynchonella*, *Terebratula Dutemplei*; *Exogyra* (*E. columba*), *Requienia*, *Caprina* (*C. adversa*), *Caprotina*, *Ichtyosarcolites*, *Sphaerulites*, *Inoceramus* (*I. concentricus*, *I. cuneiformis*, etc.), *Arcopagia*, *Trigonia*, *Chlamys*, *Arca*, *Cardium*, *Limopsis*, *Opis*; *Neithea*, *Neritopsis*, *Actaeonella*, *Nerinaea*, *Voluta*, *Cerithium*, *Avellana incrassata*, *Pleurotomaria*, *Turritella*, *Natica*, *Solarium*, *Aporrhais*; *Acanthoceras* (*A. rotomagense*, *A. cenomanense*), *Douvilleiceras Mantellii*, *Desmoceras*, *Puzosia*, *Gaudryceras*, *Schloenbachia* (*S. varicosa*, *S. inflata*, *S. varians*), *Anisoceras* (*A. armatum*), *Brancoceras*, *Parahoplites*, *Hoplites*, *Stoliczkaia*, *Neolobites*, *Mortoniceras* (*M. inflatum*), *Peroniceras*, *Turrilites* (*T. Bergeri* [*Bergeri-Schichten*]), *T. Puzosi*, *T. tuberculatus*, *T. costatus*, *Scaphites aequatis*, *Hamites*, *Baculites*, *Nautilus Clementi*, *N. elegans*, *Belemnopsis*, etc.

Dans certaines régions aux dépôts néritiques-littoraux s'intercalent des dépôts lagunaires ou limnaux (*Paulétien* Dumas 1852 ou *Gardonien* Coquand 1857), calcaires-sableux lignitifères à *Unio*, *Cyrena*, *Corbula*, *Tympanotomus*, *Melania*, *Valvata*, *Ampullopsis*, etc. qui nous indiquent une accentuation dans les phénomènes orogénétiques de soulèvement. Bien même sur des régions étendues alpines et subalpines (p. ex. de la Savoie et de la Suisse) le Supracrétacé inférieur manque à cause de la notable émergence, qui dès lors s'y était vérifiée.

Rappelons ici que parfois entre le Crétacé inférieur et le moyen se trouvent des zonules *bauxitiques*, c'est-à-dire des dépôts irréguliers d'Oxydes hydratés d'aluminium mélangés aux Oxydes de fer et à plusieurs impuretés, qui rappellent des formations analogues plus récentes, comme le terrain sidérolithique, la Latérite, etc. et qui nous indiquent des zones d'émergence, d'érosion, de remaniement et de dépôt spécial à type plus ou moins continental ou subcontinental.

**Turonien** — Étage de passage entre le Crétacé moyen et le supérieur; or calcaire à Hippurites et Radiolites (*Angoumien* ou *Provencien* (p. p.) Coquand 1857), or marneux à Echinides, Brachiopodes, etc.; souvent sableux-gréseux, çà et là glaucouneux avec *Trigonia*, *Cardium*, etc., localement même caillouteux.

Rappelons parmi les fossiles plus communs: *Cyclolites ellipticus*, *Trochosmia*; *Ananchites*, *Echinoconus* (*E. subrotundus*), *Micraster breviporus*, *Periaster*, *Holaster*, *Epiaster*, *Nucleolites*, *Catopygus*, *Hemiaster* (*H. Leymeriei*), *Thylocidaris*, *Cidaris*, *Pseudotissotia*; *Terebratula*, *Terebratulina*; *Sauvagesia cornupastoris*, *Praeradiolites Sauvagesi*, *Inoceramus* (*I. problematicus*, *I. labiatus*) formant même de vraies couches calcaires à Inocérames, *Exogyra* (*E. columba*), *Ostrea*, *Pinna*, *Pectunculus*, *Trigonia*, *Cucullaea*; *Turritella* (*T. uchauxiana*), *Aporrhais*, *Voluta*, *Eulima*, *Natica*; *Pachyceras*, *Acanthoceras*, *Gauthiericeras*, *Prionotropis*, *Sphenodiscus*; *Serpules*; *Callianassa*, etc.

Dans les dépôts à type saumâtre on trouve des restes de *Corbula*, *Cassiope*, *Cerithium* (*C. nodosocostatum*), comme aussi des phyllites (*Myrica*, *Magnolia*, *Thuytes*, *Salix*, *Podoza-*

*mites*, etc.); ainsi p. ex. dans les Couches de la Mède et les Couches de Bagnols à flore terrestre, en Provence.

**Senonien** str. s. ou *Coniacien* — Essentiellement calcaire (à Foraminifères ou à Polypiers, Briozoaires et à Rudistes et Nérinées prévalentes (*Provencien* p. p.); mais parfois aussi argileux ou gréseux, même par endroits avec des zonules à graviers et cailloux; ou bien avec alternances répétées de ces différents dépôts à faciès dans l'ensemble néritique; à épaisseur notable, même de 400 à 500 mètres dans certains bassins. A cet étage comparaisent en outre particulièrement des calcaires spéciaux sublithographiques, qui sont d'anciennes vases à Orbulines, Globigérines, etc.

Rappelons parmi les fossiles plus communs: *Idalina*, *Periloculina*, *Lacazina*; Spongiaires (*Siphonia*, *Chenendopora*, *Amorphospongia*, *Cupulospongia*); *Micraster*, très abondants *Holaster*, *Echinocorys*, *Conulus* (*Echinoconus*) *vulgaris*; *Rhynchonella difformis*; Briozoaires (*Ceriacava*, *Reptomulticava*, etc.): *Inoceramus*, *Protocardia*, *Ostrea*, *Lima*, *Cucullaea*, *Glaucônia*, *Trigonia*, *Rudistes* très nombreuses (Calcaires à Hippurites); beaucoup de *Nérinées*, *Natica*, *Rostellaria*, *Chenopus*, *Solarium*, *Actaeonella*, *Voluta*, *Eulima*; *Peroniceras*, *Mortoniceras*, *Pachyceras*, *Barroisiceras*, *Gauthiericeras*, *Pachydiscus*, *Baculites*, *Belemnitella mucronata*, etc.

**Santonien** (str. s.) — Étage peu puissant à calcaires marneux blanchâtres, rarement sableux, à Spongiaires, *Micraster* très abondants (*M. cortestudinarium*), *Holaster*, *Ananchites* (*A. gibba*); *Ostrea*, *Inoceramus*, *Lima*, *Hippurites* très nombreux (*H. resectus*, *H. Requièni*) au point de former des bancs; *Mortoniceras*, *Placenticeras*, *Barroisiceras*.

On y rencontre parfois aussi des dépôts à végétaux terrestres, comme p. ex. dans les Couches du Beausset en Provence.

Le **Campanien** ou *Aturien* est un horizon médiocrement puissant, souvent à calcaires marneux (trouvant parfois usage comme chaux hydraulique), fréquemment en petites couches, ou à calcaires silicifères de type organogénique avec les fossiles principaux suivant:

Foraminifères (*Textularia*, *Globigerina*, *Orbitoides*, *Omphalocyclus*, *Calcarina*); *Echinocorys vulgaris* (*Ananchites ovata*), *Micraster coranguinum* très abondants; grand nombre de Bryozoaires; *Pycnodonta* (*P. vesicularis*), *Alectryonia*, *Exogyra*, *Inoceramus* (*I. Cripsii*, *I. Cuvieri*); *Nerita*, *Otostoma ponticum*; *Schloenbachia*, *Mortoniceras*, (*M. texanum*), *Pachydiscus* (*P. tercensis*, *P. Brandti*), *Placenticeras*, *Hoplites*, *Bostricoceras* (*Heteroceras*) *polyplacum*, *Scaphites* (*S. hippocrepis*), *Belemnitella mucronata* (*Mucronata-Zone*).

Mais non rarement, comme p. ex. en Provence, le Campanien prend le faciès saumâtre, estuarien, avec marnes et grès bariolés (*Valdonnien* de Matheron, 1878) ou limnal (*Bégudien* de Villot, 1883), comme les Calcaires d'eau douce de la Bégude près Fuveau (Provence), avec grand nombre de *Cyrena* (*C. globosa*, *C. galloprovincialis*), *Cyclophorus*, *Melania*, *Melanopsis* (*M. galloprovincialis*), *Glaucônia* (*G. Coquandi*), *Physa* (*Ph. galloprovincialis*), restes de *Crocodylus*, etc.; non rarement avec zones lignitifères (p. ex. les Lignites de Fuveau ou *Fuvélien* de Matheron, 1878) et par endroits même gréseux-conglomératiques.

Le **Danien** (*Maestrichtien*) enfin clôt la série crétacique par quelques couches calcaires, parfois silicifères, avec intercouches gréseuses, avec *Orbitoides* (*O. media*), *Micraster* (*M. decipiens*), *Ananchytes*, *Echinocorys* (*E. vulgaris*), *Terebratula* (*T. carnea*), *Pycnodonta* (*P. vesicularis*), *Nerita*, *Pachydiscus*, *Mortoniceras*, *Scaphites* (*S. constrictus*), etc.

Ailleurs le Danien est représenté par des dépôts estuariens-lacustres, comme les calcaires (parfois bauxitifères) à *Bauxia*, *Cyclophorus*, *Lychnus*, *Cyclostoma*, etc. (*Rognacien* de Caziot, 1890) analogue au *Garumnien* (Leym., 1862) à *Cyrena* et se reliant, soit avec les dépôts similaires du Campanien limnal, soit avec les *Argiles dites rutilantes* de Vitrolles (*Vitrollien*) en Provence, qui,

par le fait qu'elles contiennent des restes de Dinosauriens, quelques auteurs reportent encore au Crétacé supérieur. Néanmoins le Danien manque souvent dans les régions alpines à cause du hiatus produit par les mouvements orogénétiques qui fermèrent l'Ere mésozoïque.

Dans les Alpes calcaires méridionales (*Zone insubrienne* de la Lombardie) la constitution du Crétacé (ainsi que d'une partie de celle du Jurassique) a une ressemblance notable avec celle des Alpes calcaires septentrionales, ce qui a fait penser à plusieurs auteurs qu'il s'agit de l'effet d'un gigantesque charriage de Sud à Nord, tandis qu'il s'agit simplement de formations semblables comme s'étant déposées en conditions analogues. Dans les Préalpes lombardes le *Crétacé inférieur* ou *Infra-crétacé* est relié de la façon la plus étroite au Jurassique supérieur, car il est représenté par la partie supérieure du caractéristique calcaire blanc, dit *Maiolica*, au point de vue stratigraphique très compréhensif, comme l'analogue *Biancone* vénitien, qui est titonique dans sa partie inférieure.

Dans ce calcaire s'intercalent parfois, vers le haut, des minces couches schisteuses, marneuses, vertes-brunâtres ou bariolées, à Fucoïdes, avec beaucoup d'*Aptychus* (*A. angulicostatus*, *A. Seranonis*) et çà et là *Hoplites* (*H. neocomiensis*), *Lyloceras*, *Holcostephanus*, *Phylloceras* (*Ph. semistriatus*), *Costodiscus* (*C. recticostatus*), *Silesites*, etc., en outre de *Belemnites* (*B. tripartitus* et *B. bipartitus*), *Duvalia* (*D. lata*), *Gervilleia* (*G. aliformis*), plusieurs *Pygope*, etc.

Le Crétacé médio-supérieur est représenté en grande partie par des dépôts littoraux, c'est-à-dire grès et même conglomérats polygéniques (*Poudingue* ou *étage de Sironé*) qui renferment beaucoup d'*Hippurites*, *Radiolites*, *Actaeonella* (*A. gigantea*, *A. obtusa*), *Nérinées*, *Glauconia* (*G. renauxiana*), *Cardium*, *Inoceramus*, *Pecten*, *Pachydiscus*, etc. Néanmoins y comparaissent aussi, s'alternant avec les grès, des schistes marneux spéciaux bariolés, ordinairement rouges vinés, à Fucoïdes, comme aussi parfois des calcaires micacés à Chondrites.

Enfin dans la partie supérieure de la série crétacique, comparaisant même pourtant dès le Turonien, se développent des caractéristiques calcaires marneux, puissants plusieurs centaines de mètres, bariolés, souvent rosés ou rougeâtres ou verdâtres, à Fucoïdes (la *Scaglia* ou *Étage de Brenno*), assez fossilifères, spécialement en Foraminifères (*Globigerina*, *Orbulina*, *Pulvinulina*, *Bolivina*, *Nodosaria*, *Cristellaria*, *Discorbina*, *Textilaria*, *Rotalia*, *Lagena*, *Nonionina*, *Oligostegina*, *Anomalina*, etc.) et Mollusques, comme *Pholadomya*, *Pycnodonta*, *Inoceramus* (*I. Cripsii*, *I. latus*), *Pecten*, *Ostrea* (*O. acutirostra*, *O. arduennensis*), *Gryphaea vesicularis*, *Belemnitella mucronata*, *Hamites*, *Mortoniceras texanum*, *Acanthoceras rhotomagense*, *Hauericeras*, *Pachydiscus* (*P. colligatus*, *P. gallicianus*), etc.

Cette formation spéciale, qui est un sédiment tranquille bathial ou subbathial, vaseux-crayeux ou boueux à Globigérines, est analogue, et en partie au moins contemporaine, des *Seewener* ou *Seewer-Schiefer* ou *Seewen-mergel*, *Seewenkalk* et des calcaires marneux et gréseux rouges grisâtres dits *Couches rouges*, *Leimern-Schiefer* ou *Foraminiferen-Schiefer* des Alpes Suisses; ici, en outre des fossiles déjà indiqués, spécialement spicules de Spongiaires et Foraminifères (parmi lesquels domine parfois l'*Orbulinaria* [*Pythonella*] *ovalis* ou *O. sphaerica* à former des petites couches calcaires), on trouve aussi parfois *Echinocorys vulgaris* (*Ananchytes ovata*), *Stegaster*, *Micraster*, *Cardiaster*, *Terebratula*, dents de *Ptychodus*, etc.; formation très caractéristique qui parfois s'étend à une grande partie du *Néo-Crétacé*.

Il faut enfin noter qu'en quelques régions de la Suisse, spécialement orientale, le Crétacé supérieur commence à présenter le faciès caractéristique de *Flysch*, puissant plusieurs centaines de mètres (comme les *Wang-Schichten*, les *Iberg-Schichten*, etc.), à Fucoïdes, Foraminifères, etc., qui s'étend plus amplement dans le Crétacé des Alpes Autrichiennes, où il est parfois même assez fossilifère (Inocérames, Ammonites, etc.) et qui devient ensuite très puissant, presque caractéristique dans une grande partie de l'Eocène des Alpes.

---

## CÉNOZOÏQUE

---

Si les formations cénozoïques par leur partie inférieure, éocénique, pénètrent largement et profondément, dirais-je, dans la Chaîne alpine occidentale (par exemple dans la zone des Aiguilles d'Arves), même plus que les formations crétaciques, et cela à cause des phénomènes spéciaux orogéniques et sédimentaires qui précédèrent et accompagnèrent la période éocénique, elles en restèrent au contraire généralement exclues dans leurs parties moyenne et supérieure, néogéniques. Et ce justement par le fait du phénomène orogénétique très puissant, de plissement, réhaussement, etc. qui se vérifia à la fin de l'Eocène dans la région alpine, en en éloignant plus ou moins le domaine de la mer.

De cette impulsion orogénétique grandiose, qui agita puissamment, tordit et plissa admirablement et souleva extraordinairement la région alpine à la fin de la période éocénique et ensuite, par des puissantes palpitations successives (registrées très bien par les dépôts néogéniques), en des moments divers de la longue phase néogénique jusqu'à l'éclosion de l'Ere quaternaire, dérivèrent plusieurs phénomènes très intéressants, comme :

1° l'émersion définitive de la mer de l'aire alpine.

2° la constitution non seulement de plissements extraordinaires, mais de renversements spéciaux tectoniques et de charriages successifs de formations étendues à nombre de kilomètres de leurs aires originales.

3° le passage de la région alpine de la phase plus ou moins nettement sédimentaire à une phase essentiellement érosive, même souvent de très intense érosion et creusement-incision, dont l'orographie alpine actuelle est justement dans l'ensemble le produit.

4° conséquemment les dépôts néogéniques circumalpins et spécialement ceux du Bassin du Pô, qui résultent essentiellement de la démolition de la chaîne alpine, se formèrent avec des épaisseurs très notables, même de plusieurs milliers de mètres.

5° Ces dépôts marins, spécialement néogéniques, du classique, typique, Bassin tertiaire du Piémont, avec l'alternance, assez régulière, de leurs dépôts, or préférablement marneux (Etampien, Langhien, Tortonien, Plaisancien), or préférablement sableux-caillouteux (Tongrien, Aquitanien, Helvétien, Messinien et Astien), marquent d'une façon admirable, presque comme un Orogénomètre naturel, l'alternance des périodes de tranquillité relative et des périodes d'intensité plus grande dans l'action de soulèvement, ce qui fait qu'en des successives, rythmiques, puissantes pulsations orogénétiques la Chaîne alpine s'éleva graduellement.

## EOCÈNE.

La série éocénique joue un rôle très notable dans la constitution des Alpes occidentales, sauf qu'en leurs parties centro-orientales.

Cet étage géologique ne présente plus dans les régions alpines qui nous intéressent, comme les formations mésozoïques, un faciès normal et un faciès métamorphique, cristallin, bien distincts; néanmoins il est intéressant d'observer que, tandis que dans les régions circumalpines ou subalpines (comme p. ex. dans les Préalpes lombardes, dans les collines de Turin, etc.) l'Eocène a un faciès assez régulier et normal de calcaires et de marnes fossilifères, dans les Alpes au contraire il présente généralement un faciès spécial de schistes argileux gris ou brunâtres, par endroits rougeâtres-verdâtres, s'alternant souvent avec des petites couches gréseuses, non rarement avec des empreintes de *Fucoides* (*Fucoidenschiefer*), ce qui est considéré comme un type subbathyal.

Ce type lithologique, dans l'ensemble très caractéristique, est dénommé vulgairement dans les Alpes suisses *Flysch*, justement pour le glissement facile, l'écoulement (*fließen*) de ces terrains argileux; ce nom fut introduit dans le langage géologique par B. Studer en 1827.

Or non rarement ce *Flysch* prend des physionomies spéciales de schistes lustrés, phylladiques, plus ou moins métamorphosés et même parfois il englobe aussi des intéressantes lentilles ou petits amas ophiolitiques (diabasiques, variolitiques, porphyriques).

C'est-à-dire que dans la Chaîne alpine, comme dans l'Appennin méridional plus que dans le septentrional, le faciès de *Flysch ophitifère* ne s'arrêta pas au Crétacé, mais qu'il se continua encore parfois dans l'Eocène.

C'est par conséquent un fait très intéressant car nous pouvons observer et étudier dans le *Flysch* alpin la continuation, amoindrie et parlant moins difficilement interprétable, de ces phénomènes de métamorphisme, qui, plus accentués et profonds, donnèrent naissance à la série micaphyllitique (par quelques auteurs dénommée justement *Glimmerflysch*, *Talkflysch*, etc.) du Mésozoïque alpin.

J'ai indiqué qu'en certaines zones de *Flysch* (l. s.) des Alpes, spécialement suisses, on rencontre des affleurements de roches serpentiniteuses, diabasiques, gabbroïdes, porphyritiques et même grani-toïdes, souvent en connexion avec des schistes gris ou noirs ou rougeâtres; ces roches à type préférablement ophitico-hypoabyssique seraient, selon quelque auteurs, des fragments de roches anciennes empêtrées dans le *Flysch* éocénique à la suite des grandioses dislocations qui tourmentèrent la région alpine; je crois au contraire qu'en général elles sont vraiment reliées et contemporaines des formations du *Flysch* ainsi qu'on le vérifie dans l'Appennin italien, soit qu'elles soient éocéniques qu'aussi bien crétaciques.

Il faut remarquer, à propos du *Flysch*, qu'à la base tout-à-fait de l'Eocène existent parfois des petites zones conglomératiques, polygéniques ou non, en corrélation avec le mouvement orogénique qui se vérifia entre le Crétacé et l'Eocène; or en certaines régions alpines (p. ex. dans la basse vallée du Gesso des Alpes Maritimes) où les terrains éocéniques furent comprimés d'une façon plus intense, ces conglomérats ont été tellement laminés et métamorphosés qu'ils ont été souvent confus avec les Anagénites du Paléozoïque. Quelque chose d'analogue peut être répété pour certaines brèches mica-cées, polygéniques (Brèche de Tarantaise), considérées déjà comme mésozoïques et pour certaines couches gréseuses rappelant les Quartzites du Permo-Trias; j'indique enfin, à ce propos, qu'il y a même certaines zones du *Flysch* qui prennent presque l'aspect de *Schistes lustrés*. Où les dépôts argileux plus ou moins calcaires furent comprimés, sans néanmoins subir de plissement (comme par

ex. auprès de Chiavari en Ligurie) ils se transformèrent en schistes ardoisiers (*Lavagne*) exploités sur plusieurs points comme bon matériel de toiture, tuiles, etc.

Reliés à la formation préférablement argileuse (plus ou moins bathyale) du *Flysch* typique, éocénique, sont aussi des fréquentes couches, plus ou moins épaisses, gréseuses, ayant à leur surface des empreintes variées, jusqu'à passer en certaines régions (particulièrement vers la partie supérieure de la série éocénique) à des couches et bancs étendus de grès (*Macigno*), même avec intercalations conglomératiques, en rapport spécialement avec le fait que, se retrécissant et s'exhaussant les Bassins marins compris entre les anciens plissements alpins et appenniniques, souvent et largement devaient se vérifier les conditions de zones peu profondes et littorales, spécialement dans la seconde moitié de l'époque éocénique.

Par conséquent le *Flysch*, ainsi que trop largement on l'interprète aujourd'hui, est une formation très compréhensive soit de sédimentation (bathyale ou néritique), soit de nature lithologique (d'argiloschiste au grès), soit d'âge (du Crétacé à l'Oligocène). Ailleurs au contraire, spécialement sur de vastes zones de l'Appennin septentrional et même de la Ligurie occidentale, continuèrent à se former, pendant une grande partie de l'Eocène, des dépôts tranquilles argileux-calcaires grisâtres, qui constituèrent les typiques Calcaires à Fucoides (*Chondrites*) (*Modénien* pars, Pareto 1865), une partie des *Calcaires alberesi*, les Calcaires ardoisiers à *Helminthoides*, *Hyroglyphen-Schichten*, etc. Spécialement dans la partie inférieure de la série éocénique, c'est-à-dire dans l'étage dit *Nicéen*, qui mérite bien le nom de *Nummulitique*, on rencontre souvent des zones spéciales, calcaires-marneuses ou calcaires-gréseux, richement fossilifères, qui fournirent déjà le matériel pour plusieurs Monographies paléontologiques. Il s'agit particulièrement de grosses Nummulites (*N. perforata*, *N. complanata* etc.), de grandes Orbitoïdes (*Orthophragmina*), Lithothamnes, etc.

Dans certaines couches moins compactes, spécialement marneuses, de quelques régions les fossiles sont mieux conservés et faciles à extraire, ce qui fait que ces régions, en particulier du Niçois (d'où le nom de *Nicéen*) devinrent fameuses, ainsi La Palarea, La Mortola (*Mortolin* Mayer 1888), Puget-Théniers, Escarène, etc.

Dans la série éocénique des Alpes il est difficile de faire des divisions correspondantes aux divisions classiques. On peut en général distinguer une zone inférieure, plus ou moins calcaire, souvent nummulitifère, au dessus de laquelle s'étend une série complexe sédimentaire dénommée dans l'ensemble et malheureusement trop largement *Flysch*, or préférément argileuse (*Flysch st. s. Fucoidien* de Vézian 1858, *Fucoiden-Schiefer*), or préférément calcaire (*Calcaires à Fucoides*, *Pietra Colombina*, *Calcarea alberese* p. p. etc.), or préférément gréseuse (*Macigno*), souvent au contraire avec des alternances répétées de ces trois types lithologiques différemment entrelacés, en correspondance avec diverses phases de sédimentation soit dans des régions différentes, soit successivement et alternativement en une même région.

Dans la complexe série éocénique en examen le faciès sédimentaire a parfois une importance plus grande que non l'âge des étages géologiques, car le faciès implique non seulement les caractères lithologiques, la physionomie du terrain, etc. mais bien aussi les caractères paléontologiques relatifs.

Nous pouvons ainsi distinguer dans l'Eocène des Alpes Occidentales:

1° Le faciès abyssal ou sub-bathyal à *Flysch argileux* avec zones *jasproïdes* et *ophitifères*, avec fossiles rares; formation correspondant à des zones de dépôts puissants de géosynclinal.

2° Le faciès sub-bathyal, correspondant à des zones de dépôts puissants en géosynclinal, à schistes ou *Flysch argileux-calcaire*, parfois ardoisier (les *Dachschiefer*) avec *Globigerina* (*Globigerinaschiefer*), *Assilina exponens*, *Orthophragmina discus*, non rarement plus calcaire qu'argileux (p. ex. les *Calcaires à Fucoides*, *Calcarei alberesi*, *Calcaires à Chondrites*, *Calcaires à Helminthoides*).

3° Le faciès néritique, spécialement calcaire, parfois même glauconifère (comme les *Bürgenschichten*), avec Lithothamnes (*Lithotamnienkalk*), plusieurs Nummulites (p. ex. les *Complanata-schichten*, les *Calcaires nummulitiques* l. s.) et Orthophragmines (*Orbitoidenkalk*), avec nombre de Pectens (p. ex. les *Pectiniten-Schiefer*), etc.; mais souvent aussi calcaire-gréseux, passant au faciès suivant, avec des formes spéciales de Nummulites plutôt petites (comme les *Einsiedeln-Schichten*), parfois avec des concrétions calcaires, comme les *Waengen-Kalk*.

4° Le faciès néritico-littoral, essentiellement gréseux, avec Nummulites spéciales, généralement un peu petites (*N. striata*, *N. variolaria*) et certaines Orthophragmines; comme les formations dites *Macigno*, *Taveyannazsandstein*, *Grès moucheté*, *Grès d'Annot*, *Nummulitensandstein*, *Niesensandstein*, *Hachen-Grünsand*, *Mocausagestein* (qui est même en partie conglomératique, ainsi qu'on le vérifie p. ex. aux Aiguilles d'Arves) et formations similaires dont plusieurs forment presque le passage de l'Eocène à l'Oligocène.

5° Le faciès marécageux, caractérisé par l'abondance de Cérithides (*Calcaires à Cérithes*, *Cerithien-Schichten*, *Diablerets-Schichten*, etc.).

6° Le faciès lacustre à calcaires ou grès sableux ou argileux, souvent bigarrés, comme le sable de la Gande en Provence, çà et là lignitifère, à Planorbides, Physes, Limnées, etc. (comme p. ex. la formation de Vitrolles).

7° Le faciès continental, spécial, du terrain *sidérolithique* ou *Bohnerz*, correspondant à des phases et régions d'émersion et par conséquent de dépôt local, à type plus ou moins continental, irrégulièrement distribué en des dépressions, poches, etc., dans les calcaires jurassico-crétaciques, spécialement de la région du Jura.

Le *phénomène sidérolithique*, dirais-je, déjà amorcé sur certains points à la fin du Crétacé, s'étendit et s'intensifia pendant l'Eocène, se continuant variablement jusqu'à l'Oligocène. Les dépôts sidérolithiques se trouvent souvent en poches profondes ce qui a fait naître premièrement l'hypothèse de leur origine hydro-thermale; ils sont irréguliers, souvent concrétionnés ou pisolitiques, argilo-ferrifères (*Argilolites*), jaunes-rougeâtres ou bariolés (*Bolus ferrugineux*), souvent avec sable siliceux, d'épaisseur très variable de peu de centimètres à quelques mètres, reliés parfois à certains dépôts, souvent calcaires-argileux, d'eau douce à *Limnea*, *Planorbis*, *Hydrobia*, *Paludina*, *Pupa*, *Clausilia*, *Pomatias*, *Cyclotus*, *Cyrena*, Ostracodes, fruits de *Chara*, plusieurs Reptiles (*Testudo*, *Emys*, *Crocodylus*, etc.) et spécialement plusieurs Mammifères comme *Lophiodon*, *Palaeotherium*, *Plagiolophus*, *Propalaeotherium*, *Lophiotherium*, *Anchilophus*, *Pachynolophus*, *Chasmothorium*, etc. avec plusieurs espèces appartenant à différents étages de l'Eocène.

En effet le terrain sidérolithique ne correspond pas à un horizon fixe, car il représente plutôt un phénomène que non un étage géologique, ainsi qu'il en résulta de plus qu'un demi-siècle de recherches faites à ce propos par Thurmann (qui en 1836 proposa le nom de *Sidérolithique*), Escher v. d. Linth, Mérian, Voltz, A. Brongniart, Thirria, Muller, Gressly, Greppin, Rutimeyer, Quiquerez, Grossouvre, Jordan, Schalch, Gillieron, Rollier, Schardt, Stehlin, Fleury, etc. C'est précisément à E. Fleury qu'on doit une récente Monographie sur « *Le Sidérolithique suisse*, 1909 » et à Stehlin un ouvrage complet sur « *Die Säugethiere d. Schw. Eocaens* » à commencer de 1906.

L'origine du terrain sidérolithique donna lieu à de nombreuses discussions qui du reste ne sont pas encore terminées. A. Brongniart en 1828 l'attribua à des phénomènes hydro-thermaux, c'est-à-dire à des eaux thermales minéralisées, hypothèse qui fut ensuite mieux développée en 1838 par Gressly, qui en constitua presque une théorie demi-plutonique, abandonnée par la suite.

En vérité le phénomène sidérolithique se présente des plus variés, dépendant de conditions variées d'âge, de milieu, de nature de la roche alterée, etc., étant en grande partie un phénomène

d'altération superficielle des roches par voie hydro-chimique, décalcification, dissolution, etc. Il faut noter en outre qu'après son dépôt irrégulier, cette formation fut assujettie à de longues et importantes érosions, abrasions, remaniements, etc.

Afin que le *phénomène sidérolitique* puisse se vérifier (phénomène qui dans l'ensemble représente un faciès spécial continental particulièrement à travers l'époque éocénique du Jura et qui se relie avec les formations analogues de différents âges, comme la *Bauxite*, la *Latérite*, le *Ferretto*, la *Terra rossa*, etc.) il faut avant tout une émergence partielle de certaines régions peu élevées (spécialement calcaires dans le cas en examen) qui restent ainsi plus ou moins exposées aux agents extérieurs dans un milieu, au point de vue climatologique, doux et humide; il se vérifia alors ordinairement, par ce climat plutôt chaud et humide, une première phase de désagrégation et de décomposition subaérienne ou éluvienne in situ, d'élaboration et de lévigation, c'est-à-dire de démolitions et corrosions physiques et chimiques, décalcifications, dissolutions, concentrations, hydratations, oxydations et plusieurs autres altérations et transformations, formant un métamorphisme compliqué hydro-chimique superficiel (presque une *laterisation* des terrains calcaires), qui donna naissance à une spéciale *terre rouge*, argilo-ferrugineuse, plus ou moins unie à des matériaux insolubles, spécialement sables siliceux et parfois localement même à des brèches et conglomérats, comme aussi à des argiles à silex, etc.

Pour une partie en même temps, mais se continuant par la suite, à cette première phase de décalcification et d'élaboration générale, suit la seconde (d'évolution chimico-mécanique) c'est-à-dire de démantèlement, de remaniement, de transport ou charriage par lavage et ruissellement, etc. due à l'oeuvre des eaux superficielles, et de reconstruction et de transformation sidérolithique, dirais-je, c'est-à-dire de redépôt et accumulation irrégulière du matériel ainsi élaboré, parfois pseudomorphosé et moins soluble (spécialement hydroxydes de fer) mélangé à des argiles colorées ou *bolus* (souvent à des sables quartzeux et ferrugineux) sous forme sédimentaire irrégulière ou concrétionnée ou oolithique (comme le *Bohnerz* ou minéraux de fer en grains). Ce dépôt se vérifia dans les dépressions variées (en partie lacustres ou marécageuses, poches, fractures, etc.) ayant pris naissance en bonne partie justement par l'érosion physique et la dissolution chimique opérées par les eaux sur les calcaires, spécialement du Crétacé, mais aussi du Jurassique, pendant la phase d'émergence.

Or ce phénomène compliqué, relié à des conditions spéciales, soit d'émergence, soit de oro-hydrographie, soit de lithologie, soit de climatologie, se vérifia avec plusieurs formes, modalités et génèses et en plusieurs moments géologiques et en certaines régions spécialement subalpines ou jurassiennes; ainsi pendant le Crétacé (donnant naissance à des hydroxydes spéciaux d'aluminium et de fer, comme les Bauxites) mais spécialement à la fin du Mésozoïque et pendant une grande partie de l'Eocène et en quelques régions jusqu'à l'Oligocène y-compris, donnant origine au terrain sidérolithique; soit aussi saltuairement en suite et dernièrement enfin d'une façon spéciale pendant le Quaternaire.

Il en résulta ainsi selon l'âge, les régions, les conditions, la nature lithologique de l'endroit, etc. soit des produits pauvres en allumine dérivés de roches préféremment calcaires (*Terra rossa*, *Argile à silex*, *Sidérolithique* p. d., *Bohnerz*, *Bols* et *Argiles colorées*, etc.) soit des produits riches en allumine provenant de roches puissamment silico-alluminifères, ainsi les *Bauxites*, les *Latérites*, etc.

Une telle complexité et ces entrecroisements, par endroits des plus variés, de faciès et de caractères lithologiques et paléontologiques, rendent très difficile la séparation de la série éocénique alpine (qui a parfois une épaisseur bien supérieure à 1000 mètres), en des horizons géologiques bien nets; car dans la nature ces distinctions n'existent pas, mais on vérifie au contraire les passages les plus variés et les substitutions, soit latérales soit verticales, sans compter que dans les régions en

examen certaines formations argileuses ou calcaires ou gréseuses se développent avec continuité à travers plusieurs étages ou périodes géologiques sans qu'il soit logiquement possible de marquer une séparation raisonnée. Du reste c'est le phénomène qu'on a déjà noté et qui se vérifie dans certaines séries cristallines gneissiques ou micaphyllitiques du Paléozoïque, dans la *Maiolica*, dans les *Schrattenkalk* ou *Calcaires urgoniens*, dans la *Scaglia*, etc. du Mésozoïque, etc. On peut néanmoins dans l'ensemble distinguer la puissante série éocénique en trois étages principaux :

**L'Eocène inférieur** ou **Paléocène** ou **Suessonien** (l. s.) n'est généralement pas bien individualisable ni important. En effet il constitue une formation de passage à puissance variée, si la série crétacéo-éocénique est continue, et alors il a généralement le faciès de *Flysch* (l. s.) englobant aussi çà et là des calcaires plus ou moins gréseux avec grandes Nummulites et présentant parfois un teint rougeâtre (*Flysch rouge*). Dans l'Appennin comme dans les Préalpes lombardes on voit justement que l'Eocène inférieur est représenté par des schistes et des marnes plus ou moins calcaires, grisâtres ou rouges-vinés ou verdâtres, alternés avec des couches gréseuses minces, qui passent en bas au Crétacé supérieur et vers le haut aux calcaires, parfois nummulitifères, du *Parisien*.

Ou bien l'Eocène inférieur manque ou il est pauvre quand la région a subi un diastrophisme de soulèvement à la fin du Mésozoïque.

En ce cas la région restée en partie émergée (comme p. ex. des vastes aires de la Provence ou région *rhodanienne*) fut érodée, mais çà et là purent se déposer (dans certaines régions déprimées ou en des poches spéciales, etc.) des formations plus ou moins grossières, comme brèches et conglomérats (parfois avec grosses Nummulites) qui en certaines zones (p. ex. dans la vallée du Gesso) sont laminées et transformées au point de rappeler les Anagénites permo-triasiques; ou bien se déposèrent des cailloutis, sables et argiles bigarrées ou bariolées, souvent blanches ou jaunes ou lilas ou rougeâtres, souvent siliceuses, des argiles à silex, réfractaires (comme les *Argiles rutilantes* de Provence, *Vitrollien* de Matheron, 1878), irrégulièrement accumulées en poches de remplissage, spécialement sur les calcaires crétaciques; comme aussi se déposèrent parfois des marnes, argiles et calcaires lacustres, souvent alternés entre eux ou avec les couches sableuses; ensemble fluvio-lacustre qui représente la continuation naturelle des analogues formations (*Valdonnien*, *Bégudien*, *Fuvelien*, *Rognacien*, *Garumnien*, etc.) du Crétacé supérieur. Puisqu'elles contiennent parfois des restes de Dinauriens, les Argiles de Vitrolles peuvent être encore considérées comme terme de passage du Crétacé à l'Eocène inférieur.

Mais dans les dépôts superposés au *Vitrollien* (comme calcaires de S.t Marc, marnes et calcaires de Langesse, etc.) on trouve la vraie faune continentale de l'Eocène inférieur c'est-à-dire: *Lymnaea* (*L. obliqua*), *Planorbis* (*Pl. subcingulatus*), *Physa* (*Ph. prisca*, *Ph. praelonga*, *Ph. Draparnaudi*) (*Calcaires à Physes*), et restes de Vertébrés comme *Lophiodon Larteti* et autres espèces, *Propalaeotherium*, *Paloplotherium*, *Chasmotherium*, etc.

**L'Eocène moyen** ou **Parisien** (l. s.) constitue un horizon géologique très important et richement fossilifère, spécialement en Nummulites, représentant ainsi le typique horizon nummulitique, à faciès plutôt néritique; c'est en grande partie le *Nicéen* de Pareto, 1865. La nature du terrain est préféremment calcaire-marneuse, mais souvent aussi calcaire-gréseuse (même localement glauconitique) ou calcaire-argileuse (*Calcaires à Helminthoides*, à *Fucoïdes*, *Chondrites*, etc.) suivant les régions.

Y appartiennent les fameux *Pilatus-Schichten* (*Pilaton* de Kauffmann, 1872), avec les *Glauconitkalk* en bas et les *Pectinitenschiefer* en haut.

Parfois s'y développe aussi le faciès de *Flysch argileux*, mais avec fréquentes intercalations de couches ou bancs calcaires (*Flysch calcaire*) à Nummulites et autres Foraminifères, outre à *Lithothamnes*, etc.

Dans l'Appenin l'Eocène moyen est en grande partie représenté par des schistes argilo-calcaires (*Ardoises, Lavagne*) ou *Flysch*, par des marnes à *Zoophycus*, comme aussi par des *Calcaires* à *Fucoïdes* ou *Chondrites* (*Chondrites affinis, Ch. intricatus, Ch. furcatus, Ch. Targionii, etc.*) et *Calcaires* à *Helminthoidea labyrinthica* (*Ligurien, Modénien (pars), Rigian* de Kauffmann), par des calcaires variées, (*Calcare alberese* [p. p.], *Pietra colombina*) et par des *Calcaires nummulitiques, etc.*, c'est-à-dire riches, outre qu'en Lithothamnes (*L. nummuliticum*), en Nummulites, Orbitoïdes, Alvéolines, Clavulines et nombreux autres Foraminifères, Crinoïdes, Echinides, Briozoaires etc., comme aussi dents de Poissons (*Oxyrhina, Odontaspis, etc.*).

Ce n'est pas le cas d'entrer dans la question compliquée de *l'échelle des Nummulites*, d'autant plus que en réalité cette échelle n'existe pas aussi nette et détaillée comme quelqu'un le voudrait, car ces fossiles, entre certaines limites, sont plutôt reliés avec les milieux ou faciès de sédimentation que non avec des sous-étages géologiques donnés, ce qui du reste correspond à une loi paléontologique assez générale. Ainsi p. ex. les Nummulites microsphériques semblent être spécialement subbathiales et les macrosphériques plutôt néritiques, littorales; certaines espèces (p. ex. la *N. incrassata*, la *N. striata, etc.*) eurent en outre une durée de vie très notable, comparaisant dans plusieurs horizons géologiques successifs, quand les conditions de milieu le permettaient.

De toute manière on peut indiquer que dans le Parisien inférieur-moyen prédominent les grosses Nummulites (ce qui doit correspondre au milieu néritique spécialement favorable au développement de ces Foraminifères spéciaux), bien qu'y existant aussi les moyennes, soit rayonnées, soit réticulées, formant des bancs nummulitiques ayant abondance de formes avec piliers, c'est-à-dire: *N. perforata* (niveau à *Perforata*) (*N. Roualti, N. aturica, N. spissa, N. crassa, N. Puschi, N. Bellardii, N. Deshayesi, N. Meneghini, N. Lorioli, N. Renevieri, N. Sismondai, N. Verneulli, N. uroniensis, N. lucasana (N. lenticularis), N. Brongniarti, N. laevigata (N. Lamarcki, N. scabra), N. Partschi (N. Oosteri, N. gallensis), N. milicaput o complanata (N. Tchiathcheffi pars, N. helvetica, N. Dufrenoyi), etc.*, avec des Nummulites sans piliers, comme: *N. irregularis, (N. Pratti, N. Lyelli), N. distans (N. Tchiathcheffi pars), N. Murchisoni (N. Heeri), N. Ramondi (N. globulus), N. atacica (N. Guettardi, N. biarritzensis, N. reticulata), N. striata (N. contorta), etc.*, avec *Assilina exponens (A. manillata, A. granulosa, A. Leymerici), A. spira, etc.*, *Orbitolites complanata, Orthophragmina (O. stella, O. patellaris, O. discus, O. papyracea, O. Archiaci), Operculina ammonica, Alveolina larva (A. elongata), Globigerina, Pulvinulina, Textularia, Rotalia, Miliola; Flabellum, Trochocyathus, Ceratocyathus; Cyphosoma, Amblypygus, Pygorhynchus, Echinanthus, Echinolampas (E. affinis), Conoclypeus, Prenaster, Hemiaster, Linthia, Periaster, Eupatagus, Brissopsis, Pygurus; Terebratula; Chlamys, Pecten (P. paucicostatus, etc., souvent très abondants), Crassatella, Ostrea gigantea, O. cyathula, Pycnodonta Brongniarti, Gryphaea, Spondylus subspinosus, Cythaerea, Chama, Pectunculus, Cardita, Cardium, Thracia, Pholadomya, Corbula, Arca Brongniarti, A. Bonellii, etc.; Turritella imbricataria (var. carinifera, an species disting.), Velates schmiedeliana, Cerithium, Campanile giganteum, Xenophora, Trochus, Ampullina, Natica angustata, Conus, Cypraea, Cassidea, Voluta, Clavilithes, Rimella, Rostellaria, Vermetus; Nautilus, Aturia; Ranina, Cancer, Xanthopsis, etc.*

En outre du faciès marin, spécialement en passant de l'Eocène moyen au supérieur, on rencontre aussi fréquemment et répandu (spécialement en Provence) le faciès littoral-saumâtre à Cérithides (*Cerithium plicatum, C. cristatum, C. deperditum, C. elegans, C. exagonum, C. Weinkauff, C. trochleare, etc.*) constituant parfois des *Cerithienkalk* ou *Cerithienschichten (Diablerets-schichten)*, et à *Melania alpina, Melanopsis (M. carinata, M. fusiformis), Neritina Fischeri, Cardium (C. granulosum), Cytherea, Cyrena (C. convexa var. vapincana, an species disting.)*. Rappelons p. ex. les Schistes de Pernant à Cyrènes de la Haute-Savoie, etc.

Enfin ne sont pas rares, spécialement dans certains Bassins de la Provence, entre autre typique celui de Aix, les dépôts lacustres-continentaux, soit calcaires (parfois avec rognons siliceux) ou en forme de calcaires grumuleux, soit marneux, soit argileux, ou sableux, continuation de l'analogue formation si étendue dans l'Eocène inférieur, parfois avec restes de *Chara helicteres* et plusieurs Mollusques: *Lymnaea* (*L. acuminata*, *L. aquensis*, *L. Michelini*, *L. ostrogallica*), *Planorbis* (*P. pseudorotundatus*, *P. pseudammonius*, *P. ammonius*), *Vivipara*, *Cyclotus exaratus*, *Strophostoma lapicida*, *Bulimus Hopei*, *Achatina*, etc.

Parfois y apparait aussi un faciès d'argiles sidérolithiques, de remplissage de fentes ou poches, avec restes de Vertébrés, comme *Lophiodon* (*L. isselense*, *L. rhinoceroïdes*), *Pachynolophus*, *Amphydromus*, *Phænacodus* (*Ph. europæus*), *Propalæotherium* (*P. isselanum*), *Paloplotherium* (*P. codiciense*), *Anchilophus Desmaresti*, Crocodiles, Chéloniens, etc.

De même en certaines régions, p. ex. dans le Jura, put continuer à se former comme dans l'Eocène inférieur le terrain dit *sidérolithique* (*Bohnerz formation*), souvent sous forme d'Oolithe ferrugineuse mélangée avec argile rougeâtre accumulée dans certaines dépressions, bourses ou cavités, où on trouve non rarement les restes d'une riche faune mammalogique.

**L'Eocène supérieur** ou **Barthonien** (l. s.) est de nature très variable dans les régions alpines; souvent il se développe comme vrai *Flysch*, le *Flysch noir*, schisteux, préféremment argileux, feuilleté (*Wild-Flysch*, *Silvan* Kauffm. 1872), en intercouches minces grès-calcaires de teinte grise-brune, avec *Helminthopsis* ou *Helminthoidea* (la caractéristique empreinte dite *H. labyrinthica*) qui est si fréquente sur les schistes argileux-calcaires de l'Eocène moyen et supérieur avec *Fucoïdes* ou *Condrites* (*Ch. Targionii*, *Ch. affinis*, etc.). Cette formation occupe des régions très vastes et touche l'épaisseur même de plus que 1000 mètres, s'étendant aussi en bas jusqu'au *Parisien* y compris.

Mais souvent, spécialement vers le haut de la série éocénique, le *Flysch* typique argileux-calcaire, après de nombreuses alternances avec des couches marneuses et gréseuses, devient préféremment gréseux à faciès littoral, constituant des puissantes (200 à 300 mètres et plus) formations de bancs de grès variés, souvent micacés, quartzeux et feldspathiques, qui reçurent plusieurs noms dans les différentes régions et par les différents auteurs, comme *Grès di Taviglianmaz* ou *Taveyanazsandstein* (de la Savoie et des Alpes Suisses), *Grès moucheté* (Geymard 1830), *Grès de l'Embrunnais* (Lory), *Grès de Menton*, *Grès d'Annot*, *Flysch gréseux* ou *Flyschsandstein*, *Grès schisteux*, *Nummulitensandstein* p. p., *Høglsandstein*, *Macigno* (*Etrurio* ou *Etrurien* de Pilla), *Pietra serena*, *Pietra morta*, *Sasso morto*, *Grès (quartzeux) d'Altdorf*, *Hohgantsandstein*, *Niesensandstein*, *Gurnigelsandstein*, *Quarzsandstein*, *Mocausagestein*, etc.

Ni ne manquent parfois des lits charbonneux, des zones calcaires-gréseuses à fossiles saumâtres, des zones calcaires à Lithothamnes, petites Nummulites, Pectens, etc. à faciès littoral, irrégulièrement alternées parmi les schistes du *Flysch*.

Parfois comparaissent aussi parmi les grès des lentilles et couches conglomératiques spécialement dans la partie supérieure de la série, ce qui indique l'accentuation du régime littoral-deltaïde par émerision rapide des aires marines à la fin de l'Eocène.

Quant au *Grès moucheté* (Geymard 1830) ou *Grès de Taviglianmaz*, qui s'alterne souvent avec le *Flysch* marneux, il est particulièrement intéressant car y abondent les éléments diabasiques, qui donnent à la roche une teinte verdâtre, si bien qu'après les premières études de Necker (1826) dès 1834 Studer le croyait un tuf volcanique, ce qui fut admis aussi par plusieurs autres savants qui s'en occupèrent d'une façon spéciale, comme p. ex. Schmidt en 1888 et Duparc en 1895, retenant qu'il s'agisse de matériel éruptif transporté de loin, comme cendres et projections, par voie aérienne ou par voie de courants marins.

La partie supérieure du *Flysch*, spécialement la formation gréseuse surindiquée, constitue certainement le prélude de l'Oligocène; même en certaines régions (p. ex. dans le fameux Bassin des Déserts près de Chambéry, dans la typique série de Aix, etc.) on peut suivre le passage lithologique et paléontologique entre les deux terrains.

Je remarque pourtant qu'on tend aujourd'hui à rapporter la plus grande partie de ces formations de grès à l'Oligocène, mais je crois que dans les Alpes elles sont encore plutôt de l'Eocène supérieur; en effet par leur position et leur élévation elles montrent qu'elles ont subi, avec le Mésozoïque, le diastrophisme orogénique grandiose, qui ferma justement le période éocénique faisant émerger la chaîne alpine; en outre dans les conglomérats de l'Oligocène typique (p. ex. de la vallée de la Scrivia) on voit abonder déjà non seulement les éléments calcaires mais bien aussi les grès de l'Eocène.

Néanmoins il faut encore noter que le phénomène orogénétique surindiqué n'ayant pas été égal partout, les formations éogéniques plus ou moins grossièrement clastiques à type littoral ne sont pas toutes contemporaines; ainsi par exemple elles commencèrent à se développer dans les régions alpines pendant l'Eocène supérieur, tandis qu'au contraire dans la région subalpine elles se développèrent spécialement pendant l'Oligocène.

Dans l'Eocène supérieur des Alpes on rencontre çà et là les principaux fossiles suivants:

Lithothamnes, parfois en vraies couches; Nummulites parmi lesquelles prédominent les formes petites, tout en n'y manquant pas les moyennes et quelques unes grandes en certains dépôts spéciaux; rappelons p. ex. les couples *N. contorto-striata*, *N. Bouillei-Tournoueri*, *N. variolaria-Heberti*, *N. Fabiani* (*N. intermedia* pars, *N. Fichteli* pars, *N. reticulata* pars, etc.), *N. incrassata* etc.; beaucoup d'Orbitoïdes des gen. *Orthophragmina* (Calcaires à Orbitoïdes), *Spiroclypeus*, *Heterostegina*, *Operculina* (*O. ammonaea*), *Miliolina*, *Globigerina* (*Globigerinen-Schichten* de Kaufmann), *Pulvinulina*, *Textularia*; *Trochosmilia*, *Trochocyathus*, *Flabellum*, *Cyclolites*; *Serpula* (*Tubulostoma* ou *Rotularia*) *spirulaea*; *Conocrinus*, *Echinolampas*, *Echinanthus*, *Conoclypeus*, *Clypeaster*; *Terebratulina*; *Crassatella*, *Cytherea*, *Corbula*, *Chama*, *Pholadomya*, *Venus striatissima*, *Cardita Laurae*, *Lucina*, *Pectunculus depressus*, *P. Jacquoti*, *Ostrea gigantea*, *O. cyathula*, *Pecten suborbicularis* et très nombreuses autres espèces, *Spondylus*; *Natica* (*Ampullina*) *vapincana*, *N. angustata*, *Turritella* (*T. imbricata*), *Dia-stoma costellatum*, *Voluta*, *Conus*, *Fusus*, *Rostellaria*, etc.; *Aturia*; dents de Sélaciens (*Lamna*, *Car-charodon*, *Oxyrhina*, *Notidanus*, *Otodus*, etc.), de Ganoïdes (*Pycnodus*), etc.

Il est remarquable que dans les régions subalpines méridionales (Lombardie-Collines de Turin) le Barthonien présente un faciès caractéristique (*gassinien*) de marnes grises, schisteuses ou friables, très riches en *Zoophycus*, *Phyllites* et en fossiles animaux, particulièrement dans la région de Gassino, d'où le nom de *Gassinien*, Sacco 1888.

Dans cette classique région de Gassino près de Turin affleure la série éocénique médio-supérieure du *Parisien* au *Tongrien* sans sauts, et entre les marnes éocéniques sont fréquentes les intercalations de couches et bancs calcaires constitués en grande partie par des *Lithothamnium* (*L. nummuliticum*, *L. suganum*) avec plusieurs Foraminifères (*Operculina*, *Cyclammia*, *Heterostegina*, *Baculogypsina*, *Gypsina*, *Rotalia*, *Pulvinulina*, *Vaginulina*, *Rupertia*, *Anomalina*, *Orbulina*, *Globigerina*, *Nodosaria*, *Clavulina*, *Verneuilina*, *Spiroplecta*, *Chapmannia*, *Alveolina*, etc.) et spécialement Orbitoïdes (*Orthophragmina*) comme *O. Prattii*, *O. sella*, *O. varians*, *O. discus*, *O. priabonensis*, *O. patellaris*, *O. radians*, *O. stella*, *O. nummulitica*; avec *Nummulites* (*anomala*, *biarritzensis*, *complanata*, *contorta*, *Guettardi*, *striata*, *Tchiathcheffi*, *spissa*, *Molli*, *aticica* etc.) spécialement des sous-gen. *Lahrpeia*, *Gumbelia* et *Paronaea*; Crinoïdes (*Pentacrinus didactylus*, *Bourgueticrinus italicus*, *Conocrinus Thorenti*); Echinides (*Cidaris*, *Porocidaris*, *Rhabdocidaris*, *Psamnechinus*, *Sismondia*, *Echinanthus*,

*Echinolampas*, *Craterolampas*, *Prenaster*); Briozoaires (*Ceriodora*, *Defranceia*, *Hornera*, *Lepralia*); Brachiopodes (*Hemithyris*, *Liothyris*, *Megathyris*, *Terebratulina*, *Cistella*, *Thecidea*, etc.); Mollusques (*Ostrea gigantea*, *O. cyathula*, *Spondylus*, *Procardia*, *Aequipecten*, *Acesta*, *Pholadomya*, *Cirsotrema*, *Galathea*, *Trochus Deshayesi*, *Turritella imbricata* var.; *Aturia*, etc.; *Serpula* ou *Tubulostium spirulaeum*; *Scalpellum* et nombreuses dents de Poissons des gen. *Odontapsis*, *Lamna*, *Oxyrhina*, *Carcharodon*, *Notidanus*, *Acanthias*, *Pycnodus*, *Diodon*, *Lobodus*, etc.

Les Phyllites se rencontrent spécialement parmi les marnes et sont représentées par les genres *Sequoia*, *Quercus*, *Myrica*, *Laurus*, *Cinammomum*, *Daphogene*, *Elaeagnus*, *Lomatites*, *Cassia*, *Echitonium*, etc.

Il est remarquable que plusieurs fossiles des marnes bartoniennes (p. ex. près de Gassin et Combabbio) présentent une forte ressemblance avec ceux des marnes miocéniques, ce qui donna lieu pour quelque temps à une interprétation chronologique erronée; du reste même récemment Vogl (*Die Fauna d. sogenn. Bryoz. merg. v. Piszke*, 1911) indiqua en cet horizon des espèces éocéniques réunies avec des espèces vivantes. Ces faits, qui se répètent plusieurs fois dans la série stratigraphique, sont dûs en grande partie à la recurrence naturelle de formes égales ou très analogues en des dépôts similaires, telle est l'importance du milieu sur les formes organiques.

Pendant l'Eocène supérieur aussi, en continuation naturelle de ce que se vérifia déjà çà et là dans l'Eocène moyen, certaines régions alpines ou subalpines présentèrent un régime littoral, saumâtre, lagunaire, à *Potamides*, *Cerithium trochleare* var. *Diaboli*, *C. plicatum* var. *alpina*, *C. hexagonum*, *Diastoma costellatum*, *Melania lactea*, *Natica* (*Ampullina*) *Picteti*, *N. (A.) Vapincana* ou *N. Vulcani*, *Cyrena convexa* var. *vapincana*, *C. rouyana*, *Cardium rouyanum*, etc.; ces formations, çà et là lignitifères passent souvent, sans fortes différences lithologiques et paléontologiques, de l'Eocène moyen au supérieur (p. ex. dans la région des Diablerets) et parfois même de celui-ci à l'Oligocène, comme p. ex. dans le Bassin des Déserts, dans le Bassin d'Aix et en autres semblables conques lagunaires-lacustres du grand Bassin du Rhône et d'autres régions.

Ainsi de même on peut attribuer spécialement à l'Eocène sup., avec passages en haut et en bas, certains dépôts spéciaux, irréguliers, gréseux ou sableux-marneux avec minces intercouches calcaires ou même lignitiques (Lignites de la Debruge ou Lignites à *Palaeotherium* de Gargas-Vaucluse) avec graines de *Chara Meriani*, mais spécialement Mollusques, comme *Cyclostoma* (*C. mumia*), *Nystia* (*N. plicata*), *Hydrobia* (*H. pulchra*), *Planorbis* (*P. planatus*, *P. Rouvillei*), *Melania Laurae*, *Lymnaea* (*L. pyramidalis*, *L. longiscuta*, *L. acuminata*), outre à de nombreux Vertébrés, comme *Palaeotherium magnum*, *P. medium*, *P. crassum* (d'où le nom de *Palaeothérien* où Âge des *Palaeotherium*), *Paloplotherium*, *Anoplotherium*, *Lophiotherium*, *Xiphodon* (*X. gracile*), *Anchinolophus*, *Adapis*, *Chaeropotamus*, *Coebocherus*, *Cynodictis*, *Hyaenodon*, *Pterodon*, *Peratherium*, etc., ainsi qu'on le voit par exemple dans la partie inférieure du fameux groupe d'Aix.

Au point de vue paléontologique il est intéressant observer que déjà dans l'Eocène moyen et surtout dans l'Eocène supérieur se développent plusieurs espèces (p. ex. *Ostrea cyathula*, *Cyrena convexa*, *Cardita Laurae*, *Cytherea incrassata*, *Bayania semidecussata*, *Cerithium plicatum*, *C. trochleare* etc.) qui deviennent ensuite abondantes dans l'Oligocène, même avec peu de variations; cela évidemment à cause de l'analogie des conditions de vie dans certaines régions en deux périodes géologiques différentes.

Pour des longues listes de fossiles de l'Eocène des Alpes occidentales je renvoie à l'ouvrage récent de I. Boussac (*Etudes strat. sur le Nummulitique alpin*, 1912).

## OLIGOCÈNE.

Les terrains oligocéniques ou proïcéniques restent en général exclus de la région interne des Alpes pr. d. sauf qu'on veuille, suivant l'interprétation de quelques géologues, y comprendre les formations, en grande partie gréseuses, souvent même très puissantes, connues sous le nom de *Grès d'Annot*, *Gurnigelsandstein*, etc., qui par endroits prévalent dans la partie supérieure du Flysch.

Certainement en quelques régions subalpines, p. ex. en celle de les Déserts, près de Chambéry (où les Grès micacés ou *Grès des Déserts* sont représentés par des grès siliceux à Pectens, Huitres, petites Nummulites, etc., par des Schistes feuilletés, *Pseudoflysch* à Fucoïdes, par des Schistes à écailles de Poissons (*Meletta*), etc.), on observe une sorte de transition entre l'Eocène supérieur et l'Oligocène, tous deux à nature marnoso-gréseuse; et même lorsqu'on trouve des fossiles on est parfois indécis dans la délimitation précise des deux étages géologiques, car certaines formes se développent aussi à travers deux périodes géologiques quand le milieu de sédimentation est analogue. J'indique par exemple la formation éo-oligocénique des environs de Chambéry qui présente ininterrompue la série de couches suivante.

Dans la partie inférieure se développe l'Eocène moyen à calcaires grossiers et à conglomérats avec *Numm. perforata*; suivent des marnes schisteuses brunes lignitifères avec *Natica vapidana*, *N. Picteti*, *Deshayesia alpina*, *Cerithium trochlear* var. *Diaboli*, *C. plicatum*, *C. hexagonum* *C. Wein-kauffi*, *Melania costellata*, *Cytherea Villanovæ*, *Cardium rouyanum*, *C. granulosum*, *Trochocyathus allonsensis*, etc. On trouve au dessus, en série ascendente formant l'Eocène supérieur, des calcaires à *Nummulites striata*, *N. Ramondi*, plusieurs *Trochocyathus*, poudingues, molasses et calcaires à Nummulites, *Flysch* à Fucoïdes et écailles de Poissons et enfin une formation de grès, avec laquelle on pourrait clôre la série éocénique.

On trouve ensuite une zone intermédiaire de Grès avec petites Nummulites à faciès éo-oligocénique.

Après quoi se développe la vraie formation oligocénique représentée, en série toujours ascendente, par des couches gréseuses-conglomératiques à Polypiers (*Heliastrea*, *Latimeandra*, etc.) et *Natica crassatina*, *N. Pilleti*, *N. angustata*, plusieurs *Cerithium* (*C. Davidi*, *C. calculosum*, *C. Larmarki*), *Turbo clausus*, *Cardium*, *Crassatella*, *Cytherea* (*C. splendida*, *C. subarata*), *Turbo*; grès et sables à *Bithynia Dubuissoni*, couches à Operculines et *Cardita Laurae*, *Flysch* à Fucoïdes et écailles de Poissons rappelant beaucoup le Flysch éocénique, et enfin molasses et marnes rougeâtres à *Helix Ramondi* ou *H. rugulosa*, *Sabal*, etc., c'est-à-dire le faciès typique de la *Molasse rouge*.

Dans la régulière série éo-oligocénique de Gassino près de Turin on voit sur certains points, spécialement près de C. Battaina, qu'il y a une sorte de passage graduel entre l'Eocène supérieur et l'Oligocène inférieur, au moyen de sables avec petites Nummulites des groupes *Paronaea* et *Lahrpeia*, (*N. Tchiathcheffi*, *N. miocontorta*, *N. variolaria*, *N. striata*, *N. Orbigny*, *N. elegans*, *N. crispa*, *N. eocenica*, *N. gassinensis*) et Orbitoïdes du groupe *Orthophragmina*, comme *O. scalaris*, *O. Chudeaui*, *O. nummulitica*, etc., c'est-à-dire des formes qui sont dans l'ensemble plutôt à type éocénique, tandis que les bancs sableux qui les contiennent se relie mieux à la formation sableuse-caillouteuse de l'Oligocène.

Or si dans cette série éo-oligocénique typique et complète des environs de Chambéry, comme dans celle des environs de Gassino et en d'autres cas semblables, où la succession des dépôts est complète, régulière et fossilifère, l'incertitude reste quant à la division entre l'Eocène et l'Oligocène, ce qui est naturel s'agissant de divisions arbitraires, on comprend facilement que dans

le cas plus fréquent et presque général où les fossiles manquent ou presque, l'interprétation chronologique et la distinction des formations géologiques deviennent encore plus incertaines.

Néanmoins puisque les divisions géologiques ont généralement été faites sur ces changements litho-paléontologiques, qui sont la conséquence directe et immédiate de phénomènes orogénétiques accentués et puisque le plissement orogénique qui ferma le période éocénique, produisant la première grandiose émergence de la chaîne alpine, fut extraordinairement puissant, il semble ainsi logique de rapporter encore à l'Eocène supérieur les dépôts de grès qui ferment la série sédimentaire marine nettement alpine, en étant ainsi presque exclus le vrai Oligocène.

L'Oligocène typique au contraire est très développé soit dans les régions subalpines françaises et suisses, soit dans les préalpes lombardes et dans les régions appenniniques, prenant souvent un faciès grossièrement clastique, c'est-à-dire de grès et de conglomérats même à gros éléments, ce qui nous prouve de la plus claire façon qu'alors les Alpes étaient déjà notablement émergées et que, sortant de la phase sédimentaire, elles étaient entrées dans la phase de puissante abrasion.

Dans la Suisse les poudingues oligocéniques, comme les miocéniques, sont en grande partie d'origine alpine et se présentent en couches parfois fortement disloquées (les anciennes), et ensuite toujours moins (dans le Miocène), formant des séries très puissantes.

Près du Jura, au contraire, prédominant naturellement les éléments calcaires jurassiens (*Jura Nagelfluh* ou *Nagelfluh Jurassien*), les couches sont moins disloquées et forment des dépôts beaucoup moins puissants. Dans certaines régions néanmoins on vérifie le mélange des éléments alpins et jurassiens, en général pourtant avec la prévalance des alpins comme les plus abondants, les plus résistants et portés plus loin.

Dans la région du Jura l'Oligocène est parfois à faciès semi-continental de dépôts ferrugineux rougeâtres (c'est-à-dire le terrain sidérolithique), continuation des analogues qui se sont formés pendant l'Eocène et ils englobent des restes de *Palaeotherium magnum*, *P. curtum*, *P. Muhlbergi*, *P. Moeschi*, *Plagiolophus minor*, *Pl. Fraasi*, etc.

En excluant de l'Oligocène le *Flysch* alpin plus ou moins gréseux, ainsi que j'ai déjà énoncé dans la Note sur « *Les terrains tertiaires de la Suisse - 1888* », je crois qu'on y doit, au contraire, rapporter nombre de puissantes formations suisses et françaises, de l'épaisseur même de plusieurs centaines de mètres, qui sont généralement aujourd'hui rapportées préféremment à l'Aquitainien. Ainsi la partie inférieure de la *Molasse d'eau douce inférieure* (*Unt. Süsswasser Molasse*), *Délemontien* Greppin - 1867, *Molasse à charbon* ou à lignite (de Rochette), *Molasse saumâtre*, *Grès d'Allingues* près Thonon, *Grès de Ralligen* ou *Rallig-Sandstein*, *Grès poudinguières*, *Molasse rouge* ou *bigarrée* (*Rothe-Molasse*), *Bunte-Mergel*, *Marnes bariolées*, *Horwer-Schichten*, *Molasse saumâtre*, etc., représentés par des dépôts plus ou moins grossiers (grès, conglomérats, poudingues, Nagelfluh, Gompholites, etc.) alternés avec des dépôts marneux-gréseux, marneux et plus rarement même calcaires à type continental, deltoïdéo-lacustre passant parfois au saumâtre (avec teint gris-jaunâtre, çà et là bariolé) avec intercalations lignitiques (*Peckkohle*) (p. ex. *Lignites de Rochette* près de Lausanne, *Lignites de Manosque*, de *Vaucluse*, etc.), interstratifications bitumineuses, zones argileuses jaunes-rougeâtres. Çà et là il y a des fossiles, soit végétaux (*Palmacites*, *Sabal*), soit spécialement Mollusques, comme *Helix*, (*H. Ramondi*, *H. Dolfussi*, *H. rugulosa*, *H. moguntina*, *H. Lucani*), *Striatella* (*S. Nysti*), *Hydrobia* (*H. Dubuissoni*), *Vivipara soriciniensis*, *Paludina gravistriata*, *Glandina Revili*, *G. inflata*, *Cyclostoma divionense*, *Cyclotus*, *Neritina aquensis*, *Melania* (*M. Escheri*, *M. Nysti*), *Melanoides Lauræ*, *Melanopsis* (*M. acuminata*), *Potamides* (*P. longispira*, *P. Lauræ*, *P. elegans*, *P. Lamarcki* [*Marnes à Lamarcki*]), *P. microstoma*, *P. margaritacens*), *Nystia* (*N. Duchasteli*), *Lymnea* (*L. cænobii*, *L. pachygaster*, *L. auri-*

cularia), *Planorbis* (*P. cornu*, *P. Mantellii*, *P. solidus*, *P. depressus*), *Dreissensia Basteroti*, *Cyrena* (*C. gargasensis*, *C. semistriata*, *C. convexa*), *Sphærium* (*S. gibbosum*), *Unio*, en outre de restes de Poissons (*Smerdis*) et spécialement de Vertébrés supérieurs, comme le caractéristique *Anthracotherium magnum* (*Anthracotérien*), *A. Cuvieri*, *A. hippoideum*, *Aceratherium*, *Tapirus helveticus*, *Rhinoceros minutus*, *Hyopotamus*, *Cænoterium commune*, *Hyotherium*, *Drematherium*, *Plagiolophus*, *Amphycion*, *Peratherium*, *Cynodictis*, ainsi que Crocodiles, Chéloniens (*Emys*, *Tryonix*, etc.).

Il y a en outre aussi des vastes zones d'Oligocène à faciès marin-littoral (*Tritonien* de Thurmann, 1836), préféremment grès-marneux (*Molasse marine inférieure*), souvent avec passages et liaisons aux les formations marécageuses à *Potamides*, *Cérithides*, *Cardites*, etc.

Rappelons parmi les formes prévalentes dans la faune marine oligocénique subalpine: les petites Nummulites, résidu de la grande faune nummulitique de l'Eocène, comme *Nummulites intermedia-Fichteli*, *N. Bouillei-Tournoueri* (qui remonte de l'Eocène sup.), *N. vasca-Boucheri* (*N. miocontorta*); *Orthophragmina*, *Lepidocyclina dilatata*; *Rhabdophyllia*, *Latimeandra*, *Heliastrea*, *Echinolampas*, *Clypeaster*; *Ostrea gigantea*, *O. cyathula*, *O. callifera*, *O. pycnodonta*, *O. Brongniarti*, *Cytherea incrassata*, *Cardita* (*C. Laurae*, *C. Bazini*), *Crassatella* (*C. oligocénica*, *C. carcarenensis*), *Cyprina rotundata*, *Pecten arcuatus*, *Spondylus cisalpinus*, *Pectunculus Jacquoti*, *P. obovatus*, *Cyprina*, *Panopaea Menardi*, *P. Heberti*, *Pholadomya Puschi*, *Corbulomya*, *Psammobia*, *Pecten Thorenti*, *Parvamussium Browni*; *Dentalium apenninicum*, *D. hoeringense*; *Chenopus pescarbonis*, *Eburnea Caronis*, *Diastoma costellatum*, *D. Grateloupi*, *Tritonium flandricum*, *Potamides* (*P. margaritaceus*, *P. submargaritaceus*, *P. Lamarcki*), *Natica crassatina*, *N. Garnieri*, *N. Pilleti*, *N. angustata*, *Conus Grateloupi*, *Voluta*, *Melongena Lainei*, *Trochus lucasianus*, *Turbo*, *Bayania decussata*, *Cerithium* (*C. Charpentieri*, *C. bidentatum*, *C. Galeotti*, *C. plicatum*, *C. trochleare*, *C. calculosum*), *Strombus radix*, *Solarium*, *Chenopus pescarbonis*, *Pleurotoma*; *Lamna cuspidata*, *Carcharodon*, *Otodus*, *Notidanus*, etc.

Parfois se développent des Argilolites spéciales à couleur lie de vin et des marnes rutilantes ou verdâtres (p. ex. *Marnes bigarrées* et *panachées de la Perte du Rhône*, *Argiles de Lestaque* ou *Argiles rouges de Marseille* à *Anthracotherium*, *Argiles de Saint-Henri* dans le bassin de Marseille) qui, par alternances et passages latéraux, se relie aux Molasses rouges et aux Marnes calcaires ou gréseuses, tandis que semblent aussi s'y rattacher des sédiments locaux d'argiles sidérolithiques (*Hupererde*).

Ne manquent pas non plus, bien que rares, les lentilles gypseuses (*Gypse de Gargas*) qui complètent le cadre de cette complexe formation fluvio-lacustro-marécageuse ou lagunaire, qui parfois (voir p. ex. dans le fameux Bassin d'Aix) semble former un passage entre l'Eocène à *Palaeotherium* et l'Oligocène à *Anthracotherium* et qui par endroits prend aussi l'aspect de certaines zones du *Flysch* alpin supérieur, formant ainsi une sorte de *Flysch oligocénique*, même avec Fucoïdes, écailles de Poissons, etc., comme on le voit p. ex. dans le Bassin des Déserts près de Chambéry.

Rappelons aussi qu'entre les couches marneuses gréseuses, soit littorales soit continentales, on trouve des restes d'une flore à type subtropical avec quelques formes de climat tempéré, parfois très riche en Fougères (*Pecopteris*, *Pteris*), Gymnospermes (*Pinus*, *Callytris*, *Podocarpus*, etc.) et Angiospermes (*Flabellaria*, *Sabal*, *Phaenicites*, *Poacites*, *Potamogeton*, *Myrica*, *Andromeda*, *Cassia*, *Ficus*, *Laurus*, *Cinnamomum*, etc.).

Parmi les régions typiques pour le développement de la formation oligocénique je crois opportun de rappeler, comme exemple classique, le fameux groupe d'Aix (*Sextien* De Rouville, 1853), qui se transforme latéralement dans les habituelles et puissantes formations clastiques rougeâtres, tandis que dans le Bassin à développement plus tranquille nous voyons se succéder, avec croisements latéraux, la série (schématisée) suivante:

En bas la formation éocénique supérieure, constituée par des marnes sableuses avec intercalations calcaires et lignitiques à *Potamides*, *Limnaea longiscata* et une faune très riche de Vertébrés, comme *Palaeotherium*, *Paloplotherium*, *Anoplotherium*, *Xiphodon*, *Cynodictis*, *Hyaenodon*, etc. (Faune de S.te Radégonde près de Aix).

La série oligocénique commence ensuite avec les *Calcaires en plaquettes de Gargas*, çà et là aussi avec Gypse (*Gypse d'Aix*) à *Cyrena semistriata* (*Calcaires à Cyrena*), *Hydrobia*, etc., avec équivalance latérale aux Calcaires à *Striatella Nysti* et *Nystia Duchasteli*, *Cyrena*, *Melanoides*, etc.

Suivent en haut d'autres Calcaires (*Calcaires de Cèreste*) en partie de même en plaquettes, à *Lymnaea*, *Hydrobia Dubuissoni*, *Melania*, *Melanopsides*, *Melanoides Laurae*, *Striatella Nysti*, *Vivipara*, *Planorbis cornu*, *Potamides microstoma*, *P. rhodanicus*, *Unio*, *Cyrena*, *Sphaerium*, *Cypris*, schistes ichthyolitifères (*Smerdis*, etc.) avec Insectes et la riche *Flore de Cèreste* décrite par De Saporta.

Au dessus se développent les marnes lignitifères avec la *Flore de Manosque* ou *Flore de Vaucluse*, décrite de même par De Saporta, et les restes de *Anthracotherium magnum*, *Crocodylus*, *Platemys Lachati*; ensuite les calcaires lacustres (*Calcaire blanc de Vachères*) à *Planorbis cornu* et *Lymnaea pachygaster*.

Le complexe groupe d'Aix se ferme avec des marnes grises et rougeâtres, localement caillouteuses, souvent lignitifères, et avec des calcaires lacustres gris renfermant *Panorbis cornu*, *Lymnaea pachygaster* et aussi *Helix Ramondi*.

Dans le grand Bassin d'Apt (l. s.) nous trouvons aussi çà et là des belles séries éo-oligocéniques, qui présentent en bas les dépôts éocéniques lacustres à *Planorbis pseudammonius*, *Amphidromus Hopei*, etc.

Suivent en haut les terrains oligocéniques (de Gargas ou S.<sup>te</sup> Radégonde, etc.) à *Cyrena gargasensis*, *C. semistriata*, *Planorbis cornu*, *Potamides microstoma*, *P. rhodanicus*, *Melanoides Laurae*, *Lymnaea pachygaster*, *L. Coenobii*, *Hydrobia Dubuissoni*, *Striatella Nysti*, *Sphaerium gibbosum* et parfois, parmi les marnes lignitifères, restes de *Cyclostoma antiquum*, *Helix Ramondi*; *Palaeotherium magnum*, *P. medium*, *Paloplotherium minus*, *Anoplotherium commune*, *Xiphodon gracile*, *Cebochærus anceps*, *Cynodictis lacustris*, *Hyaenodon Requieni*, *Pterodon dasyuroides*, *Adapis parisiensis*, Chéloniens, etc. Dans les régions oligocéniques situées à l'extérieur du cercle alpin, ainsi que dans les préalpes lombardes, où l'Oligocène est représenté essentiellement par des puissantes accumulations caillouteuses polygéniques (*Gompholite*, *Conglomérat comense*) à éléments parfois déformés et écrasés par les énormes pressions subies, la division de la série oligocénique devient difficile, étant donné aussi l'enlacement des différentes formations littorales, saumâtres et continentales.

Dans le Bassin tertiaire du Piémont, où la sédimentation s'accomplit d'une façon assez régulière, on peut distinguer dans l'Oligocène (*Bormidien* de Pareto, 1865; *Miocène inférieur* des anciens Géologues et Paléontologues du Piémont) un horizon inférieur (**Tongrien**) puissant, essentiellement conglomératico-gréseux, souvent rougeâtre ou gris-jaunâtre, çà et là lignitifère (Lignites de Cadibona et de Bagnasco) et un horizon supérieur, essentiellement marneux-gréseux, grisâtre, **Stapien** ou *Rupélien*.

Entre l'Oligocène et l'Eocène supérieur il existe dans les Collines de Turin (près de Gassino), ainsi que je l'ai indiqué plus haut, une formation de passage très intéressante, qui, tout en ayant un faciès gréseux-caillouteux absolument concordant et analogue à celui du Tongrien, présente encore quelques Nummulites du Bartonien, comme *N. miocontorta*, *N. Rosai*, *N. striata*, *N. operculiniformis* selon quelques auteurs et au contraire *N. contorto-striata*, *N. Orbignyi-elegans*, *N. gasinensis*, etc., selon d'autres; constituant ainsi une vraie faunule nummulitique, éocénique dirais-je, survécue jusqu'au commencement de l'Époque oligocénique.

De la très riche faune TONGRIENNE nous pouvons rappeler les principales formes suivantes: *Lithothamnium* et *Cymopolia*; *Nummulites intermedia* — *N. Fichteli*, *N. vasca* — *N. Boucheri*, etc., *Lepidocyclina dilatata*, etc., quelques *Orthophragmina*, *Heterostegina*, *Operculina*, etc.; grand nombre d'Anthozoaires (des genres *Flabellum*, *Trochocyathus*, *Stylophora*, *Montlivaultia*, *Cladangia*, *Calamophyllia*, *Euphallia*, *Mycetophyllia*, *Hydnophora*, *Heliastraea*, *Stylocoenia*, *Latimeandra*, etc.) formant parfois des petits atolls posés sur les roches cristallines de l'Appennin ligurien; nombreux Echinodermes (des genres *Euspatangus*, *Schizaster*, *Echinolampas*, *Clypeaster*, *Scutella*, *Pericosmus*, etc., ainsi que *Pentacrinus*); plusieurs Briozoaires (*Lunularia*, *Micropora*, *Membranipora*, etc.) et Brachiopodes (*Lacazella*, *Lyothyrina*, etc.); de très nombreux Bivalves, comme *Pholadomya Puschi*, *Glycimeris*, *Crassatella carcarensis*, *Axinea oblita*, *Spondylus bifrons*, *Actinobolus Laurae*, *Pecten arcuatus*, *Aequipecten deletus*, *Ostrea gigantea*, *Pycnodonta Brongniarti*, etc.; Gastéropodes très abondants (*Prothoma cathedralis*, *Turritella incisa*, *Haustator asperulus*, *H. strangulatus*, *Telescopium Charpentieri*, *Tympanotomus calcaratus*, *T. margaritaceus*, *Volutilithes apenninica*, *Latrunculus Caronis*, *Strombus radix*, *Solarium umbrosum*, *Megatylotus crassatinus*, *Turbinella episoma*, *Melongena basilica*, *Fusus Tournoneri*, *Ferussina anastomaeformis*, etc.; restes de Balanides, de Squalides (*Odontapsis*, *Charcharodon*, etc.); tandis que dans les dépôts lacustres lignitifères de Cadibona, Bagnasco, etc., on trouve des restes du caractère *Anthracotherium magnum* avec *Aceratherium*, *Lymnaea anthracotheriorum*, *Tropidiscus lignitarum*, etc.

La Flore tongrienne, à type subtropical, est représentée spécialement par *Chara*, *Chrysodium*, *Pteris*, *Blechnum*, *Goniopteris*, *Aspidium*, *Glyptostrobos*, *Sequoia*, *Pinus*, *Poacites*, *Cyperus*, *Cyperites*, *Sabal*, *Phaenicites*, *Myrica*, *Quercus*, *Populus*, *Salix*, *Iuglans*, *Dryandroides*, *Laurus*, *Sassafras*, *Cinammomum*, *Ilex*, *Rhamnus*, *Cassis*, etc.

La formation STAMPIENNE est moins richement fossilifère que non la tongrienne, à laquelle elle est du reste très analogue, seulement à type moins fortement littoral; rappelons p. ex. les nombreux *Schizaster*, les Huîtres (*Pycnodonta Queteleti*, *P. cochlear*, *Ostraea cyathula*, *O. gigantea*, *O. Cosmanni*), *Pecten arcuatus*, *Nucula apenninica*, *Pholadomya trigonula*, *Natica eburniformis*, *Entalis simplex*, plusieurs dents de Squalides (*Odontapsis*, *Charcharodon*, *Oxyrhina*, etc., etc.).

## MIOCÈNE.

Les formations miocéniques reposent dans les dépressions (ordinairement synclinales dans leur ensemble) des régions circumalpines françaises et suisses, tandis qu'en Italie elles se disposent soit en anticlinal propre (comme dans les collines de Turin), soit en grandiose synclinal à former le classique Bassin tertiaire du Piémont.

Du côté septentrional des Alpes les formations miocéniques se présentent spécialement comme dépôts gréseux, c'est-à-dire: *Molasses* (d'où le nom de *Période molassique* adopté par quelques auteurs) marines (*Meeresandstein*), *Molasse subalpine*, *Plattenmolasse*, *Mergelsandstein*, ordinairement de mer basse ou de littoral, çà et là fossilifères (Pectens, Huîtres, Cardites, Vénérides, Turritelles, etc. d'où le nom de *Grès coquillier* ou *Muschelsandstein*), intercalés parfois avec des couches ou bancs caillouteux ou conglomératiques (*Gompholite*, *Nagelfluh*, *Poudingue*, etc.) et passant même à des dépôts marécageux ou lacustres (*Molasse d'eau douce inférieure*, *Untere Süßwassermolasse*, *Blättermolasse* ou *Blättersandstein*) avec lentilles de lignite, etc.

La question de l'origine des grandioses dépôts de cailloux, qui représentent une bonne partie

de la série oligocénique et miocénique dans les régions subalpines, n'a pas encore trouvé une explication définitive satisfaisante.

Si on observe ces dépôts dans les régions piémontaises, où ils présentent aussi des blocs irréguliers, épars, même de 4 à 5 m. de longueur, aspect chaotique, parfois en des accumulations énormes, au milieu des dépôts marins fossilifères, l'idée vient aussitôt d'un transport direct glacial au moyen de glaces flottantes.

Mais si nous observons ces dépôts (*Nagelfluh*, etc.) du côté septentrional des Alpes, on voit qu'ils se présentent au milieu des marnes sableuses et des molasses sous forme de couches et bancs, plus ou moins lenticulaires, à éléments arrondis vraiment caillouteux qui, très puissants auprès des Alpes, s'amincissent et perdent leur puissance (diminuant aussi les dimensions des éléments singuliers) à mesure que nous nous éloignons du bord des Alpes, tandis que vers les régions du Jura apparaissent dans ces dépôts caillouteux les éléments calcaires jurassiens mêlés à ceux des roches cristallines des Alpes, d'où le nom de *Nagelfluh polygénique*. Si bien que là il semble plus naturel d'expliquer ces dépôts comme de transport fluvio-torrentiel à faciès deltoïdo-littoral par le débouché des grands fleuves descendants en précipice des Alpes (en moindre degré du Jura) et se jetant par conséquent avec impétuosité dans les mers basses, les marennes et même dans les régions lacustres qui entouraient alors la chaîne alpine; interprétation qui s'accorde assez bien avec la nature subtropicale de la Flore terrestre et de la Faune marine de ces périodes.

Du reste le fait de la distance des conglomérats grossiers oligo-miocéniques des Collines de Turin (l. s.) des Alpes, d'où dérivent la plus grande partie de ces éléments rocheux, fait qui appuierait l'hypothèse d'un transport glaciaire nécessaire pour expliquer cette distance de 20-30 et plus kilomètres entre la région d'origine et la position actuelle, perd presque toute son efficacité si, ainsi qu'il est indiqué dans la petite carte géologique qui accompagne cet ouvrage, on reconstruit l'oro-hydrographie d'alors; car, en enlevant les dépôts pliocéniques et quaternaires, il résulte que la chaîne alpine s'étendait dans le Piémont, pendant l'Oligo-miocène, immensément plus qu'aujourd'hui si bien que la mer oligo-miocénique venait battre les flancs alpins à peu de distance de la ligne actuelle des Collines de Turin-Chivasso.

Cette interprétation, ainsi qu'elle est esquissée dans la Carte géologique, nous explique aussi:

1° le curieux mélange que nous trouvons dans les dépôts miocéniques des Collines de Turin d'éléments caillouteux à type alpin et d'éléments calcaires et de grès (même parfois peu roulés) à type appenninique, car les formations éocéniques devaient alors se développer beaucoup presque jusque contre les flancs des Alpes du Piémont.

2° L'extraordinaire abondance de cailloux granitiques, porphyriques, phanitiques etc. qui rappellent la constitution lithologique de la zone subalpine de Lanzo-Ivrea-Biella-Lac Majeur, dérivant en effet de l'érosion de la continuation de cette zone vers SW., c'est-à-dire presque à la région turinoise, avant le Néogène;

3° Cela nous explique aussi la curieuse déviation de l'anticlinal turinois par rapport à la direction habituelle (S. E-N. W.) du plissement appenninique, dont les Collines de Turin représentent le terme final, dévié justement par son choc, dirais-je, contre les flancs alpins

Néanmoins il n'est pas improbable que déjà pendant l'Oligo-miocène sur les Alpes Occidentales, avec les phénomènes de précipitations grandioses (qui ont rapidement et si profondément et amplement rongé, incisé et déchiqueté la chaîne alpine qui surgissait alors) aient pu se vérifier aussi des précipitations neigeuses abondantes au point de donner naissance à des zones ou calottes glaciaires, peut-être pourtant sans former de vrais fleuves glacés comme les quaternaires, n'étant

pas les vallées alpines encore alors assez profondément encaissées pour pouvoir accueillir de vrais fleuves glaciaires comme les plistocéniques.

De toute façon l'élément glaciaire, qui s'est probablement développé plusieurs fois sur les Alpes pendant l'Ere tertiaire, peut avoir contribué en quelque manière à la grossièreté de certains conglomérats subalpins.

La preuve de l'énorme érosion surindiquée de la chaîne alpine pendant l'Oligo-Miocène nous l'avons dans l'extraordinaire puissance des dépôts marins correspondants, qui pour la Molasse suisse est de plus que mille mètres, tandis que dans l'intérieur de l'arc alpin, c'est-à-dire dans le Bassin du Piémont, elle est naturellement encore plus grande, c'est-à-dire de plusieurs milliers de mètres.

Dans le Miocène est spécialement développé le faciès néritique, souvent avec prévalence du type littoral ou des zones des Laminaires, c'est-à-dire à Faluns (*Falunien* d'Orbigny), molasses, grès à Pectens, Huitres, Turritelles, Clypéastres, Balanes, etc., et qui devient prédominant dans une grande partie de l'*Aquitanien* et spécialement dans l'étage *Helvétique*, parfois même prévalant le faciès de la zone coralligène, comme dans le typique *Tortonien*. Mais comme bien caractéristique y comparait aussi le faciès bathyal ou de la zone marine profonde à marnes argileuses ou *Schlier* à Amussiums, Nucules, Gryphées, Pleurotomes, Pléropodes, etc., qui prédomine dans l'étage *Langhien*. D'autre part souvent la formation miocénique passe au faciès de delta (avec les *Nagelfluh*, les *Gompholites*, etc.) ou lagunaire-saumâtre, çà et là gypsifère, avec Potamides, Cerilhides, Mélanies, Mélanopsides, Néritines, Congéries, etc., qui prédomine souvent dans le Miocène supérieur *Sarmatien*, comme aussi dans le *Pontien* ou *Messinien*, etc., bien que comparaisant fréquemment aussi dans certaines zones subalpines et introalpines de plusieurs étages du Miocène. Ou bien le Miocène se présente par endroits avec faciès continental, spécialement lacustre, comme dans l'*Oeninghien*.

J'ai indiqué que ces différents faciès prédominent en des horizons géologiques, spéciaux ce qui est en rapport avec des phénomènes orogénétiques qui se sont accentués de temps en temps en certaines périodes du Miocène, mais cela ne veut pas dire, ni que chaque période ait seulement un faciès déterminé (car les conditions varient, soit dans une même région dans des moments divers, soit dans des régions différentes même pendant une même période), ni que les étages géologiques qui ont été distingués avec des critères en partie lithologiques dans la série miocénique n'aient aucune valeur chronologique, mais aient seulement une valeur bathymétrique ou de simple faciès, ainsi que le soutiennent quelques Géologues.

Dans les régions suisses, étant donnée la nature littorale-lagunaire-lacustre prédominante pendant la série miocénique et très variable de place en place et de temps en temps, ce qui du reste est en relation étroite avec la position géographico-géologique de cette région, c'est naturellement une chose difficile et incertaine que de pouvoir classer les dépôts suivant l'échelle typique, ainsi que j'ai déjà essayé de le faire par une note spéciale sur « *Les terrains tertiaires de la Suisse - 1888* ».

On peut dire en général qu'une partie de la *Molasse d'eau douce inf.* (*Unt. Suss. wass. Molasse*) ou *Molasse lausannienne* (*Lausannien* de Rollier, 1892), comme aussi une grande partie de la *Molasse grise de Lausanne*, qui renferme parfois des phyllites (*Cinammomum*), des Mollusques continentaux p. ex. *Helix lausannensis* et des Reptiles, Mammifères, etc., parfois avec des interstratifications calcaires, est à rapporter au Miocène inférieur (**Aquitanien**), auquel sont à rapporter aussi les *Hohe-Rhone Schichten*, la *Brackwasser-Molasse* (p. p.), etc.

Quant au **Langhien**, qui représente typiquement un faciès de mer plutôt profonde, tel que ne put se vérifier, pendant l'époque miocénique, dans une région aussi intracontinentale

et relativement élevée comme était la Suisse, il est un peu difficile de le distinguer dans la série miocénique helvétique; y appartient probablement une partie plutôt marneuse de la Molasse dite grise, avec le faciès de *Molasse grise à feuilles* ou *Blättermolasse*.

La Molasse marine (*Meeres-Molasse, Molasse subalpine, Plattenmolasse, Luzerner-Schichten, Berner-Schichten, Saint Gallen-Schichten, Auster-Sand* ou bancs à Huitres, *Muschel-Nagelfluh, Muschel-sandstein, Grès coquillier*, etc.) représente le Miocène moyen ou **Helvétique** (l. s.) et renferme souvent de nombreux fossiles ou même seulement des débris ou empreintes de fossiles marins-littoraux, comme Huitres, Cardites, Pectens, Mactres, Vénérides, Turritelles, dents de Squalides, etc.

Enfin le Miocène supérieur (**Tortonien**), passant parfois en haut au Miopliocène, est représenté en Suisse par la *Molasse d'eau douce sup. (Obere Süßwasser-Molasse, Thurgovien* de Rollier, 1892) çà et là avec fossiles comme Phyllites, *Helix, Planorbis, Lymnæa, Neritina, Unio, Pisidium*, Insectes, Chéloniens (*Testudo Escheri*) et plusieurs restes de Mammifères (*Mastodon turicensis, M. angustidens, Rhinoceros incisivum, Aceratherium, Anchitherium aurelianense, Hyotherium, Dinotherium, Sus, Cynochærus, Cervus, Hylobates*, etc.

Ce sont des formations analogues, mais déjà bien éloignées des Alpes, qui constituent l'*Oeninghien* (Heer, 1865) avec sa Flore riche de centaines d'espèces déjà décrites par Heer il y a un demi-siècle, avec ses *Plattenkalk* ou *Oeningenkalkstein* d'origine lacustre; parfois néanmoins y apparaissent aussi des sables littoraux à *Ostrea longirostris*.

Par endroits les dépôts marins-saumâtres du Miocène suisse sont remplacés, non seulement en haut mais en plusieurs points de la série, par des dépôts continentaux et cela à plusieurs reprises et successivement du Miocène inférieur avec *Aceratherium incisivum, Tapirus, Palæomeryx*, etc., jusqu'au Miocène supérieur à *Mastodon angustidens*, etc.

Rappelons en outre que dans les dépôts, soit marins que lacustres, du Miocène suisse on trouve souvent des restes de Flore riche en genres variés, comme *Sabal, Myrica, Quercus, Salix, Populus, Juglans, Cinammomum, Daphnogene, Cornus, Rhamnus*, etc. ainsi que l'a décrit p. ex. Keller en 1895 pour la Molasse de St. Gall.

Dans les régions françaises la série miocénique est en général beaucoup moins conglomératique que la série suisse, car, pour des raisons oro-hydrographiques naturelles, y fut moins marqué, puissant et étendu le phénomène du débouché de fleuves grandioses et impétueux descendant des Hautes Alpes.

Y prédominent les dépôts gréseux-sableux (*Falunien* l. s. D'Orbigny, 1852) et marneux, bien qu'y existent çà et là des zones introalpines de Miocène caillouteux et conglomératique et souvent les dépôts marins littoraux passent à des dépôts saumâtres ou lacustres continentaux, en rapport avec les nombreuses baies ou bassins qui s'internaient dans les dépressions subalpines ou alpines comme des bras de basse mer terminant ensuite par des marécages ou même fermés à régime lacustre.

Par conséquent la série sédimentaire n'y est pas en général aussi régulière et typique que dans le classique Bassin tertiaire du Piémont et on n'y peut pas aussi bien faire des subdivisions en différents étages; d'autant plus qu'étant donnée parfois la longue continuation du même faciès plus ou moins littoral, plusieurs espèces se conservèrent à travers 2 ou 3 périodes géologiques du Miocène, y rendant difficile les distinctions géo-paléontologiques.

J'observe que la majorité des Géologues ayant attribué à l'*Aquitainien* une bonne partie des dépôts oligocéniques de la région extérieure des Alpes Occidentales, il en dérivait naturellement des déplacements dans l'interprétation et dans la désignation des étages géologiques; ainsi l'*Aquitainien* (interprété de la manière surindiquée) ferait partie de l'Oligocène, tandis que typiquement

dans l'Aquitaine il représente au contraire l'étage inférieur du Miocène; on a dû en outre créer un nouveau nom, *Burdigalien*, pour désigner des dépôts qui sont en grande partie *aquitaniens*; on créa le nom de *Vindobonien* pour des dépôts essentiellement *helvétiens*, les réunissant à ceux du *Tortonien*. Il en dérivait des confusions regrettables, tandis qu'on avait depuis près d'un demi-siècle une admirable échelle chronologico-stratigraphique et paléontologique fondée sur le Bassin tertiaire du Piémont, situé dans l'intérieur de l'arc alpin.

Schématissant la série miocénique des régions subalpines françaises, c'est-à-dire spécialement du grand Bassin du Rhône, on y pourrait distinguer :

Le Miocène inférieur ou **Aquitanien** (*Burdigalien*) très puissant (même de plusieurs centaines de mètres) représenté par des marnes, sables et molasses (p. ex. *Molasse calcaire* ou *marneuse* ou *sableuse*, *Molasse jaune de Vence*), parfois même par des conglomérats à galets patinés (patine verdâtre), formation qui correspond dans l'ensemble au I<sup>e</sup> *Etage méditerranéen* (*I Mediterran-Stufe* de Suess, 1866) ou *Protomiocène* du Bassin viennois. Par endroits on y trouve aussi des zones calcaires à Nullipores (*Lithothamnium*), Briozoaires, etc.; des zones marnoso-sableuses avec *Cidaris avenionensis*, *Scutella paulensis* (formant parfois des dépôts à *Scutella*), *Clypeaster latirostris*, *Spatangus*, *Psammechinus dubius*, *Echinolampas* (*E. scutiformis*, *E. hemisphaericus*), *Terebratulina*, *Anomia costata*, *Ostrea Boblayei*, *O. squarrosa*, *Exogyra Sellei*, *Pecten* en quantité extraordinaire comme *P. prescabriasculus* (= *P. scabrellus* auct.), *P. subbenedictus*, *P. pavonaceus*, *P. sub-Holgeri*, *P. rotundatus*, *P. restitutensis*, *P. Tournali*, *P. Davidi*, *P. paulensis*, etc., *Cardium*, *Cytherea*, *Tapes*, *Panopaea*, *Lutraria*, *Lucina incrassata*, *Arca*, *Turritella turris*, *Protho cathedralis*, *Nassa eburnoides*, *Murex aquitanicus*, *Balanus*, nombreuses dents de Poissons, spécialement de Squalides (*Lamna*, *Sphaerodus*, *Chrysophris*, etc.).

Il ne manque pas non plus des formations locales plus ou moins continentales avec restes de Flore et Faune saumâtre, lacustre et terrestre.

Le **Langhien** circumalpin français peut moins nettement se distinguer qu'en Piémont et par conséquent il se confond généralement avec la partie inférieure du Miocène moyen et ce à cause de différences d'intensité et de modalité dans les phénomènes orogénétiques sur les deux versants des Alpes occidentales. Néanmoins on y trouve certains horizons marneux grisâtres (p. ex. près de Rumilly) à *Ceratrotrochus*, *Gryphaea*, *Amussium*, *Nucula*, *Pleurotoma*, *Dentalium*, qui peuvent en partie se rapporter au *Langhien*; d'une façon analogue à ce qu'on peut faire pour des dépôts similaires marneux-argileux gris (dits *Schlier*) du Miocène de la vallée du Danube à *Pecten denudatus*, *Solenomya Doderleini*, *Leda clavata*, *Nucula Mayeri*, *Lucina ottangensis*, *Nucula elegantissima*, *Pleurotomides*, etc. Ce qui prouverait que se vérifia aussi dans les Alpes orientales le diastrophisme qui donna naissance à la sédimentation à type bathyal dans l'intérieur (Piémont) des Alpes Occidentales.

Le Miocène moyen ou **Helvétien** (l. s.) (*Vindobonien inf.*), horizon de grès, sables, molasses et marnes (p. ex. de Cucuron, de Visan, de Cabrières et de nombreuses régions du Dauphiné); horizon très important par puissance (même plus de 100 mètres), extension et richesse de fossiles essentiellement à type néritique, c'est-à-dire de basse mer passant souvent à littoral, et par conséquent constitué par des sables et grès, molasse (p. ex. la *Molasse grise de Vence*), çà et là avec intercalation caillouteuses, et souvent par des marnes plus ou moins gréseuses, comme l'analogue formation de Grund (*Grundon*, Mayer 1888) du II<sup>e</sup> *étage méditerranéen* II (*Mediterran-Stufe* de Suess, ou *Deuto-Miocène*) du Bassin de Vienne.

Parmi les fossiles les plus communs rappelons: *Dendrophyllia*, *Echinolampas*, *Clypeaster*, *Scutella*, *Amphiope elliptica*, *A. perspicillata*, *Thecidea*, *Terebratulina calatiscus*, beaucoup de Briozoaires, beaucoup d'Huitres (*Ostrea crassissima*, *O. digitalina*, *O. Boblayei*, *O. virginiana*, *O. gingensis*, etc.),

*Cardium*, Pectens très nombreux (*Pecten scabriusculus*, *P. subarcuatus*, *P. Fuchsi*, *P. planosulcatus*, *P. vindascinus*, *P. substriatus*, *P. Gentoni*, *P. galloprovincialis*, *P. Eschofferae*, *P. ventilabrum*, *P. nimius*, etc.), *Panopaea Menardi*, *Arca turonica*, *Cardita* (*C. Jouanneti*, *C. Michaudi*), *Ancillaria glandiformis*, *Turritella* (*T. terebralis*, *T. bicarinata*, etc.), *Pleurotoma Jouanneti*, *Ficula condita*, *Pyrula cornuta*, *Tudicla rusticula*, *Eburnea Caronis*, *Trochus*, *Patella*, *Spirulirostra Bellardi*, Balanides, dents de *Squalides* (*Lamna*, *Carcharodon*, etc.).

Parfois dans certains accretements les formations littorales du Miocène, de l'inférieur au supérieur, sont remplacées par des dépôts saumâtres conglomératiques, molassiques, sableux, marneux ou même calcaires à *Potamides* (*P. bidentatus*, *P. papaveraceus*, *P. tricoloratus*, *P. lignitarum*) ou même s'y présentent par intercalations ou par passages latéraux des vrais dépôts lacustres à *Planorbis* et *Lymnaea*, ou variablement continentaux à *Helix Larteti*, *Glandina*, *Cyclostoma*, etc., comme aussi parfois à Mammifères des genres *Dinotherium*, *Anchitherium*, *Rhinoceros*, *Listriodon*, *Micromeryx*, *Rhinolophus*, *Sorex*, *Cricetodon*, *Chaeromorus*, *Dicrocerus*, *Fliophithecus*, etc. faune qui continue en partie en des formations analogues du Tortonien.

Je rappelle que du côté extérieur de la Chaîne alpine, dans la Ligurie, il existe aux alentours de Finale une formation spéciale de Miocène moyen (*Helvétien*) constituée par des bancs de calcaire gréseux grossier, jaune-rougeâtre (la *Pietra di Finale*), dur, rempli par endroits de *Conotrochus*, radioles de *Cidaris*, coques de *Clypeaster*, coquilles de *Terebratula*, *Ostrea*, *Pecten*, *Pectunculus*, plaquettes de *Balanus*, dents de *Carcharodon*, *Oxyrhina*, *Lamna*, *Odontaspis*, *Sargus*, *Chrysophrys*, etc.; c'est-à-dire toute une faune éminemment littorale.

Quant au Miocène supérieur ou **Tortonien** (*Vindobonien sup.*) il se relie souvent et passe graduellement à l'*Helvétien* au point que la séparation nette en est peu facile, soit lithologique (s'agissant essentiellement de marnes et sables) soit par conséquent aussi paléontologique, car beaucoup d'espèces passent du Miocène moyen au supérieur, tandis qu'au contraire dans le Bassin miocénique de Vienne le Tortonien est représenté par les caractéristiques marnes argileuses (*Tegel*) de Baden (*Baden-Thone*) ou *Badenon* de Mayer, 1888.

Rappelons néanmoins comme exemple la fameuse *Molasse de Cucuron* (Vaucluse), constituée par des sables calcaires et marneux à Nullipores, Polypiers, Briozoaires et Mollusques, parmi lesquels abondent les Pectens (*P. planocostatus*, *P. scabriusculus*, *P. nimius*), *Ostrea Boblayei*, etc. qui nous indiquent le passage du Tortonien à l'*Helvétien*; comme aussi certaines marnes argileuses à Pleurotomes et les Marnes dites de *Cabrières* et autres dépôts semblables à *Cardita* (*C. Jouanneti*), *Ostrea Boblayei*, *O. crassissima*, *Arca turonica*, *Pleurotoma Jouanneti*, *Ancillaria glandiformis*, *Nassa*, *Eastonia*, etc. c'est-à-dire avec une faune malacologique encore en partie analogue à celle du Miocène moyen.

Mais dans les régions extérieures de l'arc alpin, par le commencement de la grande émergence qui, en s'accroissant, ferma ensuite l'époque miocénique, le Miocène supérieur présente souvent le faciès saumâtre (*Oeninghien* ou *Sarmatien*) avec Cérithides (analogue à celui des *Cerithien-Sand* à *Cer. pictum* des régions autrichiennes), spécialement *Potamides* (*P. papaveraceus*, *P. bidentatus*), *Nassa Michaudi*, *Melania Escheri*, etc. Souvent même vers le haut, c'est-à-dire passant au Miopliocène, le Miocène supérieur prend un faciès continental bien net, avec dépôts (puissants parfois même un millier de mètres) sableux-caillouteux, alternés parfois avec des zones de limon rouge, çà et là avec fossiles comme p. ex. au Mont Léberon près de Cucuron.

Quant aux fossiles, rappelons p. ex., parmi les Phyllites, la prévalence des gen. *Cinammomum*, *Acer*, *Liquidambar*, les fruits de *Chara*, etc.; parmi les Mollusques: *Lymnaea Jaccardi*, *L. pachygaster*, *L. dilatata*, *Planorbis aequiumbilicatus*, *P. solidus*, *P. Mantelli*, *P. cornu*, *Melania Escheri* var., *Pa-*

*ludestrina*, *Auricula Lorteti*, *Lithoglyphus panonicus*, *Helix* (*H. depressula*, *H. delphinensis*, *H. silvana*, etc.), *Clausilia grandis*, *Unio flabellatus*, et nombre de Mammifères, comme *Hylobates antiquus*, *Hyotherium Sommeringi*, *Dicroceras elegans*, *Mastodon angustidens*, *Anchitherium*, *Paleomeryx*, *Listriodon*, *Dinotherium*, etc.

Du reste, cette faune continentale, du Miocène supérieur continua en partie à se développer pendant le Miopliocène, y existant souvent un croisement et un passage graduel, lithologique et paléontologique, entre le *Sarmatien* ou *Oeninghien* et le *Pontien* ou *Messinien*, si bien qu'il se constitua parfois une formation unique, saumâtre-continentale, qui ferma la grande époque miocénique.

Dans le Bassin thalassique tertiaire du Piémont la formation miocénique se présente avec toute sa série complète, très développée, typique, régulière, fossilifère, incisée profondément sur des milliers de points, si bien que ce Bassin tertiaire constitue et constituera toujours une classique école pratique pour les Géologues du Tertiaire, tandis que les formations spécialement des Collines de Turin (La Superga) et du Tortonais (Stazzano, S. Agata fossili, etc.) sont devenues depuis plus d'un siècle fameuses parmi les Paléontologues, pour lesquels elles seront toujours une mine intarissable de fossiles.

La puissance de cette série miocénique piémontaise est énorme, c'est-à-dire de plusieurs milliers de mètres, ce qui est en rapport avec le fait que ce Bassin se trouve enfermé dans le cercle des Alpes, alors en voie de continuelle et extraordinaire abrasion, et l'immense matériel provenant de l'intense érosion et du creusement des Alpes, qui surgissaient alors, allait en grande partie à s'accumuler dans les sédiments miocéniques, qui se déposaient dans la profonde conque piémontaise.

À un phénomène analogue sont reliés les puissants et grossiers bancs ou accumulations irrégulières de cailloux, indiqués plus haut, qui s'alternent souvent ou s'insinuent comme lentilles deltoïdes parmi les dépôts sableux et marneux. En schématisant la série miocénique du Bassin du Piémont nous pouvons y esquisser nettement les étages géologiques suivants :

**Aquitanien**, puissant horizon constitué par des marnes, sables, grès et conglomérats alternés plusieurs fois et mélangés. Les éléments caillouteux sont spécialement alpins, associés néanmoins parfois à des éléments (*Calcaire alberese* et autres) à type appenninique; ce fait nous indiquant combien l'oro-hydrographie piémontaise était alors différente de l'actuelle, ainsi que je l'ai schématisé dans la petite carte géologique (voir aussi pag. 86).

Les fossiles n'y sont pas rares, mais généralement un peu épars et par conséquent moins faciles à récolter et moins connus que ceux des formations marines superposées. Il s'agit d'une faune qui, tout en ayant encore quelques formes à type oligocénique, est néanmoins dans l'ensemble absolument miocénique.

Rappelons seulement les abondantes *Lepidocyclina marginata*, *L. Morgani*, *L. Tournoueri*, *Miogypsina irregularis*, *M. complanata*; Anthozoaires nombreux (*Flabellum*, *Trochocyathus*, *Caryophyllia*, *Balanophyllia*, *Plesiastrea*, etc.); quelques Crinoïdes (*Pentacrinus*, *Conocrinus*, *Antedon*), Echinides nombreux (*Cidaris*, *Pericosmus*, *Echinocyamus*, *Echinolampas*, *Spatangus*, etc.); beaucoup de Briozoaires (*Lunularia*, *Cupularia*, *Microporella*, *Heteropora*, etc.); quelques Brachiopodes; Bivalves très nombreux, spécialement Pectinides (*Chlamys*, *Macrochlamys*, *Pecten*, *Amussiopecten*, *Pseudamussium*, *Parvamussium*, *Acquiptecten*); une grande quantité de Gastéropodes (*Cirsotrema*, *Ampullina*, *Haustator*, *Astralium*, *Eburnea*, *Nassa*, *Crysodomus*, *Ancilla*, *Baryspira*, *Roualtia*, etc.); très nombreux Balanides et Squalides (*Oxyrhina*, *Odontapsis*, *Carcharodon*, etc.).

Parfois l'*Aquitanien* devient en partie calcaire (p. ex. le *Calcaire d'Acqui*) et très riche en Lithothamnes, Echinides, Mollusques (spécialement Pectens), dents de Squalides, etc.

**Langhien;** horizon caractéristique à marnes grises, souvent dures, feuilletées où elle furent plus comprimées, comme dans les collines de Turin: c'est un dépôt sub-bathyal typique, tranquille, souvent richement phyllitifère, au point de révéler la belle flore miocénique du Piémont décrite par E. Sismonda dès 1861 et qui est représentée par *Araucarites*, beaucoup de *Pinus*, *Poacites*, *Cyperites*, *Alnus*, *Quercus*, *Fagus*, *Castanea*, *Carpinus*, *Ficus*, *Juglans*, *Dryandroides*, *Laurus*, *Cinamomum*, *Celastrus*, *Eucalyptus*, *Cassia*, *Andromeda*, etc.

La Faune (à fossiles écrasés) est caractéristique, en grande partie pélagique, ainsi que nous l'indiquent les principales formes suivantes:

*Bathysiphon taurinensis*, Globigérines et parfois aussi Lepidocyclines et Myogypsines dans les couches un peu sableuses, *Trochocyathus nitratius*; *Spatangus Pareti*, *Toxopatagus italicus*; *Ostrea neglecta*, *Solenomya Doderleini*, *Nucula placentina*, *Dentilucina Barrandei*, *Cryptodon flexuosum*, *Propeamussium anconitanum*, *Limatulella langhiana*, *Acesta miocenica*; *Antale Bouei*, *A. vitreum*, *Entalis badensis*; *Conospirus antediluvianus*, *Ancilla sismondana*, *Cassidaria cingulifera*, *Galeodea tauropomum*, *Pleurotoma rotata*, *Trochocerithium turritum*; *Carinaria Pareti*, *C. Hugardi*; très grand nombre de Pteropodes de genres *Cavolinia*, *Vaginella* et spécialement *Balantium*; *Aturia Aturi*; *Scalpellum magnum* et quelques dents de Squalides (*Oxyrhina*, etc.).

Où les conditions de sédimentation ne furent pas à type bathial, le faciès marneux est naturellement en grande partie remplacé par le sableux-gréseux et par conséquent la zone langhienne perd son individualité caractéristique.

L'**Helvétien** (*Serravallien* Pareto, 1865) représente la formation miocénique la plus étendue et aussi la plus connue par sa grande richesse en fossiles; sa série, extraordinairement puissante, est constituée par des marnes, sables (sables serpentieux de la Superga) et grès souvent alternés et mélangés, parfois avec intercalation de bancs et grandioses lentilles de conglomérats à éléments essentiellement alpins. A quelque distance des Alpes les formations *helvétiques* deviennent plus variées, plus marnoso-calcaires et par conséquent à faune moins littorale, plus régulièrement néritique. Il est impossible de donner en quelques lignes les caractères de cette très riche faune de littoral dite *de la Superga* ou des Collines de Turin. Rappelons simplement, en outre des Lithothamnes et des nombreux Foraminifères, entre autres la *Lepidocyclina marginata* et la *Myogypsina irregularis* et *M. globulina*, les très abondants Anthozoaires à type soit individuel soit social, comme: *Desmophyllum*, *Flabellum*, *Trochocyathus*, *Pocillopora*, *Heliastrea*, *Balanophyllia*, *Dendrophyllia*, *Madrepore*, *Porites*, *Isis*, etc.; Echinides variés (*Spatangus austriacus*, *Schizaster Bellardi*, *Echinolampas plagiosomus*, *Clypeaster altus*, *Echinocyamus Studeri*, beaucoup de *Cidaris*, etc.); quelques Crinoïdes (*Antedon oblitus*, *Conocrinus Seguenzae*, *Pentacrinus Gastaldii*); plusieurs Vers des gen. *Serpula*, *Potamoceras*, *Placostegus*, *Spirorbis*; beaucoup de Briozoaires, comme: *Heteropora*, *Lichenopora*, *Smittia*, *Schizoporella*, *Hippoporina*, *Cupularia*, *Lunularia*, *Membranipora*, etc.; plusieurs Brachiopodes des gen. *Crania*, *Hemithyris*, *Terebratulina*, *Liothyris*, *Terebratulina*, *Megathyris*, etc.; un nombre énorme de Bivalves, comme *Myrtea taurinia*, *Dentilucina miocenica*, *Lucina globulosa*, *Megaxinus bellardianus*, *Callista chione*, *Discors discrepans*, *Brachydonates taurinensis*; très nombreux Pectens (*Pecten Tournali*, *P. Gray*, *Amussiopecten burdigalensis*, *Aequipecten scabriusculus*, *A. scabrellus*, etc.) *Anomya ephippium*, *Ostrea edulis* var., *Alectryonia plicatula*; plusieurs Scaphopodes (*Entalis*, *Dentalium*, etc.); une infinité de Gastéropodes, comme: *Ampullotrochus granulatus*, *Oxystele Amedei*, *Ormastralium carinatum*, *Nerita gigantea*, *Xenophora Deshayesi*, *Protoma cathedralis*, *Turritella tricarinata*, *T. turris*, *Haustator desmarestinus*, *Sveltia taurinia*, *Trigonostoma Michelini*, Cyprées nombreuses (*Zonaria fabagina*, *Cavicypraea leporina*, *Mandolina gibbosa*), *Strombus nodosus*, très grand nombre de Cônes (*Lithoconus antiquus*, *Leptoconus Allionii*, *Chelyconus Puschi*, *Stephanoconus*

*Braedai*, etc.), *Solarium carocollatum*, *Ringiculospongia Bonellii*, *Sthenorytis proglobosa*, *Cernina compressa*, *Ficula condita*, *Oniscidia cythara*, *Cassis mamillaris*, *Columbella curta*, *Marginella elongata*, *Athleta ficulina*; nombreuses Mitres (*Uromitra cincta*, *Mitra apposita*, *M. Cepporum*, etc.), *Baryspira glandiformis*, *Ancilla sismondiana*, *Purpura calcarata*, grand nombre de Nasses (*N. intercisca*, *N. badensis*, etc.), *Ianiopsis maxillosa*, *Borsonia prima*, une grande quantité de Pleurotomides (*Pleurotoma subcoronata*, *Surcula Bardini*, *Drillia crebricosta*, *Clavatula DeFrancei*, *C. taurinensis*, etc.), *Ranella gigantea*, *Persona tortuosa*, *Tritonium Borsoni*, *Euthria Puschi*, *Tudicla rusticula*, *Melangenella cornuta*, *M. Lainei*, *Latirus taurinus*, *L. lyncoïdes*, *Fusus semirugosus*, *Murex Borsoni*, quelques Ptéropodes (*Balantium*, *Cavolinia*, etc.), l'*Aturia Aturi*, la *Spirulirostra Bellardii*, beaucoup de Balanides, quelques Crustacés (*Ranina palmea*, *Callianassa Sismondæ*, etc.) et un très grand nombre de dents de Poissons des gen.r *Sargus*, *Chrysophrys*, *Notidanus*, *Hemipristis*, et spécialement de *Oxyrhina hastalis*, *Odontaspis cuspidata*, *Carcharodon megalodon*.

Le **Tortonien** est un horizon généralement à marnes grises, parfois à type de zone coralligène, mais qui pourtant vers les Alpes devient sableux et même caillouteux-sableux si bien qu'il ressemble à l'*Helvétien*. Les fossiles plus caractéristiques, qu'on y trouve spécialement dans les collines du Tortonais, comme près de S. Agata, Stazzano (*Stazzanien*, Mayer, 1888), etc. sont: nombreux Foraminifères; *Flabellum*, *Trochocyathus* et *Ceratotrochus* en quantité extraordinaire; Briozoaires (*Cupularia*, *Onychocella*); *Megathyris decollata*; *Cardita Jouanneti* var., *Pycnodonta cochlear*; beaucoup de Scaphopodes des gen. *Antale*, *Gadila*, *Gadilina*, *Fustiaria*, *Entalis*; Gastéropodes très nombreux, comme *Archymediella*, *Haustator triplicatus*, *Bonellitia Bonellii*, *Bivetia dertonensis*, *Pseudotoma Bonellii*, *Dendroconus Berghausi*, *Conospirus Bronni*, *Polynices redempta*, nombreuses Columbelles, Marginelles, Uromitres, Mitres, Nasses, Clavatules, Drillies, Surcules, Pleurotomes en très grand nombre (*Marnes à Pleurotomes*), *Baryspira glandiformis*, *Nemofusus exacutus*, *Chrysodomus cinguliferus*, *Pleuroploca tarbelliana*, *Clavella Klypsteini*, *Murex dertonensis*, etc.

Dans certaines zones en outre apparaissent, parmi les formes marines, les saumâtres, comme: *Cerithium europaeum*, *Phycoerithium granulinum*, *Thiaropyrenella bicincta*, *Lyrcaea impressa*, etc.

## MIOPLIOCÈNE.

Les dépôts du Miopliocène (*Prépliocène*, *Sahélien*, *Pontien*, *Méotique*, *Messinien*, *Mactrique*, *Aralo-caspian*, etc.) méritent une indication spéciale par leur individualité lithologique et paléontologique, qui correspond à une phase prononcée et caractéristique de l'Orogénie alpine et à une vraie zone de passage du Miocène au Pliocène.

Au nord des Alpes cette formation, continentale dans l'ensemble, commença déjà à la fin du Miocène, avec les dépôts de l'*Oeningien*, avec la *Molasse* dite *d'eau douce supérieure* et semblables formations fluvio-lacustres et sarmatiennes et continua à se déposer pendant tout le Miopliocène, parfois avec intercalation de conglomérats (*Gompholites*, *Nagelfluhe*).

La faune *sarmatique* ou *pontienne* de cette période est une vraie faune appauvrie, ce qui est en rapport étroit avec le spécial milieu d'alors, à mer fermée et circulation incomplète des eaux, d'où leur salinité notable, ainsi que nous le prouvent les fréquents dépôts de gypse et sel gemme.

Dans les régions françaises (Bassin du Rhône en général et spécialement dans le Dauphiné et la vallée de la Durance) le Miopliocène est représenté en partie par des dépôts puissants de conglomérats (parfois à galets impressionnés) qui prédominent vers le haut de la série et nous indiquent les deltas des anciens fleuves débouchant des Alpes dans les dépressions marécageuses

de cette époque jusqu'à presque les combler; ainsi les fameuses *Poudingues de la Durance*, les *Poudingues de Rienz et de Valensole* en Provence, qui ont dans l'ensemble une épaisseur de 400 à 500 mètres. S'y développent aussi des sables, marnes et argiles çà et là lignitifères à *Dreissensia* ou *Congeria* (*C. subcarinata*, *C. simplex*, *C. dubia*, *C. sub-Basteroti*), *Limnocardium bollenense*, *Melanopsis* (*M. Matheroni*, *M. Kleini*, *M. Neumayeri*, *M. narzolina*), *Neritina crenulata*, *N. micans*, etc. c'est-à-dire un typique faciès à faune *caspienne* de marécage ou de lagune, qui forme le passage du Miopliocène au Pliocène; un bon type en est constitué par les *couches à Congéries* de Bollène, que quelques auteurs placent même déjà dans le Pliocène inférieur.

Mais dans quelques régions, aussi bien françaises que suisses, soit aux pieds du Jura soit vers les Alpes, par exemple dans celle très intéressante de la Bresse, l'étage *pontien* se présente avec des dépôts sableux-marneux, parfois argileux ou à limon (*limon de Cucuron et de M. Luberon*) çà et là richement fossilifères; s'y développent aussi des molasses d'eau douce (parfois lignitifères et phyllitifères), des calcaires spéciaux lacustres (p. ex. à Moustiers) avec intercalations saltuaires conglomératiques à teinte jaune-rougeâtre, etc. à riche faune continentale. Parfois la série y commence par les sables dits ferrugineux à *Nassa Michaudi* à faciès saumâtre, qui est pourtant parfois aussi intercalé avec les prévalants faciès lacustro-fluviaux; ensuite se développent les dépôts à *Limnaea* (*L. turicensis*), *Valvata*, *Hydrobia*, *Planorbis* (*P. Matheroni*, *P. Mantelli*), *Ancylus*, *Bithynia leberonensis*, *Vivipara*, *Auricula viennensis*, *A. Lorteti*, *Melampus*, *Neritina* (*N. Grasi*), *Unio atavus*, *U. flabellatus*, etc., comme aussi *Testacella*, *Zonites* (*Z. Colonjoni*), *Helix* très nombreuses (*H. Christoli*, *H. delphinensis*, *H. sylvana*, *H. Naylesi*, *H. Eschofferae*, *H. Chaixi*), *Triptychia* (*T. Terveri*), quelque Chélonien (*Testudo*) et nombreux Mammifères, comme *Sus major*, *S. palaeocherus*, *Hipparion gracile*, *Rhinoceros Schleiermachersi*, *Dicroceras elegans*, *Tragocerus amaltheus*, *Protragocerus Chantri*, *Gazella deperdita*, *Hyaemoschus*, *Cervus Matheroni*, *Hyena eximia*, *Castor Jaegeri*, *Helladotherium*, *Mastodon* (*M. tapiroides*, *M. turicensis*, *M. longirotris*), *Dinotherium giganteum*, *Hippopotamus*, *Ictitherium*, etc. Fameux à ce propos pour les riches gisements ossifères sont les limons, les marnes, etc. de Cucuron et du M. Luberon (Vaucluse).

Qu'on note qu'une partie de la susdite faune *pontienne* commença déjà à apparaître dans quelques formations continentales du Miocène supérieur (*Tortonien*) et qu'une partie continua à se développer dans le Pliocène inférieur, p. ex. de la région déjà indiquée de la Bresse, c'est-à-dire là où continua à persister un milieu analogue du *Pontien* au *Plaisancien*.

Dans le Bassin tertiaire du Piémont, bien qu'essentiellement marin, le Miopliocène ressentit néanmoins l'effet du puissant mouvement orogénétique qui ferma l'époque miocénique; par conséquent lui aussi, si en quelques endroits il est encore en partie marin (et alors ordinairement à type déjà pliocénique), il se présente pourtant dans sa plus grande partie à faciès littoral-saumâtre, çà et là avec formes de deltatation et souvent aussi avec des vrais dépôts de marenne, accompagnés par des calcaires grumuleux, cargneuliques, par des lentilles de gypse (*zona gessosolfifera*), etc.

Les fossiles les plus caractéristiques sont: *Ditypodon Suessi*, *Prosodacna semisulcata*, *Limnocardium secans*, *Pontalmyra carinata*, *P. Spratti*, *Dreissensia dubia*, *D. Deshayesi*, *Saccoia Eschofferae*, *Neritodonta mutinensis*, *N. Doderleini*, *Lyrcaea narzolina*, *Striatella tuberculata*, etc. comme aussi empreintes de *Libellula Doris*, de Poissons (*Gobius*, *Lebias*, *Cobitis*, etc.), restes de *Testudo*, etc.

Il ne faut pas oublier non plus que sur les marnes en couches minces du Miopliocène du Piémont sont renfermés les restes d'une Flore très riche, qui a été étudiée par E. Sismonda et ensuite par Peola, qui y distinguèrent nombreuses formes de *Sequoia*, *Pinus*, *Salisburia*, *Cyperites*, *Myrica*, *Alnus*, *Quercus*, *Corylus*, *Fagus*, *Castanea*, *Populus*, *Salix*, *Ulmus*, *Ficus*, *Juglans*, *Laurus*, *Sassafras*, *Liquidambar*, *Cinammomum*, *Acer*, *Sapindus*, *Celastrus*, *Rhamnus*, *Dalbergia*, *Cassia*, *Diospyros*, etc.

## PLIOCÈNE.

Les terrains pliocéniques qui sont en rapport avec les Alpes occidentales du côté français et suisse sont essentiellement à type continental (sauf que dans le Niçois), s'étant la région helvétique et le haut et moyen bassin du Rhône déjà définitivement soulevés de la mer à la fin du Miocène. Du côté italien au contraire ces terrains pliocéniques sont pour la plus grande partie à type marin, soit le long de la côte ligurienne soit dans le classique Bassin tertiaire du Piémont, s'y présentant avec le faciès typique, c'est-à-dire dans la partie inférieure (*Plaisancien*) avec marnes grises de dépôt tranquille assez profond, et dans la partie supérieure (*Astien*) avec des sables gris-jaunes de mer peu profonde et de littoral.

Mais vers la fin du Pliocène, commençant déjà le grandiose mouvement orogénétique qui avec son intensité extraordinaire (et le relatif cortège de phénomènes spéciaux sédimentaires, climatologiques, paléontologiques, etc.) ferma l'Ere tertiaire, du côté italien aussi les dépôts pliocéniques, spécialement dans le haut Bassin piémontais, passèrent du type littoral (*Astien*) au marécageux lagunaire (*Fossanien*), deltoïde et enfin continental, fluvio-lacustre ou *Villafranchien*, avec les *Alluvions* dites *anciennes*, *Alluvions pliocéniques*, *Deckenschotter* pr. p., avec dépôts lignitiques, etc.

Au nord des Alpes, dans la région suisse, en rapport avec la position altimétrique et avec les conditions oro-hydrographiques et leurs conséquences, le Pliocène a un faciès absolument continental, fluvio-lacustre, même souvent de dépôts torrentiels plus ou moins grossiers et puissants, qui marquent le prélude du grandiose phénomène diluvio-glaciaire du Néozoïque, phénomène qui eut en effet une première phase de développement déjà à la fin de l'époque pliocénique.

Bien mieux la liaison de faciès de ces dépôts irréguliers *villafranchiens* avec les dépôts néozoïques anciens (*pliocéniques*) est telle qu'il est parfois difficile de les distinguer; d'autant plus que généralement les fossiles manquent dans ces formations si grossières et même quand ils s'y trouvent ils présentent souvent une grande analogie avec les pliocéniques à cause du milieu spécial (nordique, dirais-je, ou semi-alpin) déjà par conséquent relativement humide et un peu froid (comme le pliocénique) où ils vécurent.

C'est pourquoi les *Alluvions préglaciaires*, *Alluvions ferrugineuses*, *Alluvions ipoglaciaires*, *Preglacial Schotter*, *Locheriche Nagelfluh*, etc. et semblables dépôts çà et là lignitifères, bien que généralement considérés comme quaternaires, peuvent être en partie rapportés au Pliocène supérieur continental, c'est-à-dire au *Villafranchien*, par quelques auteurs indiqué aussi sous le nom de *Arnusien*, *Cromeron*, etc.

A l'ouest des Alpes occidentales le Pliocène se présente avec deux faciès, celui marin typique et celui fluvio-lacustre ou *levantinien*.

Le Pliocène marin est assez bien représenté dans le grand Bassin du Rhône; le typique faciès semibathyal à marnes argileuses bleues du Pliocène inférieur ou **Plaisancien** est limité essentiellement à la partie basse de ce Bassin, c'est-à-dire dans le Niçois, s'y présentant avec une grande richesse faunistique typique; p. ex. dans les *Argiles de Biot* à *Nassa semistriata*, *Turritella rhodanica*, *T. subangulata*, *Arca Diluvii*, etc.

Plus étendu est le Pliocène supérieur (**Astien**) avec l'habituel faciès de sables jaunes avec *Amphistegina Haveri*, *Ostrea* (*O. cucullata*), *Pecten* (*P. scabrellus*, *P. jacobaeus*, *P. flabelliformis*), *Lucina*,

*Turritella vermicularis*, *Cancellaria cancellata*, *Nassa reticulata*, etc., comme aussi bon nombre de Cérithides (*Cerithium vulgatum*, *C. varicosum*, *Potamides Basteroti*), *Melampus myotis*, *Ophicardelus Serresi*, *Hydrobia Eschoffierae*, etc., qui avec certaines Congéries (d'où le nom de Couches à Congéries supérieures) ou *Dreissensia* (*D. sub-Basteroti*) indiquent un régime saumâtre peu à peu envahissant; ainsi que le montrent aussi clairement certains dépôts littoraux à cailloux percés par les Lithophages, les dépôts caillouteux des deltas torrentiels, des deltas sous-marins et des estuaires, parfois intercalés avec des sables molassiques à Pectens, Corbules, Nasses, etc., p. ex. dans le bas Bassin du Var (*Poudingue du Var*), etc.

Il faut aussi noter que pour certaines côtes abruptes les dépôts marins du Pliocène sont à faciès zoogéniques, comme le *Pliocène blanc* à Brachiopodes, *Ostrea cochlear*, etc. du *Plaisancien*, et le *Calcaire* ou *Molasse* à *Amphistégines* de Biot, d'Antibes, etc. correspondant à l'*Astien* inférieur.

Sur certaines petites couches sableuses il y a des empreintes de Poissons (*Clupea*, *Clupeops*) et çà et là on rencontre des restes de Cétacés comme *Delphinus*, *Plesiocetus*, etc.

Mais bien plus étendues et développées sont les formations pliocéniques à type saumâtre et fluvio-lacustre, constituant le faciès spécial *levantin* (des *Paludinen-Schichten* de Slavonie, etc.) et continental (l. s.) qui prend une extension énorme et une grande puissance spécialement dans la région de la Bresse, qui fut déjà un lac immense (le *lac Bressan*) pendant une grande partie du Pliocène. Les formations *levantines* commencent déjà dans le Pliocène inférieur, comme p. ex. les marnes et sables gris lacustres de Mollon et de la Bresse, en général avec plusieurs espèces de *Vivipara* ou *Paludina* (c'est-à-dire, de bas en haut: *Vivipara ventricosa*, *V. Neumayeri*, *V. leiostraca*, *V. Fuchsi*, *V. Sadleri*, *V. burgundica* et *V. Falsani*) premièrement à tours convexes et lisses, ensuite plats ou carinés, qui rappellent les *Paludina-Schichten* du Levant), *Pyrgidium Nodoti* (p. ex. dans l'Argile de S.<sup>t</sup> Cosme), *Melanopsides* carinées (avec les *Vivipares* carinées), *Planorbis heriacensis*, *Lymnaea Bouilleti*, *Bithynia*, *Craspedopoma*, *Neritina*, *Zonites Colonjoni*, *Helix* (*H. Chaixi*), *Triptychia* (*T. Terveri*), *Clausilia*, *Nematurella*, *Valvata*, *Ancylus*, *Testacella*, *Vitrina*, *Carychium*, *Pisidium*, *Unio atavus*, *Anodonta*, ainsi que des restes de *Mastodon arvernensis*, *M. Borsoni*, *Tapirus arvernensis*, *Rhinoceros lepthorinus*, *Palaeoryx Cordieri*, etc.

Mais les dépôts continentaux présentent ensuite leur maximum de développement dans le Pliocène supérieur, où prédomine absolument le faciès fluvio-lacustre ou *villafranchien* à sables et cailloux, bien qu'au commencement encore çà et là entrecroisé avec le faciès saumâtre.

Rappelons ainsi les sables ferrugineux de Trévoux, les sables de Chagny, les sables et les argiles de la Bresse ou dépôts lacustres bressans en général, les couches ou marnes d'Hauterive, les limons à *Hipparion*, etc. qui renferment (en outre de nombreuses empreintes végétales, comme dans les fameux Tufs de Meximieux à faciès limnal) une riche faune à *Vivipara* ou *Paludina* (*P. ventricosa*, *P. Falsani*), *Valvata*, *Lymnaea*, *Pyrgula*, *Planorbis*, *Melanopsis lanceolata*, *Helix* (*H. Chaixi*), *Zonites*, *Clausilia*, *Triptychia* (*T. Terveri*), *Carychium*, *Vertigo*, etc., ainsi que de nombreux restes de Mammifères comme: *Mastodon arvernensis*, *Elephas meridionalis*, *Rhinoceros lepthorinus* ou *Rh. etruscus*, *Tapirus arvernensis*, *Palaeoryx Cordieri*, *Castor issiodorensis*, *Hystrix*, *Trogontherium Cuvieri*, plusieurs *Cervus* (*C. australis*, *C. pardinensis*), *Bos* (*Leptobos etruscus* (*elatus* auct.)), *Equus Stenonis*, *Hipparion crassum*, *Machaerodus crenatidens*, *Ursus arvernensis*, *Hyena Perreri*, etc.

Enfin la série pliocénique, *Villafranchienne*, termine en haut par les *Alluvions des Plateaux* ou les *Cailloutis des Plateaux* ou des *Hautes terrasses* (type celui de la Bresse, région des Dombes, du *Conglomérat Bressan*), à éléments alpins souvent grossiers, plus ou moins fortement rubéfiés, altérés, caolinisés, décalcifiés (alluvions appauvries, spécialement dans la partie supérieure), mélangés à terre argileuse jaune-rougeâtre (*Glaise* à *Quartzite* de Ch. Lory) parfois aussi associés à

des bancs de travertin, le tout de l'épaisseur de 10 à 20 mètres, avec une élévation parfois de 100 à 200 mètres sur le Rhône actuel, tellement fut intense leur incision pendant le Quaternaire. Dans ces dépôts alluvionaux il est douteux qu'on ait trouvé des restes de *Mastodon arvernensis*, tandis que plus probable y semble la rencontre de restes d'*Elephas meridionalis* (correspondant ainsi aux Alluvions caillouteuses de l'horizon de S<sup>1</sup> Prest et aux Cailloutis du Mont d'Or lyonnais, tous deux à *E. meridionalis*), ce qui ferait qu'ils seraient encore à rapporter au Pliocène. Mais par l'ensemble des caractères la partie supérieure et plus altérée de ces Alluvions des plateaux (qui rappellent si bien le *Diluvium ancien* du Piémont) me semble à rapporter plutôt au *Plistocène inférieur*, avec le limon jaune-rougeâtre (*Limon de la Bresse*).

De toute manière ces dépôts immenses et élevés, caillouteux, d'origine alpine, qui couvrent les grands plateaux, descendant doucement des Alpes au Rhône (et qui ont leur correspondance en plusieurs replats et hautes terrasses sur la bordure du Plateau Central) sont spécialement puissants et grossiers dans les régions subalpines près desquelles s'étendirent de plus les glaciers du Quaternaire, ce qui fait qu'ils correspondent certainement à une première grandiose glaciation alpine (*phase güntzienne* et, selon quelques auteurs, aussi *mindelienne*) qui se serait vérifiée dans les Alpes à la fin du Pliocène.

L'énorme quantité de cailloux quartzeux (en bonne partie dérivés des Quartzites du Permo-Trias alpin) qui prédominent dans ces alluvions altérées, car les éléments calcaires, granitiques, gneissiques (ces derniers bien qu'étant représentés sur petite échelle), etc. sont plus faciles à se décomposer et à disparaître, nous prouvent l'entité extraordinaire de l'abrasion qui s'est alors vérifiée dans les Alpes; car ces alluvions grandioses, déposées par les fleuves divagants, qui descendaient souvent torrentiellement des Alpes, ne représentent qu'une partie très petite de l'immense matériel de démolition ayant été alors enlevé de la chaîne alpine.

Outre que dans l'ample vallée du Rhône on trouve des *Alluvions anciennes* (contemporaines de celles sur-indiquées *des Plateaux*) dans les régions intro-alpines, spécialement dans les plus amples vallées; ainsi p. ex. le conglomérat sur lequel est placé le fort de Mont Dauphin dans la Vallée de la Durance et plusieurs autres dépôts conglomératiques de l'Embrunais, etc., analogues aux *Deckenschotter* de la Suisse, qui gisent à 50, 100 mètres et même plus au dessus du proche fond de vallée actuel et qui sont antérieurs à la grande Epoque glaciaire typique. La rareté absolue des fossiles laisse toujours quelque incertitude sur la détermination chronologique de ces dépôts, mais quand on y trouve des restes d'*Elephas meridionalis* je ne doute pas qu'ils soient à rapporter au Pliocène supérieur ou *Villafranchien* (même si correspondant à une première phase interglaciale) et non pas au Quaternaire inférieur comme le voudraient d'autres auteurs.

Dans le Bassin tertiaire du Piémont, comme dans la Ligurie, le Pliocène inférieur (**Plaisancien**) présente le faciès typique subappenninique, c'est-à-dire: marnes argileuses ou sableuses grises-bleuâtres, renfermant une faune benthonico-bathyale splendide et bien conservée: innombrables Foraminifères; plusieurs Anthozoaires (comme *Flabellum intermedium*, *Caryophyllia*, *Ceratotrochus duodecimcostatus*, etc.); divers Echinides (*Brissopsis*, *Schizaster*, *Hemiaster*, etc.); la *Ditrupea cornea*; plusieurs Briozoaires (spécialement des genres *Smittia*, *Schizoporella*, *Hippoporina*, *Cupularia*, *Membranipora*, etc.); nombre de Brachiopodes (comme *Megathyris decollata*, *Muhlfeldtia truncata*, *Hemithyris bipartita*, etc.); très grand nombre de Bivalves, comme *Pycnodonta cochlear*, *Pecchiolia argentea*, *Macomopsis elliptica*, *Megaxinus transversus*, *Psammobia uniradixta*, *Limea strigilata*, *Limopsis aurita*, *Pholadomya vaticana*, *Arca Diluvii*, *Amussium cristatum*, *Parvamussium duodecimlamellatum*, *Variamussium felsineum*, *Cardium hians*, *Isocardia cor*, *Venus multilamella*, *Nucula placentina*, etc.; Gastéropodes

podes très nombreux, comme: *Sabatia uniplicata*, *Ormastralium fimbriatum*, *Bathytoma cataphracta*, *Pleurotoma rotata*, *Bonellitia serrata*, *Chenopus uttingerianus*, *Turritella (Zaria) subangulata*, *Solarium millegranum*, *S. moniliferum*, *Conospirus antediluvianus*, *Surcula dimidiata*, *Drillia Allionii*, *Ficula reticulata*, *F. geometra*, *Columbella thiara*, *Natica helicina*, *Mitra scrobiculata*, *Eulima polita*, *Cassis echinophora*, *Nassa semistriata*, *N. italica*, *Ranella marginata*, *Raphitoma hispidula*, *Fusus longiroster*, *Triton apenninicum*, *Typhis fistolus*; ainsi que *Dentalium sexangulum*, *Antale dentale*, *A. novemcostatum*, *A. fossile*, *A. vitreum*, *Gadila Gadus*; *Cuvieria intermedia*; *Sepia rugulosa*, *S. verrucosa*; plusieurs Crustacés (*Cancer*, *Titanocarcinus*, *Gonoplax*); dents non rares de *Sargus*, *Carcharias*, *Oxyrhina*, *Carcharodon*, etc. et çà et là restes de *Felsinotherium subapenninum*, *Steno Gastaldii*, *Plesiocetus Cortesii*, etc.

Le Pliocène supérieur (**Astien**) est représenté par les typiques sables jaunes (*Sables d'Asti*, *Andonien*, etc.) de l'épaisseur même de plus que 100 mètres, souvent extraordinairement riches en fossiles, comme Foraminifères, Cladocores, Hydrozoaires (*Cyclactinia*, *Hydractinia*, etc.), Echinides (*Spatangus*, *Schizaster*, etc.), Briozoaires (*Cupularia*, *Miriozoum*, *Schizoporella*, *Cycloporella*, *Hornera*, etc.), *Terebratula ampulla*; une immense quantité de Bivalves, comme *Ostrea edulis*, *Anomia ephyppium*, *Pecten* en quantité énorme (*P. jacobaeus*, *P. flabelliformis*, *P. varius*, *P. scabrellus*, etc.), *Cardium tuberculatum*, *C. erinaceum*, *Venus gallina*, *Dosinia orbicularis*, *Chama gryphoides*, *Lutraria lutraria*, *Corbula gibba*, *Glycimeris Faujasi*, *Saxicava rugosa*, *Gastrochaena dubia*; un nombre immense de Gastéropodes, comme *Cerithium vulgatum*, *Actaeon tornatilis*, *Gibbula magus*, *Capulus ungaricus*, *Natica millepunctata*, *Vermetus arenarius*, *Turritella vermicularis*, *Murex torularius*, *Cancellaria cancellata*, *Cancellaria varicosa*, *Chenopus pespelicani*, *Conus betulinoides*, *Terebra*, *Mitra astensis*, Nasses en quantité extraordinaire, *Cyclonassa neritea*, *Ranella marginata*; beaucoup de Balanides; dents d'*Oxyrhina*, de *Chrysophrys* et restes de *Felsinotherium*, de *Tursiops*, de *Plesiocetus*, etc. Il faut en plus noter que non rarement dans les dépôts marins de l'*Astien* on trouve aussi des restes de *Mastodon arvernensis* et d'*Elephas meridionalis*, ce qui nous prouve la partielle contemporanéité de ces formations marines avec les continentales, *villafranchiennes*, qui englobent quelques fossiles identiques.

Enfin la série pliocénique se ferme dans le Piémont par des formations saumâtres marécageuses (**Fossanien**) à Huîtres, Balanides, etc., qui passent rapidement à des formations de deltas sous-marins et ensuite à type continental fluvio-lacustre, les *Alluvions* dites *anciennes* ou *Alluvions pliocéniques* de *Gastaldi*, le **Villafranchien** de *Pareto*, l'*Arnusien* ou *Cromeron* de *Mayer*, le *Norfolkien* de *Geikie*, etc.; il s'agit de dépôts marnoso-sableux ou argileux, alternés plusieurs fois avec les caillouteux et englobant çà et là des Mollusques lacustres ou terrestres, comme *Unio*, *Margaritana*, *Spirodiscus*, *Carychium*, *Clausilia*, *Triptychia (T. mastodontophyla)*, *Scarabella*, *Polygira*, *Macularia*, *Cyclostoma*, *Emmericia*, *Vivipara*, etc., comme aussi des restes fréquents de *Mastodon arvernensis*, *Elephas meridionalis*, *Bos etruscus*, *Rhinoceros etruscus*, etc.

---

## NÉOZOÏQUE

---

En rapport avec la forme et la position de la chaîne alpine et avec les mouvements orogénétiques intenses qui l'agitèrent et dans l'ensemble la soulevèrent à la fin du Cénozoïque et pendant une grande partie du Néozoïque ou *Anthropozoïque* (*Postertiaire, Malacénique, Cénogène, Anthropique*, etc.) les phénomènes diluvio-glaciaires y eurent une importance très remarquable et conséquemment les dépôts relatifs y présentent un énorme développement, généralement pourtant plus en surface qu'en puissance, sauf que dans les régions périphériques aux Alpes.

Nous pouvons schématiquement distinguer les terrains quaternaires, par l'âge, en Plistocéniques et Holocéniques et quant à l'origine en marins (*siliciens*) fluviaux (*diluviens*) et glaciaires (*morainiques*).

### PLISTOCÈNE.

**Sicilien.** — Dans la région méridionale des Alpes occidentales, en descendant vers la Mer Tyrrhénienne, on trouve çà et là des dépôts marins variés, essentiellement à type littoral ainsi que par endroits des brèches d'éboulis, qui peuvent dans l'ensemble se rapporter au Plistocène (*Sicilien* ou *Saharien*), bien que quelques uns semblent déjà passer à l'Holocène.

Voire par exemple les beaux dépôts du Cap d'Aggio, du Cap Ferrat et d'autres points de la Ligurie étudiés par Risso, Nevill, Rambur, Issel, Depéret, Caziot, Maury, etc.

Quelques-unes de ces anciennes plages marines semblent se relier aux anciennes terrasses continentales, nous en indiquant l'unité et la généralité de la cause, essentiellement orogénétique.

Dans les dépôts marins du Plistocène nous trouvons localement des calcaires à Polypiers (*Cladocora caespitosa*), mais c'est spécialement dans certains dépôts sableux abrités dans les enfractuosités des rochers ou posés sur des terrasses (en nombre de deux ou trois, vraies plages émergées ou lignes de rivage), maintenant souvent à plusieurs dizaines de mètres même 20, 40, 50 et jusque (les plus hautes) à 60, 80 mètres, sur le niveau de la mer, que nous trouvons des restes de *Balanus*, *Littorina*, *Rissoia*, *Cerithium*, *Truncatella*, *Bittium*, *Trochus*, *Turbo rugosus*, *Conus mediterraneus*, *Patella*, *Murea*, *Clanculus*, *Tritonium*, *Purpura*, *Euthria*, *Cassis*, *Strombus bubonius* (= *S. mediterraneus*), *Natica*, *Patella*, *Mytilus*, *Barbatia*, *Arca*, *Ostrea*, *Spondylus*, *Pecten*, *Pectunculus*, *Cardium*, *Venus*, *Lima*, *Tapes*, *Maetra*, *Tellina*, *Solen*, etc., représentés par des espèces vivantes.

De même quelques trous de Lithodomes qu'on observe sur quelques roches calcaires du littoral ligurien à différente hauteur (même de quelques dizaines de mètres) sur la mer actuelle sont à rapporter au Plistocène.

Il faut enfin noter que les observations faites sur la grotte du Prince ou de Grimaldi semblent indiquer que les dépôts marins à *Strombus bubonius* sont en partie contemporains des dépôts continentale à *Euxphas antiquus*.

**Diluvien.** — Les dépôts alluviaux ou fluvio-torrentiels du Diluvien (ou *Diluvium* ou *Postpliocène* de Lyell, ou *Clysmien* A. Brogn., ou *Arénéen* Par. 1865) sont spécialement développés dans les régions subalpines ou périphériques des Alpes (où ils forment des hauts-plateaux ou hautes terrasses) et ils sont représentés par des sables, graviers et cailloux, plus ou moins irrégulièrement mélangés, soit entre eux soit avec du matériel argileux, qui devient généralement ensuite prévalant dans la partie supérieure de la formation diluviale pour y former une sorte de voile ou manteau de limon argileux ou *lehm*, l'ancienne vase déposée par les grands fleuves plistocéniques à la fin de leur immense extension avant de commencer la phase de creusement des vallées.

Le tout est à teinte jaune-rougeâtre (*Diluvium rouge*), par suite de la profonde altération (décalcification, caolinisation des feldspaths, dissolution des calcaires, suroxydation et oxyhydratation des éléments ferrugineux, etc.), en Italie dite *ferrettizzazione*, du nom de *ferretto* par lequel dans la Lombardie est même vulgairement dénommé ce terrain altéré, décalcifié et rubéfié.

Ce terrain, avec les grumeaux de concentration ferrugineuse (les *gherloun* du Piémont) qui forme des hauts plateaux subalpins étendus (les *Vaude*, *Groane*, *Barraggie*, etc.) a quelques caractères d'analogie avec le phénomène du *terrain sidérolithique*, dont j'ai déjà parlé auparavant, si bien que ces formations quaternaires peuvent nous éclairer sur le mode d'origine des formations plus anciennes.

Mais où cette formation diluviale a été moins altérée, ou bien où par des conditions spéciales de milieu, ou par sa cimentation notable, ou par sa nature lithologique ou par la protection que lui ont accordé les dépôts morainiques ou autrement, elle se présente alors encore avec son teint grisâtre originaire et ordinairement sous forme de conglomérats plus ou moins cimentés connus sous le nom de *Locherige Nagelfluh* ou *Alluvions poreuses*, *Kies* (pars) *Deckenschotter* (pars), *Ceppo* (p. p.) en Italie ou plus largement comme *Alluvions anciennes* (pars), *Alluvions pléistocéniques*, *Alluvions préglaciaires*, *Alluvions ipomorainiques*, *cônes de déjection anciens*, etc.

Y appartiennent aussi les *Hochterrassenschotter*, c'est-à-dire les alluvions ou graviers ou *cail-loutis des hautes et moyennes terrasses* (ainsi certains *Kies-Terrassen*) qui s'élèvent c'est-à-dire même à plus de 100 mètres sur le fond actuel des vallées.

Qu'on remarque pourtant que par leur nature et le relatif manque de fossiles il n'est pas toujours facile de distinguer ces alluvions plistocéniques de celles du Pliocène supérieur ou villafranchiennes; d'autant plus qu'en réalité il y a parfois transition entre les deux par le fait que le phénomène diluvial s'est déjà bien développé à la fin de l'époque pliocénique, si bien que parfois l'alluvion pliocénique se continua sans sauts notables dans celle plistocénique. Les faits surindiqués quant à la région de la Bresse dans le bassin du Rhône, et ceux indiqués dans ma note sur "*Il Villafranchiano al piede delle Alpi - 1886* „ montrent ces passages et par conséquent les relatives incertitudes de distinction.

D'autre côté les Alluvions plistocéniques présentent même parfois des transitions aux dépôts similaires, mais plus jeunes, c'est-à-dire déjà holocéniques, qui recouvrent certaines terrasses, si bien que où le terrassement fut régulier et très répété il n'est pas toujours facile de distinguer les alluvions terrassiennes encore plistocéniques de celles déjà holocéniques, c'est-à-dire les *Hochterrassenschotter* des *Niederterrassenschotter*, qui justement forment souvent une sorte de passage du Plistocène à l'Holocène.

Reliées aux formations plistocéniques alluviales sont aussi plusieurs autres moins grossières, qui correspondent à des périodes interglaciaires ou à des conditions spéciales de milieu abrité ou

autrement tel de permettre des dépôts stratifiés, par exemples sables, calcaires et argiles lacustres souvent lignitifères (ainsi le *Durnténien* Mayer 1881, le *Chamberyén* Pillet 1883, etc.), qu'on trouve à la base de la série plistocénique, si bien que au moins quelques-uns pourraient constituer un faciès intro-alpin ou nordique du *Villafranchien*; ainsi que de même des dépôts variés alluviaux, vaseux, souvent lignitifères ou tourbeux interglaciaires ou interstadias.

C'est aussi au Plistocène (spécialement à sa deuxième moitié) qu'il faut rapporter les dépôts de *loess*, non rarement impur, qui recouvrent souvent les bordures et les versants des régions préalpines, passant même parfois aux anciens éboulis.

Parmi les Géologues prédomine la théorie éolienne pour l'explication de ces dépôts de *loess*; mais pour la région en examen je crois qu'il s'agit essentiellement du produit de phénomènes alluvio-aériens, s'étant vérifiés en de spéciales conditions (climatologiques ou similaires) d'altération de la partie superficielle des reliefs et de lavage successif ou dénudation et ensuite de transport et de dépôt dans les régions plus basses voisines moins inclinées.

Ce qui fait que le *loess* présente souvent transition et se confond avec le *limon de ruissellement* nous en indiquant une origine analogue. Du reste le fait que souvent à la base du *loess* (comme p. ex. dans la colline de Turin) il y a des dépôts caillouteux irréguliers, qui s'intercalent parfois au *loess* dans sa partie médio-inférieure, est une autre preuve qu'il s'agit plutôt d'une sorte de ruissellement que non d'une action éolienne. A une conclusion semblable porte aussi l'examen de la faune essentiellement terrestre, ordinairement analogue à celle des régions forestières (alpestres ou subalpestres) humides, nous indiquant par conséquence un climat relativement humide et froid. Ce qui fait que le *loess* est plutôt en rapport avec des pluies diluviennes que non avec des actions éoliennes de climats arides et secs. Pour la description détaillée de *loess* typiques puissants et fossilifères voir: F. SACCO - *I Terreni quaternari della Collina di Torino - 1887*.

Rappelons enfin pour le Plistocène les Brèches dites ossifères qui remplissent souvent les grottes et les fentes des roches et qui non rarement sont précieuses, car elles renferment des restes fossiles sauvés ainsi de la destruction qui frappa généralement les organismes terrestres du Quaternaire par la grandiosité et la persistance des phénomènes abrasifs qui se vérifièrent alors.

Les dépôts plistocéniques continentaux renferment çà et là quelques restes fossiles, mais naturellement en général rares, en rapport avec la nature préféremment grossière de ces dépôts.

Beaucoup de géologues placent encore dans le Plistocène certains dépôts renfermant des restes d'*Elephas meridionalis*, tandis que je crois que, sauf qu'il s'agisse de phénomènes de remaniement, ces dépôts doivent absolument être rapportés au Pliocène supérieur ou *Villafranchien*. C'est pourquoi j'ai au chapitre du Pliocène supérieur parlé des *Alluvions des Plateaux* ou des *Cailloutis des Plateaux* des Hautes Terrasses (La Bresse, Lyonnais, etc.), c'est-à-dire des anciens conoïdes élevés et altérés que dans l'ensemble je retiendrais du Plistocène inférieur, mais qui, si le retrouvement de restes d'*Elephas meridionalis* fût vrai et sans remaniement, devraient encore être rapportés au *Villafranchien* supérieur. Probablement ces *Alluvions des plateaux* de la Bresse, etc. sont vraiment en grande partie *villafranchiennes*, mais elles terminent vers le haut par plusieurs mètres d'*alluvions plistocéniques*, qui sont justement les plus altérées et rubéfiées comme étant superficielles et plus exposées aux agents extérieurs ce qui expliquerait les apparentes contradictions paléontologiques surindiquées.

Dans le vrai Plistocène inférieur au contraire on rencontre l'*E. antiquus* qui continua ensuite à se développer dans le Plistocène moyen avec l'*E. primigenius* (le *Mammoth*); parfois même ces deux formes se présentent en des dépôts presque alternés suivant les conditions climatologiques changeantes, même au même endroit, pendant la longue période pléistocénique, avec

phases glaciaires (et par conséquent froides) et d'autres interglaciaires et conséquemment relativement chaudes.

Avec l'*E. antiquus* abondaient le *Rhinoceros Merkii* (*Rh. leptorhinus*, *Rh. hemithecus*), le *Megaceros hibernicus*, le *Bos primigenius* (*Urus*), etc.

Mais peu après avec l'*E. primigenius* (*Mammouth*) etc., nous trouvons les restes de *Rhinoceros tichorinus*, *Cervus elaphus*, *C. alces*, *C. eurycerus*, *C. megacerus*, *C. capreolus*, *Rangifer tarandus* (Renne), *Capra ibex*, *Bison priscus*, *Capella rupicapra*, *Ovibos moscatus*, *Bos primigenius*, *Equus caballus*, *Ursus spelaeus*, *U. arctos*, *Felis speleae* ou *F. leo* var., *Hyena spelaea* ou *H. crocuta* var., *Gulo spelaeus*, *Meles taxus*, *Sus scrofa*, *Castor fiber*, *Arctomys primigenia* ou *A. marmota* var., *Canis lupus*, etc.

Avec ces Mammifères du Plistocène (dont les restes se trouvent soit dans les alluvions soit dans le loess soit dans les grottes) comparut enfin l'*Homme paléolithique* (*Homo* ou *Protanthropus primigenius* l. s.) révélé indirectement par ses armes (silex et haches grossièrement équarris) et par ses ustensiles tout-à-fait primitifs.

Les dépôts de loess, qui se sont formés dans plusieurs régions et même en diverses périodes du Plistocène, spécialement moyen-supérieur, sont souvent riches en Mollusques terrestres d'espèces presque toutes vivantes, mais en partie émigrées, appartenant aux genres *Hyalinia*, *Cyclostoma*, *Patula*, *Vallonia*, *Bradiboena*, *Buliminus*, *Vertigo*, *Pupa*, *Pupilla*, *Clausilia*, *Zua*, *Fruticicola*, *Eulota*, *Helix*, *Xeropila*, *Punctum*, *Succinea*, *Achatina*, outre à de rares restes de Cervidés, de Bovidés, d'Eléphants.

De même le long des côtes de la Ligurie on trouve parmi les brèches ossifères, dans des fractures ou cavernes, etc. des dépôts locaux spéciaux avec restes de *Helix*, *Hyalinia*, *Cyclostoma*, *Pupa*, *Glandina*, *Clausilia*, *Valvata*, *Vallonia*, *Testacella*, *Lymnaea*, etc.

C'est spécialement parmi les petites couches argilo-sableuses, souvent lignitifères, d'origine lacustre, qu'on trouve non rarement (avec *Sphaerium*, *Pisidium*, *Planorbis*, *Segmentina*, *Bithynia*, *Amnicola*, *Paludestrina*, *Lymnaea*, *Valvata*, *Helix*, *Clausilia* et quelques Insectes) des restes ou simples empreintes d'espèces vivantes de plantes, comme *Abies*, *Picea*, *Pinus*, *Taxus*, *Betula*, *Acer*, *Fagus*, *Ulmus*, *Rhododendron*, *Quercus*, *Corylus*, *Tilia*, *Buxus*, *Philadelphus*, *Sphagnum*, *Hypnum*, *Equisetum*, *Carex*, et nombreuses Diatomées (*Pleurosigma*, *Stephanodiscus*, *Epithemia*, *Cymbella*, etc.). C'est une flore de climat humide, plus que non vraiment froid, qui devait dans l'ensemble former des forêts d'arbres à feuilles caduques et qui est bien analogue à la Flore actuelle dite du Chêne de l'Europe septentrionale.

**Morainéen.** — Les formations d'origine glaciaire ou morainiques (*Gletscherschutt*, *Diluvium ancien cataclystique* de Necker avec le caractéristique faciès de terrain chaotique et de blocs erratiques (d'où le nom de *Erratique* auct.), *Fündlinge* de V. Buch 1815, *Argile à blocs* ou *Geschiebe-Lehm* des moraines profondes, *Boue glaciaire*, *Argile à cailloux striés*, etc.) commencent à se présenter entre la fin du Pliocène et l'aube du Plistocène, c'est-à-dire dans les stades *Güntzien* - *Mindélien* avec un faciès diluvio-glaciaire, par conséquent souvent avec une extension géographique même plus grande que celle du morainique typique (si bien qu'elles constituent souvent presque une auréole extérieure aux Amphithéâtres morainiques) et par leur ancienneté elles sont plus ou moins profondément altérés, ferretisées, comme le *Diluvium* avec lequel parfois elles s'entrecroisent et se confondent.

Suivent ensuite dans les régions alpines marginales les nombreux, typiques et plus ou moins élevés dépôts morainiques, ordinairement en forme d'arcs ou de cordons (*moraines stadiques*) avec blocs erratiques, etc. des périodes *Rissienne* et *Wurmienne*, qui correspondent à la vraie, grandiose Époque glaciaire, c'est-à-dire à la phase de plus grande et prolongée expansion glaciaire pendant laquelle se formèrent les caractéristiques et grandioses Amphithéâtres morainiques des régions

subalpines. On y peut souvent distinguer: les moraines *rissiennes*, frontales, extérieures, très étendues, élevées, collineuses, un peu altérées (car plus anciennes), à grands blocs erratiques épars sur le terrain, en rapport souvent avec de hautes terrasses diluviales et des dépôts et manteaux de *lehm* jaunâtre; et les moraines intérieures *wurmiennes* plus déprimées et plus fraîches, souvent avec la typique boue et le cailloutis glaciaire, anguleux et strié, souvent à lobes et ceignant une plaine (ou tourbière ou lac), qui correspond à la dépression intérieure (*Zungenbecken*) du relatif ancien glacier.

A l'extérieur de l'arc alpin il y a parfois mélange de l'Erratique alpin et du jurassien; mais en général ils se distinguent, le premier (immensément plus puissant et développé) par ses éléments cristallins, le second par les blocs calcaires (généralement jurassiques ou néocomiens) épars dans l'argile.

Quand aux formations morainiques du Plistocène la question est encore ouverte si elles furent déposées en une seule ou en diverses, successives, périodes ou phases glaciaires ou Glaciations.

Mais cette divergence d'opinion dépend essentiellement du point de vue d'où l'on se place; en effet à un regard synthétique, d'ensemble, apparaît évidente l'unité du grandiose phénomène diluvio-glaciaire, qui, bien que déjà amorcé à la fin du Pliocène, eut son complet, plus grand développement pendant le Plistocène (d'où le juste nom d'*Epoque diluvio-glaciaire*), déclinant rapidement ensuite dans l'Holocène et ce naturellement avec l'intercalation de plusieurs phases d'arrêt et de régression pendant un tel grandiose développement glaciaire, général.

Si au contraire (ainsi qu'on l'a fait opportunément en ces dernières années) on passe à un examen minutieux, analytique, de ces formations, il résulte naturellement qu'elles peuvent se distinguer en différents groupes correspondants à autant de périodes glaciaires (p. ex. *Mindélien*, *Rissien* ou *Boréal* et *Wurmien* ou *Scandinien*) avec les moraines respectives, intercalées avec des périodes de retrait glaciaire ou périodes interglaciaires (p. ex. *Mindel-Rissien*, *Riss-Wurmien* ou *Atlantique*), elles aussi caractérisées parfois par des replats interstadiaires ou par des cuvettes et des dépôts spéciaux lacustres, ou de *lehm*, ou de *loess*, ou d'alluvions fines, etc., ou bien correspondantes à autant de dépôts diluvio-alluviaux des terrasses; car on peut parfois observer que les différents dépôts morainiques se rattachent, les plus anciens avec les *hauts-plateaux* (*Mindéliens*) ou avec les *hautes terrasses* (*rissiennes*) et les plus récents avec les *terrasses moyennes* ou *basses* (*wurmiennes*).

Une autre question ouverte sur le glacialisme des Alpes comme aussi des autres régions ayant été occupées par les glaciers quaternaires est celle ayant trait à l'intensité de l'action glaciaire qui selon quelques Ecoles géologiques, guidées anciennement par Ramsay et actuellement par Penck en Europe et Davis en Amérique, serait d'une telle entité et force d'inciser des cirques et vallées et de creuser des importants bassins lacustres.

Je crois au contraire que l'action glaciaire, bien que grandiose et imposante, n'ait pas eu généralement une telle intensité, mais qu'elle se soit limitée seulement à des phénomènes moins profonds, comme:

1° Nettoyer les vallées et les cirques montueux des éboulis de pente, les élargissant ainsi; élargissement qui est aussi en rapport avec l'érosion produite par les matériaux morainiques latéraux, pressés puissamment par les flancs des glaciers contre les flancs rocheux de ces vallées; action glaciaire qui est plus grande dans la partie haute (spécialement si elle est étroite et qui prend ainsi forme à auge) des vallées que non dans leur partie inférieure, d'autant plus qu'ici elles sont aussi généralement plus larges.

2° Creuser des petites dépressions au fond des cirques montagneux ou dans les zones lithologiquement plus tendres le long du fond des vallées.

3° Strier, polir, arrondir le fond et les flancs des vallées alpines en leur donnant ainsi une physionomie spéciale, caractéristique et de grand effet, ce qui porta facilement à exagérer l'action

glaciaire; tandis qu'au contraire les gibbosités fréquentes sur le fond des vallées, les reliefs insulaires des grands lacs subalpins lombards et tant d'autres phénomènes nous indiquent la puissance relativement limitée de l'action érosive des glaciers (Voir à ce propos ma note sur « *L'Esogenia quaternaria del Gruppo dell'Argentera - 1911* »).

D'un autre côté il faut noter, soit qu'une partie de l'action crue érosive-incisive des glaciers sur le fond des vallées, de façon à y former surcreusement, (*übertefung, overdeeping, etc.*) est due simplement au torrent subglacial très actif et très puissant, soit qu'en nombre de cas l'action glaciaire mieux que factrice fut plutôt conservatrice, protectrice de certaines formes orographiques (p ex. beaucoup de bassins, spécialement des régions subalpines) préexistantes à la grande invasion des glaciers.

## HOLOCÈNE.

Les terrains holocéniques (*terrassien* ou *post-glaciaires*) si ils n'ont pas une grande importance scientifique, car nous les voyons se former encore aujourd'hui sous nos yeux (*Actuel, Contemporain, Récent*) et manquent par conséquent de l'intérêt de recherche et du mystère qui plus ou moins existe encore pour ce qui est des terrains plus anciens, ne sont pourtant pas moins étendus, ni moins variés et non plus vraiment moins importants par égard à la forme et la constitution de la région alpine.

Nous pouvons les distinguer, selon l'origine, en plusieurs catégories, ainsi:

1° *Dépôts marins-littoraux* étendus le long des plages de la Ligurie;

2° *Débris de pente*, reliés souvent à des éboulements (*Eboulis des pentes, Gand* de l'Oberland bernois, *Dépôts meubles* sur les pentes, *Brèches* des pentes, *Lapiez, Macereti, Clapiers, Ciapei, Cassere, etc.*) passant parfois à des *Cônes de déjection* grossiers par ébrèchement de flancs montueux; ils recouvrent d'une façon plus ou moins étendue et puissante presque toutes les pentes montueuses comme dépôts d'âge varié de la fin du Plistocène (auquel cas ils sont souvent grandioses et affouillés par des sillons torrentiels) jusqu'aujourd'hui; ils nous montrent directement et clairement le mode d'origine ou premier stade de formation des matériaux qui formèrent ensuite et forment encore actuellement les dépôts morainiques et alluviaux.

Les brèches calcaires sur les flancs des montagnes se cimentent souvent fortement par action des eaux de pluie, de ruissellement et d'infiltration, constituant parfois des manteaux spéciaux pseudostratifiés et compacts appuyés sur les pentes rocheuses. Rappelons aussi ici certaines brèches jeunes, souvent ossifères, des cavernes, spécialement de la Ligurie.

3° *Dépôts morainiques* qui se formèrent pendant les différentes périodes d'arrêt (*Buhlien, Gschnitzien* et *Daunien*) ou plus syntétiquement dans la période dite *scandinave* ou *alpine*, ou *postwurmiennne*; dépôts qui se vérifièrent dans la partie moyenne et supérieure des vallées alpines (*Moraines des hautes vallées* ou *Moraines récentes* ou *Moraines postwurmiennes*) pendant la phase dans l'ensemble régressive (*Ruckzugtadien*) des glaciers jusqu'à leur ubication actuelle, qui est pourtant encore plus ou moins oscillante par retraits ou progressions différemment sensibles selon la masse de glace, la forme et la position de la vallée, la précipitation neigeuse, les conditions climatologiques, etc.

Reliés fréquemment aux différents dépôts morainiques de l'Holocène sont aussi certains *éboulis* ou *moraines des névés* disparus depuis peu ou même actuels, c'est-à-dire accumulations chaotiques de débris de pente, pseudo-éboulements, reliés aux névés et par conséquence disposés parfois un peu à demi-cercle ou un peu allongés, rappelant les *Roks-streams* de quelques Géologues américains.

4° Les dépôts *alluviaux* ou *Alluvium* ou *Alluvions post-glaciaires*, *Alluvions récentes* fluviales ou lacustres, *Alluvions des terrasses*, *Deltas* lacustres, etc. de l'Holocène se développent (sous forme de sable, gravier et cailloux, parfois avec mélange de limon argileux à teinte d'ensemble grise ou grise-jaunâtre) dans les parties basses des vallées, couvrant les terrasses inférieures et le lit actuel, d'où le nom de *Terrassenkies* (*Nieder-Terrassen-Schotter*), *Graviers des basses terrasses* et de *Terrassien* de Sacco, 1886.

Les *Cônes de déjection* d'âge varié, des anciens plistocéniques à ceux encore en train de se former aujourd'hui (nous montrant parfois les relatifs évenements originaux dans les proches flancs de vallée), se relie graduellement d'un côté aux éboulis des pentes et de l'autre aux alluvions des fonds de vallée.

De même beaucoup des *Limons* impurs superficiels, reliés parfois à des débris de pente où à des alluvions, sont dûs ordinairement au ruissellement et ils contiennent non rarement aussi des coquilles d'*Helix*, *Pupa*, *Clausilia*, *Bulimus*, *Cyclostoma*, etc.

Les *Tourbières*, passant parfois à de simples marais tourbeux ou prairies ou alluvions tourbeuses, sont fréquentes sur la bordure des Alpes et sur le fond des vallées alpines en remplacement des dépressions lacustres, qui se sont constituées dans la période (dite pour cela *Turbarian* par Geikie en 1895) immédiatement successive au retrait des glaciers.

*Dépôts travertineux* (dits aussi *Tufs calcaires*, *Tropfstein*, *Kalk-tuf*) formés par endroits, soit dans le Plistocène soit dans l'Holocène, en rapport avec des sources calcarifères, remplissant même parfois des cavités avec des incrustations calcaires (stalactites et stalagmites); ils renferment parfois des restes de *Helix* (*H. alpina*), *Succinea*, etc., comme aussi des belles empreintes de *Rhododendron*, *Salix*, *Rubus*, *Sorbus*, *Senecia*, *Arctostaphylos*, *Rumex*, *Betula*, *Pinus*, *Acer*, *Mespilus*, *Crataegus*, *Hedera*, *Viburnus*, *Corylus*, *Carpinus*, *Alnus*, *Populus*, *Scirpus*, *Abies*, *Vaccinium* etc., ce qui représente une Flore forestière à climat humide et tempéré, ainsi que l'indiquèrent p. ex. les Tufs dits du Lautaret.

Quant à l'Holocène nous pouvons aussi rappeler les formations superficielles de notable altération (*ferrettisation*, *kaolinisation*, *argilification*, etc.) qui rendent terreux-sableux ou argileux des terrains divers même anciens, cristallins, quand ils furent exposés pendant longtemps aux agents extérieurs et en des conditions de ruissellement peu intense, ainsi que nous le voyons par exemple dans les Caleschistes, les Micaschistes et même dans les Gneiss et les Granites des Préalpes, p. ex. dans les Gneiss micacés subhorizontaux des Piani près de Bricherasio, dans le Granite de Belmonte, etc. Au contraire dans les hautes Alpes nous voyons que les roches gneissiques et même granitoïdes présentent souvent le débitement en plaques ou écailles (parfois avec apparence de couches), zones de détachement superficiel, dues à la gelée et au dégel, qui donnent ensuite naissance peu à peu aux débris de pente.

Rappelons enfin l'*Humus* ou *Terre végétale*, *Dammerde*, *Ackererde*, etc., produit superficiel d'altération chimico-physique et de décomposition organique, qui représente la formation holocénique la plus importante pour la nutrition de l'Homme.

Dans les dépôts holocéniques les fossiles sont généralement peu nombreux à cause de la nature préférentiellement tumultueuse de ces dépôts (exception faite pour les lacustres et autres semblables) et ils appartiennent à des espèces vivantes souvent encore aujourd'hui dans l'endroit même; ce n'est par conséquent pas le cas de les indiquer.

Je rappelle seulement comme plus importants les restes de l'*Homme néolithique* révélé non plus seulement par des silex, haches, etc., mais aussi par des restes squelettiques dans les cavernes de la Ligurie et par des constructions spéciales, etc., comme les stations lacustres à palafittes (*Palafittien*) dans les régions lacustres et tourbeuses des Préalpes, etc.

---

---

## MÉTAMORPHISME

---

Un des plus importants et des plus grandioses phénomènes géologiques qui caractérisent les Alpes Occidentales est certainement le profond métamorphisme qui a envahi complètement les formations paléozoïques et une bonne partie des mésozoïques en les réduisant à un état de cristallinité plus ou moins accentuée, ainsi qu'on a déjà indiqué dans les chapitres précédents.

Il semble par conséquent opportun de traiter à part, bien que sommairement, ce phénomène pour chercher d'en connaître le processus et d'en expliquer la cause. A cet effet il convient de procéder à ce rapide examen en adoptant l'ordre chronologique inverse, ce qui nous permet de suivre, dirais-je, l'avancement progressif du métamorphisme des terrains les plus jeunes aux plus anciens.

Tandis que dans les terrains néozoïques nous voyons des dépôts vaseux, sableux, caillouteux, etc. analogues à ceux qui se forment sous nos yeux, en descendant aux cénozoïques nous trouvons déjà que, spécialement par compression et cimentation, en général les vases sont changées en argiloschistes et en marnes plus ou moins calcaires, selon leur constitution originaire; les sables se sont transformés en grès; les dépôts caillouteux en conglomérats, c'est-à-dire que les divers sédiments, tout en conservant leur physionomie d'origine, qui permet de reconnaître parfaitement leur nature première, ont commencé déjà à subir quelques modifications, produites essentiellement par la compression et la cimentation, qui les a rendus plus ou moins compacts.

Dans la partie inférieure du Cénozoïque, c'est-à-dire dans l'Eocène, en général ces modifications s'accroissent encore plus et par endroits très notablement. Ainsi les conglomérats deviennent parfois tellement cimentés, altérés, comprimés, etc. et leur ciment tellement transformé qu'ils prennent un aspect ancien, pseudo-anagénitique, si bien que quelques-uns (p. ex. ceux d'Andonno dans la Vallée du Gesso) ont été pendant longtemps considérés comme des Anagénites du Permien. Du reste au microscope leur ciment se présente aussi parfois métamorphosé et avec un aspect semicristallin fibrillaire (séricitique?) ou granulaire analogue à celui des Anagénites typiques du Trias inférieur. Les grès deviennent plus franchement lithoïdes, formant le typique *Macigno* à ciment calcaire ou siliceux, dû en grande partie à l'action des eaux souterraines circulantes, qui dissolvent et déposent l'élément calcaire ou siliceux à un état plus ou moins cristallin. Les marnes se changent souvent en calcaires plus ou moins marneux et des vases calcaires primitives dérivent des vrais calcaires argileux, des calcaires siliceux, etc., souvent très compacts, comme p. ex. les calcaires dits *Alberesi* et les différents calcaires *marmoréens*.

Quant aux vases, elles se transforment généralement en ces types variés d'*Ardoises*, d'*Argiloschistes*, *Pelites* et *Argilolites* variés, gris ou brunâtres, qui, alternés souvent avec des couches

minces calcaires ou de grès, reçoivent dans l'ensemble le nom de *Flysch*. Du reste cette formation spéciale, bien qu'elle soit développée en particulier dans l'Eocène, comparait pourtant de même amplement dans le Crétacé et dans certaines régions elle s'étend en haut jusqu'à l'Oligocène.

C'est un fait remarquable aussi que non seulement dans le Crétacé, ainsi que nous le dirons bientôt, mais parfois aussi dans l'Eocène parmi ces argiloschistes, d'origine plus ou moins bathyale, comparaissent soit des teintes bariolées (rougeâtre, verdâtre, violacée, etc.) d'origine minérale, soit des imprégnations éparses ou des concentrations minérales, pour la plus grande partie ferrifères et cuprifères, soit aussi çà et là des roches spéciales basiques (*Pierres vertes* l. s.), qui indiquent une action plus ou moins directement plutonique.

Je rappelle aussi à ce propos les Tufs diabasiques que non rarement on trouve associés aux grès de l'Eocène alpin, constituant les *Grès* dits de *Taveyannaz*. La preuve de cet intense métamorphisme de quelques formations éocéniques nous l'avons encore dans le fait qu'en plusieurs régions soit de l'Appennin (spécialement méridional) à développement de schistes souvent ophiolitifères, soit de quelques zones alpines où se développent les *Schistes lustrés*, les *Büdnerschiefer*, etc., on a discuté et en certains cas on discute encore sur l'âge plutôt éocénique que mésozoïque de quelques-uns de ces schistes plus ou moins métamorphiques, indiqués parfois comme *Schistes lustrés flyschoides* ou *Schistes lustrés supérieurs*, *Flysch calcaire*, *Schistes luisants calcarifères*, etc. Je rappelle comme exemple qu'en certains synclinaux éocéniques des vallées de la Stura et du Gesso (en Piémont) il y a même des calcaires nummulitifères spéciaux avec mica autigène qui passent à des vrais Calcschistes.

Néanmoins les formations du Crétacé ne présentent en général, ni dans les Alpes ni dans l'Appennin, le vrai état de cristallinité qu'elles ont touché ailleurs, bien que rarement, comme p. ex. dans le Coast Range de la Californie.

Notons en passant que parmi les schistes argileux apparaissent çà et là des zones phtaniques et jasproïdes et même de vrais jaspres à teinte grise, rougeâtre ou noirâtre ou d'autres roches très résistantes à type de dépôt bathyal ou abyssal.

Comme on a déjà indiqué, parmi ces formations variées (éocéniques et crétacées) apparaissent très fréquemment des roches serpentineuses (par endroits même talqueuses), diabasiques, euphotidiques (gabbroïdes), péridotiques et même, sur certains points, granitiques, souvent avec le cortège d'imprégnations minérales variées (spécialement ferrifères et cuprifères), parfois même avec des zones pétroléifères. Tout cela forme dans l'ensemble ce qu'on peut indiquer comme *Zone des Pierres vertes appenninique* ou *jeune*, en rapport à celle un peu plus ancienne alpine; les analogies entre les deux formations sont si grandes que Gastaldi et d'autres géologues les croyaient une chose seule.

Il faut noter qu'entre les formations ophiolitiques surindiquées et les schistes qui les englobent on observe parfois des passages locaux donnés par des argiles écailleuses spéciales très magnésifères, stéatiteuses, bariolées, par des ophicalcites, ophisilices, *Ranocchiaie* etc., par des mélanges spéciaux ophiolitiques, chloriteux, stéatiteux, etc. préférentiellement verdâtres ou gris-verdâtres.

Le métamorphisme, bien qu'encore incomplet, des formations crétaciques rappelle parfois quelque peu ce qu'indique Longchambon dans sa "*Contrib. ét. Métam. terr. sec. Pyrénées - 1912*". En effet dans les marnes albiennes de cette région, même sans le voisinage de phénomènes d'intrusion, la matière carburée s'agglomère en petites taches de graphite (comme dans les schistes tachetés du Paléozoïque métamorphique des Alpes, de l'Elbe, de la Calabre, etc.); la calcite cristallise; çà et là se forment des silicates qui cristallisent en plages irrégulières, se vérifiant ainsi des silications partielles; ensuite comparaissent des lamelles de mica qui s'alignent donnant naissance

à la schistosité et on passe ainsi à des schistes micacés avec plages cristallines et cristaux épars de quartz, graphite, fer oxidulé, chialtolite et ailleurs de dipyre, d'albite, etc.

En même temps les calcaires et les dolomies du Crétacé, ainsi du reste que du Mésozoïque en général, deviennent marmoréens, saccharoïdes, c'est-à-dire que le métamorphisme se réduit à une pure cristallisation; tandis qu'au contraire dans les calcaires impurs (marneux, argileux, etc.) des matériaux divers se développent aussi spécialement des silicates alluminifères; et si l'argile y abonde on peut vérifier une vraie silicatation de forme et nature variées.

Revenant aux Alpes Occidentales, si nous descendons au Mésozoïque moyen-inférieur nous voyons y apparaître très puissante et très développée la spéciale, caractéristique, formation dite *Zone des Pierres vertes* (ou à faciès *piémontais* ou *lépontin*) dont le métamorphisme de cristallisation est déjà si marqué que cette zone fut pendant longtemps considérée comme archaïque. Cette zone a dans l'ensemble une grande analogie avec la zone des Pierres vertes plus jeune (crétacique-éocénique) de l'Appennin par la nature des roches ophiolitiques (Euphotides ou Gabbros, Diabases, Péridotites, Pyroxénites, Serpentes, Talcschistes, Chloritoschistes plus ou moins grenatifères etc., avec le cortège habituel d'imprégnations minérales, spécialement cuprifères). On remarque néanmoins comme spécial le grand développement des roches amphiboliques (Amphibolites, Glaucophanites, Prasinites, Eclogites, etc.) particulièrement dans la partie inférieure de la série mésozoïque.

Ces Pierres vertes variées du Mésozoïque alpin présentent aussi un intéressant métamorphisme (selon Franchi et autres) de roches euphotidiques et diabasiques en schistes prasinitiques et amphiboliques, comme aussi de roches péridotiques en Serpentes, etc.

Il existe en outre souvent une certaine prévalence du matériel calcaire sur celui argileux (ce qui est dû à des conditions de dépôt originaire un peu différentes) bien qu'il y ait souvent une grande analogie entre le faciès (de *Flysch* l. s.) des deux formations. Mais la formation de la Zone des Pierres vertes alpine se distingue de la plus jeune, appenninique, spécialement par le métamorphisme général beaucoup plus avancé et tellement intense que la cristallisation a envahi en général plus ou moins complètement les différentes formations sédimentaires originaires, si bien que les vases calcaires-argileuses ou sableuses se sont transformées en Calcaires cristallins, ou Marbres saccharoïdes (souvent albitifères, parfois grenatifères, micacés, chloriteux ou talqueux), en Calcschistes, Calcschistes biotitico-feldspathiques, Calcschistes satinés, Calcschistes quartzifères ou siliceux (localement dits dans l'ensemble *Bündnerschiefer*, *Walliserschiefer*, etc.) et en nombre d'autres Schistes cristallins, comme Phyllades, Schistes argilomicacés (*Glimmerflysch*), *Schistes lustrés*, *Glanzschiefer*, Schistes quartzitiques ou quartzo-séricitiques (*Quartzoschistes* ou *Sandschiefer*), Schistes chloritiques ou chloritico-feldspathiques, Schistes talqueux ou *Talkflysch* gris ou verdâtres, Schistes verts glaucophaniques, *Grünschiefer* en général, Micalithes, Schistes graphitiques, (parfois avec intercalations phtanitiques, jasproïdes, cornéennes ou autres); même çà et là en vrais Micaschistes (spécialement Séricitoschistes) et en Gneiss psammitiques, Gneiss feuilletés, etc. souvent riches en minéraux variés, comme Grenat, Amphibole, Staurotide, Chloritoïde, Pyrite, etc.

En étudiant ces formations, soit en grande échelle sur le terrain (où on peut parfois suivre les passages verticaux et transversaux entre les dépôts à faciès encore presque normal et ceux à faciès cristallin), soit en échelle minime sous le microscope, on peut, dirais-je, presque assister au processus métamorphique, qui généralement commence par l'apparition du Mica (spécialement Séricite, puis aussi Muscovite, Paragonite, etc.) accompagnée par celle de minéraux variés, comme: Disthène, Rutile, Clintonite, Chlorite, Ottrélite, Chloritoïde, Actinote, Trémolite, Glaucophane, Stauro-

tide, Grenats, Tourmaline, Zircon, Magnétite, Quartz, Calcite, Orthose, Adulaire, Albite, Titanite, Pyroxènes, Amphiboles, Ilménite, Epidote, Zoizite, etc.

Mais si nous descendons à la base de la série mésozoïque, passant souvent très graduellement au Paléozoïque supérieur, nous constatons que les formations sont en général encore plus intensément métamorphosées, cristallisées. C'est-à-dire que les conglomérats se sont transformés en Anagénites; les sables ou grès sont devenus des Quartzites ou Quartzoschistes souvent micacés, ordinairement séricitiques ou feldspathiques ou chloriteux ou talqueux, etc. selon la nature des sédiments d'origine.

C'est spécialement dans certains grès en voie de métamorphisme qu'on peut observer au microscope qu'en des stades divers les grains de quartz, premièrement irréguliers, s'arrondissent et deviennent un peu exagonaux, s'accroissent; qu'entre eux apparait le Mica ou la Chlorite; que la structure clastique disparaît, etc. jusqu'à ce qu'on passe à de vraies Quartzites micacées ou chloritiques ou feldspathiques ou amphiboliques, tandis que se forment des minéraux nouveaux, comme Cordiérite, Sillimanite, Biotite, Magnétite, Feldspaths, Andalousite, Disthène, Staurotide, Epidote, Zoizite, etc.

Les dépôts plus ou moins argileux se sont transformés en Argiloschistes souvent micacés, en Argilolites, Phyllades et en Schistes variés quartzitiques, phtanitiques, royaitiques, otrélitiques, micacés (spécialement séricitiques), feldspathiques, chloriteux, talqueux ou chloritico-talqueux ou glaucophanitiques, etc. à teinte variée, grise-verdâtre, rougeâtre, violacée, etc. Parfois ces Schistes métamorphiques sont remplis de petits cristaux de Rutile, de Tourmaline, comme aussi d'Ilménite, d'Oligiste, de Pyrite (quand les sédiments originaires étaient très ferrugineux), souvent englobés en une sorte de mosaïque de Quartz, Séricite, Chlorite, etc.

Enfin çà et là certains Schistes cristallins passent même en bas (assez plus fréquemment et largement que non dans les horizons supérieurs) à de vrais Micaschistes et à des Pseudogneiss, Gneiss arkosiques ou anagénitiques ou à des vrais Gneiss menus (Paragneiss typiques), qui montrent souvent au microscope une structure cataclastique-laminée.

Non rarement on voit ces formations gneissiques ou micaschisteuses former un passage, permotriatique (souvent *incertae sedis*), entre le Mésozoïque et le Paléozoïque métamorphosés.

La coupe géologique détaillée dessinée par Stapff (*Geol. Prof. d. St. Gothard, 1880*) spécialement dans la région à Nord d'Airolo, peut donner une idée de ces complexes aussi bien que variées et puissantes séries micaphyllitiques (micacées, calcitiques, quartzitiques, feldspathiques, etc.) souvent aussi amphibolitiques, qui dans les régions alpines métamorphiques constituent les formations de passage du typique Trias moyen calcaire ou dolomitique aux Schistes micacés-gneissiques du Paléozoïque moyen.

Comme région intéressante et commode à examiner pour ces Schistes métamorphiques rappelons p. ex. celle de la Beaume dans la vallée de Suse (région étudiée au point de vue lithologique par Colomba); nous y voyons en effet que déjà dans le typique Trias moyen calcaire avec Anhydrite, Cornioles, etc. (placé au dessous de l'immense série des Calcschistes), apparaissent parfois des alternances de Schistes verts glauconitiques et de Micaschistes et Talcschistes verdâtres et que les Calcaires mêmes vers le bas sont cristallins, presque gneissiformes, avec lamelles de Talc interposées. Le Trias inférieur y est représenté par une belle série de Quartzites schisteuses alternées avec des Talcschistes, Schistes à glaucophane ou Chloritoschistes par altération, Micaschistes très quartzeux et, vers le bas, feldspathico-graphitiques, etc., avec plusieurs minéraux accessoires (Zircon, Sidérite, Pyrite, etc.); enfin on passe en bas aux Micaschistes feldspathiques et aux Gneiss menus, çà et là amphibolitiques, de l'Anthracolitique.

A l'examen au microscope on voit parfois certains Schistes argileux métamorphiques, du type de la Royaïte, présenter de la Chlorite abondante en lamelles avec passage aux Chloritoschistes.

Fréquemment on observe des Anagénites où le ciment est or encore de nature kaolineuse trouble, or au contraire déjà de nature micacée-chloriteuse ou micacée-talqueuse, fibrillaire ou lamelleuse par métamorphisme, avec des passages infinis entre les deux cas.

Dans nombre de ces Schistes métamorphiques du Trias inférieur on observe des minéraux épars analogues à ceux qu'on trouve dans les Schistes cristallins du Paléozoïque supérieur, ainsi Rutile, Tourmaline, Quartz, Séricite, Chlorite, Oligiste, plus rarement Sphène, Ilménite, Zircon, Feldspaths, etc.

Si nous descendons encore plus bas, c'est-à-dire dans le Paléozoïque, même seulement supérieur (Anthracolitique), nous rencontrons de suite un métamorphisme encore plus accentué et étendu, si bien que dans la plus grande partie des Alpes Occidentales (la Vallée d'Aoste est typique à cet égard) les anciens dépôts sédimentaires sableux, argileux ou autres similaires, non seulement se sont transformés généralement en Grès métamorphiques, Anagénites laminées et Schistes anagénitiques des plus variés, arkosiques, quartzitiques (Quartzites séricitiques ou talqueuses ou feldspathiques et même gneissiformes), argilolitiques, ardoisiers, phylladiques, royaïtiques, parfois tachetés (Schistes tachetés ou *Fleckschiefer*, *Knotenschiefer* ou *Spotted Slate*, etc.) et souvent maclifères, micacés (spécialement séricitiques), feldspathiques, quartzitico-feldspathiques, ottrélitiques, chloritiques, chloritico-micacés, chloritico-quartzeux, talqueux, talqueux-chloritiques, talqueux-micacés, en Schistes verts en général, Schistes albito-calcitifères, etc. (ce qui forme dans l'ensemble une grande partie des *Casannaschiefer*), mais toujours plus fréquemment et sur une vaste étendue en vrais Micaschistes et Gneiss variés (Paragneiss typiques) comme: Gneiss psammitiques, Gneiss chloritiques, Gneiss verts, Gneiss talqueux-chloriteux, Gneiss chloriteux, Gneiss protoginiques, Gneiss menus, Gneiss laminés, Gneiss feuilletés (*Phyllitgneiss*), Gneiss micacés, Gneiss prasinitiques Gneiss appenniniques ou bésimaudiques, Gneiss anagénitiques, Quarz-gneiss, Gneiss arkosiques (Becke 1879), Gneiss cataclastiques, Pseudo-Gneiss, Alpinit de Simmler, Appenninite de Gastaldi, Appenninitoschistes, Bésimaudite (pars) de Zaccagna, etc. parfois indiqués avec des noms locaux comme Surretta gneiss, Rölfla-gneiss, Spluga-gneiss, Gneiss de Modane (selon Lory), etc.

Les dépôts tufacés de l'Anthracolitique subirent naturellement aussi les actions métamorphiques physico-minéralogiques qui les rendirent parfois laminés, séricitisés et transformés en roches spéciales, comme seraient, selon certains auteurs, les Bésimaudites (p. p.) et Schistes nombreux plus ou moins verdâtres, parfois même épidotiques, prasinitiques, etc.

Comparaissent aussi, parmi les Schistes verts, mais en général peu étendus et puissants, des Schistes spéciaux chloritico-amphiboliques, glaucophanitiques, chloritico-épidotiques, etc.

Naturellement les dépôts charbonneux passèrent, par l'intensité du métamorphisme, non seulement à l'état d'Anthracite (*Anthracit-Schiefer*), mais souvent aussi de Graphite, d'où la fréquence de Graphitoschistes variés et même de vraies zones ou lentilles graphitiques parmi les nombreux schistes métamorphiques du vrai Carbonifère, des Alpes liguriennes jusqu'aux Alpes orientales.

Si nous examinons au microscope les différentes roches métamorphiques surindiquées on peut souvent y observer les transitions les plus variées, de la constitution élastique primitive (anagénitique, gréseuse, arkosique, argileuse, etc.) à celle plus ou moins cristalline, jusqu'à la gneissique (d'où justement les noms de Gneiss anagénitiques, Gneiss arkosiques, etc.), par le développement, aux dépens du matériel détritique menu ou argileux, de nouveaux minéraux divers de néo-formation, comme Micas, Feldspaths (spécialement Plagioclases), Quartz, Chlorite, Epidote, en outre de mi-

néraux secondaires accessoires, mais aussi parfois très abondants, comme Tourmaline, Grenat, Zircon, Magnétite, Sismondine ou Gastaldite, Pyrite, Ilménite, Rutile, Sphène, Glaucothane, Chloritoïde, Amphibole, Apatite, Calcite, etc., si bien qu'on arrive à des roches complètement cristallines soit feldspathiques (Gneiss) soit non feldspathiques (Micaschistes et autres Schistes cristallins similaires).

Parfois on peut observer la transformation du matériel feldspathique (ou kaoliniteux par altération) des grès, anagénites et autres en Mica (c'est spécialement le cas du Feldspath séricité) ou Talc, avec éventuelle mise en liberté de silice, qui peut recristalliser sous forme de Quartz.

On voit des formations d'origine clastique où la partie granulaire (représentée par Quartz, Feldspath, etc.) est plongée dans une pâte cimentante de substance kaoliniteuse ou siliceuse associée à du matériel micacé (Séricite, Paragonite, etc.) lamellaire ou fibrillaire enchevêtré; matériel de néo-formation qui, en s'étendant, nous porte aux Micaschistes ou bien à des roches qui sont, par composition et aspect, gneissiques, mais qui conservent encore en partie la structure clastique.

Souvent avec le matériel micacé il y a apparition de matériel chloriteux (qui peut aussi dériver de l'altération du Mica), plus rarement talqueux ou mixte, en lamelles et sous forme de pigments, donnant naissance à des roches préférentiellement verdâtres, plus ou moins phylladiques, à type intermédiaire entre le clastique et le cristallin, qui passent parfois à des Chloritoschistes, Talc-schistes, etc., tandis qu'en même temps se constituent des petits cristaux épars de Magnétite, Ematite, Pyrite, etc.

Parfois le Chlorite et la Séricite se présentent en courtes lamelles groupées soit en faisceaux parallèles, soit enchevêtrées confusément entre le Quartz et enveloppant le Quartz même; souvent les Feldspaths forment presque des accentrements spéciaux et y prédomine l'Albite tandis qu'y est plus rare l'Oligoclase.

La formation caractéristique de la Gumbelite, en remplacement des feuilles dans les Schistes ardoisiers du Carbonifère de la Savoie, peut même être rappelée comme exemple de néo-formation d'un hydrosilicate d'allumine sans l'intervention d'actions calorifiques notables, qui auraient détruit la forme organique. Cela du reste rappelle le fait, étudié par Stur il y a trente ans, que les plantes fossiles englobées dans le Carbonifère de la Styrie, transformé en schistes fortement cristallins, présentent leur primitive substance carbonneuse transformée en silicates magnésiens sans de notables modifications de la structure organique originale.

Cette épigénèse spéciale des Phyllites du Carbonifère s'accorde avec le fait que parfois les dépôts carbonifères alpins, par la constitution de Séricite en lamelles, se transforment en Grès micacés, qui, par un ultérieur métamorphisme, passent à des Schistes cristallins pas toujours faciles à distinguer des archaïques.

Une belle preuve de l'intensité du métamorphisme dans l'Anthracolitique alpin nous est présentée aussi par des Conglomérats spéciaux changés non seulement en simples Anagénites, mais en Anagénites feldspathiques ou talcoso-feldspathiques (par quelques auteurs appelées *Verrucano gneissoïde*) ou vraiment gneissifiées (*Mollièresite*) par la cristallisation du ciment (ainsi que sur certains points des Alpes Maritimes et Cottiennes, dans la vallée d'Aoste, dans la Savoie, etc.), ce qui rappelle les *Phyllit-Gneiss* avec galets cristallins déformés de l'Erzgebirge, etc.; jusqu'à ce que, quand le métamorphisme est encore plus avancé, le contour des galets finit par disparaître en partie et leur matériel se confond presque avec le matériel cimentant.

En ces Anagénites gneissifiées, ou Mollièresites, les éléments caillouteux (bien que souvent un peu anguleux) de Quartz, Aplite, Microgranite, Gneiss variés et Schistes bruns métamorphiques, sont englobés et cimentés par une pâte gneissique pseudo-arkosique (avec abondant matériel

micacé métamorphique, disposé parfois en structure pseudo-fluidale autour des galets) analogue à celle de la formation générale environnante, qui est de Gneiss (parfois psammitique ou arkosique) passant aux Phyllades séricitico-chloritiques.

De plus sur des zones alpines étendues ces Schistes métamorphiques du Paléozoïque supérieur, englobés dans l'ensemble dans la série très compréhensive des *Casannaschiefer*, ont perdu tellement leurs caractères d'origine et ont au contraire acquit une telle cristallinité qu'il est souvent très difficile de les distinguer des plus anciens; difficulté grave contre laquelle le Géologue se heurte et combat, bien que malheureusement jusqu'aujourd'hui sans résultats sûrs.

Du reste déjà la *Poudingue* dite de *Valorcine*, décrite la première fois par De Saussure, et autres formations détritiques semblables de l'Anthracolitique alpin, par leurs déformations et leur pâte-ciment, talqueuse ou micacée, montrèrent aux anciens studieux de la Géologie alpine, comme Necker, De Mortillet, A. Favre, etc. qu'elles passaient graduellement aux roches cristallines. Anciennement même Berger déterminait ces poudingues métamorphiques comme *Granite veiné*.

Quand enfin des Schistes cristallins du Paléozoïque supérieur des Alpes occidentales on descend plus bas, on voit dans l'ensemble qu'on passe de formations en prévalence micaphyllitiques à d'autres préféremment gneissiques; on ne trouve plus des zones qui, comme çà et là dans l'Anthracolitique, présentent encore des restes du primitif faciès sédimentaire; la structure des roches cristallines devient plus homogène, la cristallisation moins confuse, les individus cristallins plus volumineux et mieux formés; les Chlorites et Séricites forment des grandes plages qui moulent les grains de Quartz; les Feldspaths forment de même des grandes plages moulant les Micas ou les Chlorites et y prédomine l'Oligoclase au lieu de l'Albite, etc. Il s'agit néanmoins essentiellement de différences de degré qui changent aussi dans les différentes régions selon les conditions spéciales où s'est vérifié le processus métamorphique.

De toute façon l'entière série est métamorphosée, hautement cristallisée, si bien que le géologue se trouve dans une grande incertitude non seulement quand il essaie de distinguer les principaux étages du Paléozoïque, mais aussi quand il veut délimiter celui-ci de l'Archaïque. On doit noter à ce propos que, tandis que le faciès lithologique a porté jusqu'aujourd'hui les géologues à étendre généralement le règne de l'Archaïque, les faits surindiqués font au contraire planer le doute que, malgré la forte cristallinité de ces formations, il s'agisse simplement en grande partie de Paléozoïque profondément métamorphosé.

En effet dans la puissante série cristalline inférieure, profonde, le processus métamorphique est arrivé à un degré tel de oblitérer, masquer ou confondre une grande partie des distinctions lithologiques primitives et de uniformiser ou presque les dépôts originaires, en les réduisant essentiellement au faciès général cristallophyllien, en petite partie micaschisteux et pour la partie plus grande gneissique, ne restant plus que de simples différences structurales et minéralogiques en rapport avec les différences chimiques originaires et avec les divers phénomènes qui se sont vérifiés pendant le processus métamorphique. Mais dans l'ensemble il s'est vérifié le fait général que les zones gneissiques plus profondes (d'où le nom de fondamentales ou centrales) et par conséquent plus métamorphosées, ont pris un aspect plus massif et plus grossièrement cristallin, formant les Gneiss dits glandulaires, granulaires, etc.

En outre où le métamorphisme fut plus intense et plus complet, soit par ancienneté ou profondeur plus grande, soit par des causes et conditions spéciales, même la disposition schisteuse des éléments de la roche a été oblitérée et elle est devenue granulaire, constituant ainsi des formations granitoïdes qui çà et là montrent en effet des passages graduels aux Gneiss (Gneiss granitoïdes, etc.);

si bien que parfois on est incertain sur l'attribution de quelques formations aux Gneiss ou aux Granites. Cette Granitisation a été certainement un phénomène qui s'est répété plusieurs fois, en diverses époques géologiques et de plusieurs manières, si bien que les roches granitoïdes se présentent non seulement comme des formations constituées *in situ*, presque à représenter le dernier stade, pseudo-plutonique, dirais-je, de métamorphisme des terrains alpins, mais aussi avec des formes à type protrusif et accompagnement de formes aplitiques, pegmatitiques, porphyriques et parfois même avec des auréoles minérales variées.

Il faut en outre noter que parmi les Schistes cristallins du Paléozoïque ne sont pas rares les zones ou lentilles euphotidiques, gabbroïdes, diabasiques, périclites, serpentineuses, amphiboliques, prasinitiques, talcschisteuses, chloriteuses, etc. souvent avec le cortège habituel d'imprégnations minérales (cuprifères, ferrifères, nickelifères, cromifères, etc.) comme aussi avec des minéraux épars les plus variés et les plus fréquents.

Ni il s'agit toujours de vraies masses de Pierres vertes parmi les Schistes cristallins, mais parfois aussi de vrais mélanges entre les éléments de ces deux types lithologiques, étant par exemple fréquents les Micaschistes et les Gneiss talqueux ou chloriteux ou amphiboliques ou dioritiques ou prasinitiques ou pyroxéniques ou épidotiques, etc. comme aussi les Granites chloritiques ou euphotidiques (gabbroïdes) ou amphiboliques (dioritiques), etc., ce qui nous indique une certaine communauté entre ces roches si bien distinctes au premier abord, les acides et les basiques.

Il est en tout cas remarquable qu'on trouve dans les Alpes Occidentales une autre zone des *Pierres vertes* très ancienne, paléozoïque, que pour les Alpes nous pouvons indiquer au point de vue chronologique comme *première zone*, qui a naturellement une plus grande analogie avec la *deuxième*, triasico-jurassique (de même alpine), si typique et renommée, que non avec la *dernière*, crétacéo-éocène (appenninique), soit par l'intensité du métamorphisme général soit par la prévalence relative des formations amphiboliques (dioritiques, prasinitiques, etc.) sur les diabasico-périclites-serpentineuses qui dominent au contraire dans le Mésozoïque supérieur et dans l'Eocène.

Considérant maintenant les faits généraux exposés sommairement plus haut sur le Métamorphisme de formations étendues et puissantes des Alpes Occidentales nous pouvons en tirer quelques remarques.

I. — Avant tout que, après l'Eocène, tandis que dans les régions alpines émergées se vérifiait largement le *Katamorphisme* (V. Hise) ou *Métamorphisme exogène* ou *météorique* ou *extérieur*, d'altération chimico-physique des roches, par conséquent destructif ou descensionnel, dans les formations néozoïques et cénozoïques, en grande partie circumalpines, submergées ou protégées, s'est accompli seulement ou essentiellement le *Métamorphisme de consolidation* ou *de cimentation* des dépôts, qui de l'état originaire de vases, sables et cailloutis passèrent, selon leur nature et leur constitution chimique, à l'état d'argiloschistes, argilites, ardoises, pelites, marnes, calcaires, psammites, grès, conglomérats, etc.; métamorphisme (pour lequel je proposerais le nom de *Scléromorphisme*) causé en partie par les pressions, spécialement de haut en bas, et aussi par l'action des eaux souterraines circulantes à température ordinaire ou pas trop élevée, d'où dérivèrent aussi des phénomènes variés, comme: lessivage ou exportation de substances, dissolutions, décompositions, décalcifications ou décarbonatations, dépôts, recompositions, recristallisations des éléments dissous, remplissage des vides au moyen de Calcite, Quartz, Calcédoine, etc. portés par des solutions filtrantes, etc.; ce qui constitue le phénomène complexe de la *Diagénèse* (auct.). En outre purent aussi s'opérer des changements chimiques ou transformations de substances (*Métasomatose*), comme: déhydratations ou hydratations, réductions, oxydations, silicisation ou dolomitisation des calcaires, gypsification des anhydrites,

carbonatation de roches silicatées, serpentisation de Pierres vertes, kaolinisation de Feldspaths, etc. en outre de substitutions en général.

Mais déjà dans les formations de l'Eocène de quelques régions, très fréquemment dans celles du Crétacé et spécialement ensuite dans celles du Mésozoïque moyen et inférieur, nous voyons comparaître et toujours plus s'accroître, du haut en bas de la série mésozoïque, le vrai Métamorphisme, dit plus précisément *Anamorphisme*, reconstitutif ou réascensionnel, par lequel les terrains calcaires, argileux, gréseux, conglomératiques, etc. cristallisent de différente façon, donnant naissance à des Calcaires marmoréens ou spathiques, Phyllades, Royaites, Quartzites, Anagénites, etc. tandis qu'aux dépens des matériaux clastiques des sédiments naissent, par néo-formation, des nouveaux minéraux, à commencer par les lamelles cristallines de Mica (d'où le juste nom de *formations micaphyllitiques*), de Chlorite, etc., formant ainsi, selon la constitution chimique d'origine, des Calcschistes, Micaschistes, Chloritoschistes, Schistes satinés et plusieurs autres Schistes cristallins, plus ou moins micacés (spécialement séricitiques), chloriteux, talqueux, glaucophaniques, amphiboliques, etc., dans lesquels apparaissent nombre de minéraux secondaires.

Et en attendant, pendant ce processus métamorphique, on vérifie dans les formations une réduction de volume et une augmentation de densité plus ou moins notable par rapport à ce qui s'accomplit en sens inverse pendant la *Katamorphose*.

Encore plus en bas, déjà dans le Mésozoïque inférieur mais spécialement dans le Paléozoïque, on constate que ce métamorphisme de cristallisation est devenu plus fréquent, plus étendu et souvent aussi plus intense jusqu'à porter à la *gneissification* d'une partie des formations, qui sont devenues par conséquent des Paragneiss des plus variés par forme et constitution, ainsi que je l'ai indiqué plus haut.

Mais tandis que dans le Paléozoïque supérieur nous trouvons spécialement des Gneiss menus, psammitiques, en union avec des Micaschistes et autres Schistes cristallins variés (si bien que le faciès micaphyllitique domine encore), plus en bas au contraire, par une intensité toujours plus grande du processus métamorphique et une conséquente feldspathisation des formations, toujours plus communs et enfin prédominants deviennent les Gneiss macromériques, massifs, appelés justement, pour leur position, fondamentaux; si bien que, diminuant et enfin disparaissant presque les Micaschistes et autres Schistes cristallins, le *faciès* ou *zone gneissique* vient à prédominer et à devenir conséquemment caractéristique.

On note en outre que çà et là ces Gneiss se présentent plus ou moins granitoïdes, jusqu'à ce que parfois on passe même à de vraies *roches granitiques*. Celles-ci néanmoins outre que le produit extrême du métamorphisme très profond, plus ou moins en place, d'anciennes roches sédimentaires, apparaissent aussi parfois parmi les terrains du Paléozoïque avec un aspect protrusif.

II. — Si en ligne générale on vérifie dans les formations des Alpes Occidentales une accentuation toujours plus grande du Métamorphisme en descendant du Cénozoïque au Paléozoïque inférieur, on n'y constate pas pourtant toujours une progression continue et régulière du processus métamorphique; il se présente au contraire avec de notables irrégularités, soit locales ou régionales soit stratigraphiques; si bien que par exemple on peut observer plusieurs formations étendues bien peu métamorphosées comprises entre des formations qui ont subi un métamorphisme intense.

Ce fait est parfois en rapport avec des circonstances particulières et spécialement avec la nature des formations plus ou moins aptes à être métamorphosées, mais il semble dû aussi en partie à de vraies intermittences ou arrêts (parfois momentanés, parfois définitifs) dans le processus métamorphique, par le changement des conditions de milieu survenu pendant la succession des périodes géologiques.

On observe en outre que le processus métamorphique dans une formation donnée semble s'être vérifié une seule fois (généralement peu après son dépôt) ou plusieurs fois (naturellement en ce cas s'accroissant son intensité, ce qui est justement le fait des terrains plus anciens) dans des moments géologiques différents et même éloignés, quand, par des phénomènes spéciaux, se reproduisaient les conditions spéciales en lesquelles pouvait se vérifier le métamorphisme.

III. — Si on rencontre çà et là des formations clastiques grossières plus ou moins profondément métamorphosées, comme p. ex. les Molliérésites ou Anagénites gneissifiées, en général on note pourtant que le phénomène du Métamorphisme se rencontre spécialement dans les dépôts plutôt fins, plus ou moins argileux, à type bathyal ou même abyssal.

Cela est du reste prouvé aussi par le fait paléontologique que parmi les formations métamorphosées du Mésozoïque, tandis que sont fréquentes les Radiolarites, qui représentent des dépôts organiques caractéristiques de haut fond, sont rares ou manquent tout-à-fait les fossiles à type néritique ou littoral, qui sont généralement les plus communs dans les autres formations; fait qui a naturellement contribué à donner aux terrains métamorphiques leur caractère de azoïcité et par conséquent d'archaïcité.

IV. — Les Pierres vertes en général, soit schisteuses soit massives, semblent quant à la structure plus ou moins reliées aux formations métamorphiques, spécialement bathyales ou abyssales, si bien qu'on trouve souvent des Radiolarites à contact avec des Diabases, des Serpentes, etc.

Maintenant si de l'examen des faits et nous basant sur eux, nous passons à des considérations théoriques, nous pouvons brièvement rechercher quelle fut la cause du profond métamorphisme qui frappa, avec une si grande extension et une si grande profondeur, une partie très notable des terrains qui forment les Alpes occidentales.

Les premiers savants qui observèrent les terrains cristallins dans les Alpes crurent qu'ils représentaient le *Terrain primitif (Grundgebirge)* ou l'*Ecorce primitive* du refroidissement du globe terrestre, en suivant du reste en cela l'opinion alors générale de Buffon, Cordier, Poulett-Scrope, Naumann, Breislack, etc.; opinion qui fut embrassée par d'entières Ecoles géologiques, développée pendant longtemps, fortement soutenue par Roth et encore aujourd'hui conservée par quelques géologues.

Mais l'examen géologique de plusieurs régions (qui montra des restes de Crinoïdes, Trilobites, etc. dans des schistes métamorphiques même gneissiques) et spécialement des Alpes Occidentales où, dès 1826, 1828 et 1830, Studer, Elie de Beaumont et Hoffmann découvrirent des schistes cristallins reliés à des roches fossilifères et à des conglomérats (démolissant ainsi l'idée de l'archaïcité de tous les Schistes cristallins) et où en effet nous trouvons des formations intensément métamorphiques, micaschisteuses-gneissiques, non seulement dans le Paléozoïque supérieur, mais même dans le Mésozoïque inférieur, a démontré clairement que ces Schistes cristallins, bien loin d'être des roches de première consolidation de l'écorce terrestre, représentent seulement un stade spécial, plus ou moins avancé, du processus métamorphique, qui s'y est accompli en des périodes diverses, même relativement récentes, de l'évolution terrestre.

En suite par plusieurs savants, comme Werner et son école, ces formations cristallines (dénommées roches indigènes en opposition aux endogènes) furent considérées au contraire comme des terrains s'étant déposés en de spéciales conditions de température et de pression dans des océans très minéralisés; idée qui, avec plusieurs modalités et transformations (comme la théorie *crénitique* de Sterry-Hunt, qui attribue la précipitation des silicates magnésiens à la présence de silicates solubles, alcalins ou calciques, dans l'eau marine riche en sels magnésiens), fut suivie et développée

par plusieurs auteurs comme Emmons, Logan, Magnan et, parmi les Géologues des Alpes Occidentales (avec plusieurs interprétations), par Ch. Lory et spécialement par B. Gastaldi.

Mais cette théorie (*neptunique* ou *neptuno-chimique* ou *neptuno-thermale*) qui peut avoir quelque partie de vrai, fut généralement abandonnée, car on n'a pu encore constater aucun phénomène analogue parmi les processus actuels de sédimentation.

En attendant se développait toujours plus l'idée, déjà anciennement indiquée par Hutton, il y a plus d'un siècle, et étendue ensuite par Hitchcock, Bischoff, Di Collegno, Lyell (qui proposa justement vers 1821 le nom de *roches métamorphiques*), etc., que les Schistes cristallins fussent d'anciens sédiments ayant été *métamorphosés* après leur dépôt par des causes diverses et bientôt sur la question de ces causes prirent naturellement naissance différentes théories.

La préférence fut d'abord pour l'idée que le Métamorphisme eût été provoqué par des actions calorifiques intenses, spécialement par des roches éruptives ou endogènes, par injection de matières fondues et par les vapeurs relatives (c'est-à-dire *Métamorphisme igné* ou *éruptif* ou *d'injection* ou *plutonique* pr. p.); ainsi que p. ex. le pensèrent, en des temps divers et avec des modalités différentes, nombre de géologues, à commencer par le chef de l'Ecole plutoniste, Hutton, en « *Theory of the Earth, 1788* » jusqu'à Ami Boué, Elie de Beaumont, Dana, Lehmann, Lepsius, Geikie, Michel-Lévy, Weinschenk, Sederholm, etc.

Mais ce *Métamorphisme de contact* ou *d'influence*, plus ou moins local, bien visible en plusieurs régions par des phénomènes de fusion, vitrification, jasprisation, calcination, déshydratation, néoformations minéralogiques, etc., est généralement bien moins net et sûr au contact de certaines roches granitoïdes ou autrement plutoniques avec les Schistes cristallins contigus; il n'est pas du tout général et n'existe souvent même pas dans ces contacts et quand il se vérifie il est ordinairement localisé, c'est-à-dire limité à une petite zone; et même en ce cas on ne peut toujours affirmer que ce métamorphisme dérive directement de vraies causes plutoniques, pouvant parfois s'expliquer au moyen de simples actions chimico-physiques (p. ex. phénomènes hydro-thermaux ou autres) d'échange de matériel et nouvelles formations de minéraux entre deux roches contiguës.

On observe au contraire souvent des passages très graduels entre formations gneissiques et formations granitiques, si bien qu'on peut parfois presque assister à la granitisation la plus graduelle de grandes zones gneissiques, ce qui semble exclure un vrai métamorphisme de contact avec des roches éruptives.

Mais si le Métamorphisme de contact en sens strict n'a qu'une importance limitée dans les Alpes, le *Métamorphisme d'influence* ou *périphérique* largement entendu (c'est-à-dire avec actions calorifiques accompagnées par des liquides minéralisés, vapeurs et gaz minéralisateurs, etc.) se confond presque avec le *Métamorphisme régional* ou *général*, de profondeur, auquel essentiellement j'attribue la formation des Schistes cristallins des Alpes, ainsi que je l'indiquerai par la suite.

Tandis que la théorie du simple *Métamorphisme statique* ou *de pression* proposée par Iudd n'eût que peu de vogue, dans ces dernières années l'idée du *Métamorphisme mécanique* ou *dynamique* a été acceptée et développée par beaucoup de géologues. Cette théorie du *Dynamométamorphisme*, énoncée premièrement (1867) par Lossen sous le nom de *Métamorphisme de dislocation*, différemment soutenue par Rosenbusch, K. Schmidt, Lossen, Hitchcock, Renevier, Heim, Lehmann, Baltzer, Renard, Lapworth, Becke, Gosselet, etc., outre que par une bonne partie de l'école géologique américaine, semblait trouver sa meilleure confirmation justement dans les Alpes Occidentales, où les formations métamorphiques ont une énorme extension et où les phénomènes géo-dynamiques durent être très intenses, ainsi que l'indique la tectonique si tourmentée de cette région alpine.

Mais si les actions mécaniques ou dynamiques eurent certainement une certaine valeur dans

les processus métamorphiques, l'examen de nombreux faits comme par exemple: fortes différences de métamorphisme dans des dépôts analogues voisins et qui dûrent subir des pressions analogues; dépôts non métamorphosés bien que fortement comprimés et tordus; formations du Paléozoïque supérieur parfois déjà métamorphosées avant que se vérifiassent les très intenses poussées, strictions, ou autres actions dynamiques (et par conséquent orogéniques) qui clôrent le Paléozoïque, et faits analogues pour des formations mésozoïques ayant été métamorphosées avant le grand dynamisme orogénique qui fit surgir les Alpes à la fin de l'Eocène; en outre plusieurs expériences très concluantes, comme par exemple celles de Spezia, diminuèrent beaucoup l'importance de l'agent dynamique en le réduisant au degré de facteur important, il est vrai, mais non unique ni premier.

C'est-à-dire que l'étude des Alpes faite sans prévention, unie aux expériences de Laboratoire, porte à la conclusion que la pression seule n'est pas capable de vraiment métamorphoser, mais seulement de produire: Phyllitisation ou Phyllatisation, tout-au-plus *Piézocristallisation* p. p. (c'est-à-dire schistosité de cristallisation sous pression), schistosité ou lamination des roches soit sédimentaires soit plutoniques ou éruptives, déformations, plissottements, effeuillements, écrasements, étirements, clivages, brisements, crevassements, déplacements, amincissements, mylonitisation, schillérisation, etc., soit en grande soit en petite échelle, même seulement dans la structure intime de la roche, ainsi que serait la texture cataclastique ou en mortier (*mörtelstruktur*) ou mylonitique visible au microscope; outre à faciliter, favoriser et accélérer certaines transformations et combinaisons chimiques, à orienter les nouvelles cristallisations, à obliger les éléments des roches à se rapprocher et, fait encore plus important, à obliger les composés chimiques à prendre le volume moléculaire le plus petit possible (selon la loi de Van t'Hoff) si bien que dans l'ensemble les roches deviennent plus denses et plus tenaces.

D'un autre côté il faut rappeler que parfois la diminution de pression, p. ex. dans des terrains premièrement profonds, émergés ensuite, a pu permettre des reconstitutions spéciales et des dépôts chimico-minéralogiques rendus impossibles par les pressions extraordinaires.

Mais, en attendant, la théorie des affaissements grandioses ou effondrements survenus dans certaines régions déprimées de sédimentation, déjà esquissée par I. Hall en 1859, modifiée par I. Dana (qui en 1853 donna le nom de *Géosynclinaux* à ces zones de plis concaves où purent naturellement s'accumuler des dépôts très puissants), acceptée par Th. Babbage, I. Herschel etc., était ensuite mieux élaborée par Mellard Read et mieux développée et complétée en ces dernières années par E. Haug dans le sens que ces puissantes formations qui s'étaient déposées dans les synclinaux pendant la période d'affaissement, plus tard au contraire, comme étant en bonne partie argileuses, schisteuses ou autrement peu compactes, se trouvant comprises entre d'énormes poussées tangentielles, purent, en se plissant, émerger en *Géoanticlinaux* et donner naissance à des reliefs même très élevés.

Or cette théorie des *Géosynclinaux* permet au géologue de concevoir une région de sédimentation généralement puissante plus ou moins bathyale, par conséquent de préférence vaseuse (comme justement les Argiloschistes, les Argiles écailleuses, le Flysch, etc.) et qui, par le grand enfoncement ou abîmement auquel elle put être assujettie, put descendre à de grandes profondeurs, c'est-à-dire même de plusieurs milliers de mètres.

Conséquemment ces formations, en bonne partie plus ou moins argiloso-schisteuses et par là même plus aptes à se métamorphoser à cause de leur structure fine, se trouvèrent en des conditions:

1° — d'énormes pressions (même de 2000, 3000 et plus Kg. par cm<sup>2</sup>) (*Métamorphisme dynamique* ou *Dynamométamorphisme*), soit verticales par dépôts superposés, soit transversales ou tangentielles ou d'autre genre par poussées orogénétiques, ce qui augmente la solubilité, favorise la

formation de certains minéraux, influe sur la texture de la roche (par adaptation et orientation des minéraux), d'où par conséquent les laminations, mylonitisations, cataclastismes, schistosités, etc.

2° — de *haute température* (*Métamorphisme thermique* ou *plutonique* de Hutton) c'est-à-dire de quelques centaines de degrés (peut-être même seulement de 200° à 300° ou 400°) en rapport avec les lois de la Géo-thermique par l'enfoncement des Géosynclinaux, ce qui facilite les actions et réactions chimiques, les dissociations et les transformations chimico-moléculaires et les conséquentes modifications, les nouveaux arrangements minéralogiques, etc., avec des effets en partie comparables aux phénomènes de Métamorphisme de contact.

3° — de *circulation hydro-thermale* (*Métamorphisme hydro-chimique* de Bischoff, *Hydroplutonisme* ou mieux *Métamorphisme hydro-plutonique*) très active au point de vue chimique et physique; car l'eau en des conditions spéciales thermo-dynamiques, c'est-à-dire fortement comprimée et surchauffée (notant que sous fortes pressions elle peut rester liquide même à une température bien supérieure à 100°, c'est-à-dire même jusqu'à environ 360°, température critique) est bien plus facilement filtrante, imprégnante et plus mobile, elle dissout plus facilement, déassocie et attaque plus énergiquement même les silicates (de façon à mettre en liberté la silice qui peut recristalliser sous forme de quartz ou attaquer les calcaires, donnant naissance à des silicates calciques, etc.); elle devient par conséquent plus abondamment et variablement minéralisée (siliceuse, alcaline, etc.), elle transforme plus facilement, transporte plus activement, reconstitue, dépose plus variablement, etc. que non l'eau à la température ordinaire. Si bien que cet Hydro-plutonisme, combiné avec les autres phénomènes de profondeur, est extraordinairement favorable à des génèses spéciales chimico-cristallines, outre à rendre parfois demi-plastiques des roches à l'origine très compactes, avec les importantes conséquences géo-tectoniques qui en dérivent.

4° — d'*ascension et circulation de gaz et vapeurs surchauffés* d'origine plutôt profonde (c'est-à-dire à type fumerollique ou semblable) qui se dégagent des magmas profonds abyssaux et montent en filtrant à travers les roches (*Pneumatolyse* ou *Pneumatomorphisme*) au point de présenter un haut pouvoir chimique; d'autant plus comme étant en connexion avec les fluides qui circulent ou montent de la profondeur et apportent aussi souvent des nouveaux éléments, p. ex. alcalis (constituant ensuite des silicates alcalins), bases (magnésie, oxide de fer, etc.), acides (comme l'acide borique), chlorures, fluorures, sulfures, etc. et par conséquent agissant soit comme dissolvants, soit comme minéralisateurs plus ou moins énergiques; de là injections, imprégnations, réactions, transformations, dépôts, etc.

5° — en outre de *très longue durée* (même de une ou plusieurs périodes géologiques) de ces phénomènes variés d'*Endomorphisme* agissant d'une façon plus ou moins énergique bien qu'en général lente et tranquille, si bien que peuvent se vérifier des diffusions chimiques graduelles, des transformations et arrangements chimico-cristallographiques et par conséquent des recristallisations régulières et plus ou moins parfaites.

C'est pour cela que les terrains quand ils se sont enfoncés pour une cause quelconque, spécialement si ils sont situés au centre des synclinaux les plus affaissés et par conséquent assujettis pour un long temps aux actions très puissantes surindiquées de pression, de température et de circulation soit d'eau surchauffée soit de gaz et vapeurs très chauds, ont pu subir un ensemble complexe d'opérations physico-chimiques de transformations, d'échanges de substances, de réarrangements moléculaires, de multiples réactions et combinaisons chimiques, de nouveaux groupements physico-minéralogiques et par conséquent de recristallisations avec néo-formation de minéraux, premièrement ou supérieurement plutôt hydratés et à volume moléculaire petit, comme Séricite (souvent confondue avec le Talc), Muscovite, Chlorite, Ottrélite, Chloritoïde, Glaucothane, Chiastolite, Talc,

ainsi qu'Albite, Calcite, Quartz, Zoïzite, etc., mais à plus grande profondeur (par la température plus élevée, etc.) plutôt anhydres, à grand volume moléculaire, souvent analogues aux minéraux des roches éruptives, dans l'ensemble avec structure plus grossière, comme Biotite, plusieurs Feldspaths, spécialement potassiques et Plagioclases, plusieurs Pyroxènes, Olivine, Staurotide, Grenats, Épidote, Andalousite, Cordiérite, Magnétite, Sillimanite, etc.

De cette manière a pu se vérifier le phénomène complexe de pseudo-refontes, de transformations et néo-formations minéro-lithologiques, etc. qui prend le nom de *Métamorphisme* en général ou de *Endomorphisme* et plus précisément de *Anamorphisme*; si bien que les sédiments originaires, par la néo-constitution de Mica, Quartz, Chlorite, Talc et autres éléments, purent se transformer en Calcschistes, Argiloschistes, Phyllades, Schistes tachetés (*Schisti macchiati*, *Spotted Slate*, *Fleckschiefer*, *Knotenschiefer*) par concentration des matières colorantes, Schistes maclifères, Micaschistes (spécialement Séricitoschistes), Chloritoschistes, Talc schistes, etc.; c'est-à-dire roches plutôt schisteuses à structure cristalline plus ou moins intense, en premier lieu préférentiellement micromérique (parfois avec l'intercalation de roches basiques souvent glaucophanitiques); de nature variée soit selon la constitution physico-chimique originaire du dépôt, soit selon la zone de profondeur (par conséquent de température, pression, etc.) où s'accomplit le métamorphisme (ainsi que l'indiquèrent déjà Becke, Grubenmann et autres) et par conséquent selon la nature et le degré du processus métamorphique.

Ce Métamorphisme, quand il fut très intense, put arriver jusqu'à la constitution de Feldspaths ou *Feldspathisation* (qui est beaucoup plus lente et difficile de la *Séricitisation*, *Chloritisation*, etc.) ce qui donna naissance aux Gneiss, qui généralement sont très micacés, souvent grenatifères, hornblendiques, épidotiques, etc. jusqu'à devenir plus compacts, plus purs, dirais-je, et prendre une structure toujours plus macrocristalline, spécialement dans les formations qui se sont métamorphosées à une plus grande profondeur. C'est une *Paracristallisation* complète.

Quand ensuite, soit par l'enfoncement extraordinaire des Géosynclinaux et l'augmentation thermique relative, etc., soit par de spéciales conditions physico-chimiques du processus métamorphique, soit par la présence éventuelle de foyers magmiques peu profonds, etc., le processus métamorphique arriva à un tel degré de *Hypomorphisme* ou de *Hydro-thermo-piézomorphisme* que les éléments cristallins des formations en voie de lente métamorphose, au lieu de la structure schisteuse spécialement gneissoïde, prirent (en partie aussi par le fait que la pression au lieu d'être préférentiellement unilatérale comme dans les étages supérieurs, devient plus uniforme statique, à type de la pression hydrostatique en partie selon la *Piézocristallisation* de Weinschenk) la structure granulaire, massive, absolument holocristalline et constituèrent ainsi les formations granitoïdes; de là la fréquence de Gneiss granitoïdes ou Granites gneissiques.

Mais puisque cette si intense phase de *Hypométamorphisme*, c'est-à-dire de *Granitisation*, devait s'accomplir dans des conditions toutes spéciales, dynamiques, thermiques, hydrothermiques, etc. de degré supérieur à celles sous lesquelles se constituèrent les Schistes cristallins et les Gneiss, par là même non seulement les éléments cristallins de ces formations, que nous disons granitoïdes, n'eurent plus à se disposer avec un arrangement en série, mais ils purent rester pour un temps plus ou moins long (c'est-à-dire tant que durèrent les conditions spéciales surindiquées) à un état de semi-mobilité, dans l'ensemble pseudo-pâteux, tandis que la cristallisation s'accomplissait toujours plus régulière et uniforme (parfois avec tendance à constituer des unités cristallines plus grandes), prédominant l'activité moléculaire et par conséquent cristalline, presque indépendamment de la pression extérieure qui avait eu une influence si grande sur la formation des Schistes cristallins jusqu'aux Gneiss.

Ainsi de l'Anamorphisme on passe à un degré de Métamorphisme plus avancé, vraiment profond ou endogène ou plutonique, qu'on peut indiquer comme *Plutomorphisme*, par lequel peut se constituer une association ou un groupement moléculaire plus libre, tant dans l'équilibre que dans l'arrangement des éléments cristallins (*roches plutoniques*). Tout cela naturellement avec l'accompagnement de plusieurs phénomènes pneumatolytiques, soit à type fumerollique, soit avec la montée de fluides, etc., et par conséquent avec des multiples actions minéralisatrices, transformatrices, dissolvantes, déposantes, comme dans les filons minéraux, etc.

Le processus plutomorphique peut en outre, soit en se développant à une profondeur supérieure à celle de la zone de granitisation, soit pour des causes spéciales qui accroissent beaucoup la température, etc., arriver à une telle intensité de *Paramagmatisme* que, comme phase dernière ou terminale de l'Hypométamorphisme (que j'appellerais *Pyromorphisme*) les formations granitoïdes subissent une sorte de demi-fusion et passent à l'état de vrais *magmas* abyssaux, différents par état physique et nature chimique selon leur origine et les différentes conditions de leur formation; magmas qui peuvent aussi devenir protrusifs, intrusifs ou éruptifs, car il ne leur manque que l'occasion favorable (comme déchirures profondes, cassures, etc. qui accompagnent souvent les phénomènes orogénétiques) pour venir au jour à constituer de différentes façons, comme venues éruptives, les roches dites *protrusives, intrusives hypoabyssales, porphyriques, volcaniques*, etc., naturellement avec tous les phénomènes qui y sont connexes et annexes du véritable *Magmatisme*.

C'est alors le Cycle complet du Métamorphisme des roches.

Mais même sans arriver à ce dernier stade de vrais magmas volcaniques et en nous arrêtant à la phase de granitisation, dirais-je, et à la relative mise en place des roches granitiques, on comprend que, lorsque se vérifièrent des intenses plissements orogénétiques et les relatives cassures (comme par exemple spécialement à la fin de l'Ere paléozoïque), les formations granitoïdes, par suite des énormes pressions auxquelles elles étaient assujetties et de l'état demi-pâteux, demi-magmatique, où elles se trouvaient, bien qu'ayant seulement la température de quelques centaines de degrés, durent tendre à s'insinuer entre les Schistes profonds en voie de métamorphisme, mais spécialement à monter dans les anticlinaux ou voussures produites par les plissements et à pénétrer dans les fractures des Schistes cristallins déjà formés, etc., avec l'accompagnement d'agents (eaux thermales, vapeurs, gaz pseudo-fumerolliques) plus ou moins minéralisateurs; elles formèrent par conséquent des protrusions multiples ou montées à culots, dômes, batolites et autres (s'étant ensuite consolidées lentement sous pression et ayant été mises souvent plus tard à découvert par des érosions puissantes) avec l'auréole habituelle de ségrégations, apophyses, injections ou intrusions microgranitiques, granulitiques, aplitiques, porphyriques, etc., en même temps que de phénomènes variés de résorptions, digestions, assimilations, transformations, concentrations, ségrégations acides ou basiques, phénomènes de contact et souvent aussi le cortège connexe de dépôts (filoniens ou imprégnants, etc.) de minéraux, spécialement sulfures ou oxydes métalliques, comme pyrite, chalcopyrite, magnétite, hématite, etc., ainsi qu'on observe çà et là, par exemple dans les régions de Brosso et Traversella en Piémont.

On peut ainsi distinguer dans les formations rocheuses deux sortes de Granite, l'un de *métamorphisme (granitisation) in situ*, l'autre de *protrusion magmatique* avec un plutonisme atténué, avec phénomènes de digestion ou assimilation, de métamorphisme de contact (généralement peu accentués et peu étendus, en rapport avec la température non excessive de la pâte granitoïde), avec enclaves, souvent peu altérées, des roches voisines, souvent avec un faible dérangement des Schistes, cristallins traversés par les intrusions, ou protrusions granitiques et avec des modalités très variées inhérentes aux multiples conditions physiques et chimiques au milieu desquelles le phénomène s'est accompli.

Par conséquent les roches granitiques, au lieu d'être la cause du métamorphisme des roches cristallines des Alpes, ainsi que plusieurs le croient, sont elles-mêmes généralement le produit d'un stade ou d'une forme très accentuée du Métamorphisme général de profondeur. Il en résulte aussi que les phénomènes magmatiques et les phénomènes tectoniques sont souvent reliés entre eux dans le cycle des Géosynclinaux se transformant en Géoanticlinaux.

Le processus évolutif que j'ai brièvement esquissé pour expliquer la formation des roches métamorphiques se présente spécialement clair pour les roches acides et quelques-unes des basiques; mais pour une partie des roches basiques le mode de formation est encore quelque peu obscur.

En effet ces roches basiques, qui comparaissent si étendues et fréquentes dans les Alpes et dans l'Appennin, si bien qu'elles y constituent plusieurs vraies zones de *Pierres vertes*, *Grünschiefer*, etc., du Paléozoïque jusqu'au Cénozoïque, sont généralement indiquées comme roches éruptives; mais en réalité (ainsi que j'ai pu le constater pour plusieurs centaines de formations ophiolitiques relevées dans les Alpes et dans l'Appennin) le géologue ne peut généralement pas y constater des vrais phénomènes de contact d'origine intrusive, ni cheminées volcaniques, ni vrais filons de protrusion et il y peut au contraire parfois observer soit des phénomènes de passage entre les roches vertes et les roches environnantes, stéatiteuses, magnésiennes, chloriteuses ou autres, à faciès sédimentaire, soit la connexion de quelques *Pierres vertes* avec des roches évidemment fossilifères (ainsi que le sont les Radiolarites), soit des vraies interstratifications. Cela fait qu'on doit arriver à la conclusion que la plus grande partie de ces formations basiques, considérées comme volcaniques, sont intercalées dans les formations sédimentaires et par conséquent elles sont leurs contemporaines et non pas intrusives postérieurement au dépôt des terrains où elles sont comprises ainsi que quelques auteurs le croient. Il résulte en outre souvent bien évident que les roches basiques ont été absolument passives en égard aux sédiments plus ou moins métamorphiques où elles sont intercalées, qu'elles furent même métamorphosées outre que laminées, etc.

Ces phénomènes pourraient s'expliquer en partie en ayant recours à l'hypothèse que les cheminées de protrusion de ces roches sont cachées par les masses qui sont parfois vraiment énormes (comme p. ex. dans les Groupes des Vallées de Lanzo, du Mont Viso, de Voltri, etc.) et même en acceptant l'idée d'une disposition laccolithique ou de coulée, ou interprétant ces formations spéciales en partie comme tufs volcaniques, c'est-à-dire comme des dépôts pyroclastiques basiques plus ou moins métamorphosés. Les *Tavejannazsandstein* de l'Eocène supérieur pourraient nous en donner une modalité relativement récente et qui par conséquent n'a pas encore touché un stade avancé de métamorphisme.

Mais néanmoins il reste toujours l'impression qu'une partie des *Pierres dites vertes* représentent le produit non pas des véritables protrusions éruptives, mais de dépôts spéciaux ou plutôt d'un métamorphisme particulier s'étant vérifié sur des formations spéciales (ordinairement fines et de haut fond ainsi que l'indiquent parfois les Radiolarites) déposées dans des zones de géosynclinaux accentués, si bien que les anciennes théories, crénétique de Sterry-Hunt, hydrothermale de Magnan, etc., pourraient avoir quelque chose de vrai.

A ce propos nous pouvons rappeler que les Serpentes, outre que de la transformation (dite justement *serpentinisation*) de Lherzolites et d'autres *Pierres vertes*, peuvent dériver de métamorphoses chimiques spéciales de roches sédimentaires, par exemple de Marnes magnésifères, de Calcaires dolomitiques, etc., ainsi que le remarquait déjà Szabò il y a trente ans pour des Serpentes du Banat.

Bien mieux en certains cas, ainsi que l'indiqua Novarese à propos de « *La Serpentina di Traversella, 1912* » est évidente la métamorphose de calcaires en silicates, la génération de Serpentine en substitution de Calcaires inclus dans les Micaschistes; peut-être par l'action de vapeurs ou d'eaux thermales, chargées de silice, sur la magnésie du calcaire, par un processus pneumatolithique ou pneumato-hydatogénique en des conditions de haute température, etc.

Quelques expériences faites dans mon Laboratoire de Géologie à l'École Polytechnique de Turin m'ont montré récemment qu'en échauffant pendant un à deux mois, en présence d'eau, à une température comprise entre 150° et 250° et sous une pression que toucha un maximum de 200 atmosphères, un mélange de carbonate de magnésie (soit artificiel soit dolomitique), silicate de soude, argile et tourbe, on peut obtenir un silicate de magnésie, tandis qu'en même temps du pétrole se forme aux dépens de la tourbe.

Du reste quelques auteurs ont déjà observé que plusieurs minéraux et roches silicato-magnésifères prennent naissance de calcaires dolomitiques métamorphosés.

Souvent de même le Talc ou des masses stéatiteuses ou talcoïdes accompagnent les roches serpentineuses de façon à montrer une origine analogue et dérivent parfois de la métamorphose de calcaires plus ou moins magnésiens. Ainsi par exemple dans les lentilles de Talc si étendues dans la vallée de la Germanasca (Pignerolais), où elles alimentent plusieurs carrières, on trouve parfois encore des rognons de calcaires dolomitiques, presque résidus de la roche calcaire originaire.

Le fait de la liaison intime qu'on observe parfois entre les formations serpentineuses, diabasiques, etc. et certaines zones jaspoides à Radiolaires (par exemple près de Césane dans le Piémont) ou certaines zones graphitiques (p. ex. près de Lanzo), nous ferait supposer une certaine sédimentarité dans l'origine de ces *Pierres vertes*.

Quant aux roches amphiboliques elles sont chimiquement analogues non seulement aux magmas basiques, dioritiques ou gabbroïdes, mais aussi aux marnes argileuses-dolomitiques, si bien qu'on peut en admettre de même l'origine sédimentaire; ainsi que l'indiqua p. ex. Grubenmann dans son importante ouvrage sur « *Die Kristallinen Schiefer, 1906* » et ainsi que de même le signala Termier pour certaines Amphibolites chloritisées, certaines Pyroxénites ou Amphibolites zonées, etc.

Du reste les Micaschistes amphiboliques, qui passent souvent aux Amphibolites, sont par nombre d'auteurs considérés comme sédiments métamorphiques, originairement plus ou moins calcaires, ce que de même on peut admettre pour quelques Gneiss amphiboliques, dioritiques, etc.

Souvent on observe des Amphibolites, des Prasinites, comme aussi des Serpentes, du Talc et autres roches basiques près des contacts et en rapports très étroits avec les Calcschistes ou les Dolomites, nous y montrant une certaine connexion, qui apparaît très nettement pour les Ophicalces.

Par conséquent pour de nombreux Schistes variés amphiboliques, pyroxéniques, chloritiques, etc., la dérivation du métamorphisme de dépôts calcaires-magnésiens est absolument admissible et admise par beaucoup de géologues.

Même plus largement Clarke dans son ouvrage important « *The Data of Chemistry, 1911* » admet que parfois de terrains calcaires ou calcaires-magnésiens, s'étant variablement combinés avec des silicates magnésiens, ou d'une autre manière, puissent prendre naissance l'Olivine, l'Hyperstène, le Diallage, la Glaucothane, les Pyroxènes, les Amphiboles et par conséquent, par hydratation, aussi la Serpentine, le Talc, la Chlorite, etc., et il n'exclut pas la possibilité qu'en certaines conditions puissent se vérifier des sédimentations ou précipitations silicato-magnésiennes, ou bien que des actions spéciales d'eaux magnésiennes sur certaines roches puissent donner naissance à la Serpentine, au Talc, etc.

Ni du reste il est difficile à comprendre que les eaux circulantes à haute température puissent mettre en liberté la silice et que par conséquent ces eaux différemment silicatisées (p. ex. silicates alcalins qui sont les plus solubles), avec ou sans l'aide d'agents minéralisateurs, puissent donner naissance, par des réactions chimiques spéciales, à des silicates variés calcaires-magnésiens et plus ou moins aluminifères, ferrifères, etc. jusqu'à se rapprocher de la constitution de quelques *Pierres vertes*. Tout cela sans vouloir recourir à des phénomènes de vraie fusion, tout en considérant que les roches basiques par la présence de fondants spéciaux, comme le sont les silicates de fer, sont en général plus facilement fusibles que les roches acides.

Il ne faut pas oublier non plus qu'à la profondeur de quelques dizaines de kilomètres, où on peut vérifier des températures de 1500-2000°, doivent exister aussi des pressions énormes (c'est-à-dire de plusieurs milliers d'atmosphères), telles par conséquent qu'elles peuvent empêcher une vraie fusion des matériaux, qui doivent pourtant rester à un état, dirais-je, de puissance de fusion, transformable en forme active, ou au moins magmatique, dès que la pression réussit à diminuer à la suite de quelque phénomène de fracture, de plissement, etc.

Mais pour expliquer l'origine des roches basiques et acides il n'est nullement nécessaire de recourir à de très-hautes températures, puisque p. ex. dans les Mollièresites la masse qui cimente les galets a pu se gneissifier sans que ces galets englobés (différents par forme et nature) aient subi des actions calorifiques telles d'en altérer la constitution originare.

Pour le sujet en examen un intérêt particulier présentent les observations récemment exposées par Longchambbron dans ses « *Contrib. et Métam. terr. séc. Pyrénées, 1912* », d'où il résulte que dans les marnes liasiques, calcaires et même dolomitiques, peuvent prendre naissance, par métamorphisme, plusieurs roches silicatées, c'est-à-dire non seulement plusieurs types de Cornéennes et de Schistes micacés passant parfois aux vrais Micaschistes, mais aussi des roches amphiboliques et même parfois à type dioritique.

Il note en plus qu'au niveau des Calcaires dévoniens il y a avec les Granites des roches basiques, s'y vérifiant parfois des intéressants passages du centre des Massifs granitiques à la périphérie; c'est-à-dire de Granites typiques à des Granites hornblendiques ou à des roches granitico-dioritiques et de celles-ci à des Diorites quartzifères, ensuite à des Diorites basiques ou à des Gneiss amphibolico-pyroxéniques par endroits chloritisés, puis à des Horneblendites, à des Norites oliviniques et enfin à des Péridotites hornblendiques ou bien à des Lherzolites et Amphibolites ou à des Diabases amphiboliques. Transitions lithologiques qui correspondent à une graduelle diminution de la silice (de 72 % à 45 %), des alcalis (de 3 % à 1 %), tandis que s'élève le pourcentage de la chaux (du 2 au 8 %) et de la Magnésie (de 1 au 25 %), peut-être par une sorte d'absorption ou assimilation des matériaux calcaires et magnésiens de la roche sédimentaire. Par conséquent certains faciès cristallins, granitiques, granitico-dioritiques, dioritiques, péridotiques, etc. pourraient être des faciès métamorphiques hétéropiques de faciès sédimentaires correspondants.

Longchambbron note en outre qu'ainsi que le Talc se montre parfois comme une transformation de calcaires dolomitiques du Paléozoïque (ainsi que je l'ai aussi observé sur plusieurs points des Alpes Occidentales) on voit parfois les Lherzolites et les Péridotites en général constituer des faciès métamorphiques, c'est-à-dire de transformation, de Calcaires dolomitiques du Mésozoïque.

Enfin le même auteur observe justement que, par la décomposition ou désassociation relativement facile du carbonate de magnésie sous de hautes températures, en certaines régions des Pyrénées purent se constituer quelques silicates de magnésie (p. ex. Lherzolites), qui sont en effet souvent connexes ou alternés avec des silicates de magnésie et chaux, c'est-à-dire avec des roches basico-calciques, comme Gabbros amphiboliques, Horneblendites, Pyroxénites, Diorites, etc.

C'est ce qu'on voit aussi dans la Cordillère où le Paléozoïque est en grande partie gneissifié ou transformé en schistes micacés, andalousitiques, etc. et les Dolomies sont en partie entourées par d'énormes masses de Norites, Lherzolites, Serpentes, etc.; bien qu'en ces cas, comme dans les Pyrénées, dans les Alpes, dans l'Appennin, etc., n'apparaissent pas de cheminées d'ascension de magmas basiques, quoiqu'y existent des érosions très profondes qui auraient dû mettre à découvert ces cheminées s'il s'agissait de vraies intrusions magmatiques à type éruptif.

En cet état de choses, puisqu'on admet généralement que les formations amphiboliques, pyroxéniques, épidotiques, glaucophanitiques, chloritiques, etc. peuvent dériver aussi du métamorphisme de Gabbros, Diabases, Diorites, etc. et puisque avec la théorie des Géosynclinaux on comprend que peuvent parfois se vérifier, pendant de longues périodes, des conditions telles de pression, de température, de circulation hydro-thermale, etc. avec agents minéralisateurs spéciaux, qu'elles permettent l'accomplissement de métamorphoses intenses, au point de transformer peu à peu certains dépôts sédimentaires en Schistes cristallins, Gneiss, etc., jusqu'à arriver parfois à la structure granitoïde; ainsi il ne paraît pas impossible que de dépôts dolomitiques plus ou moins argileux ou de dépôts argileux-sableux mélangés à des carbonates de magnésie et de fer ou de dépôts analogues et semblables puissent, par un métamorphisme intense, s'être constitués non seulement des Schistes cristallins amphiboliques, prasinitiques, péridotiques, chloritiques, talqueux, serpentineux, etc. mais, en des cas spéciaux, aussi des formations basiques à type granulaire comme Diorites, Péridotites, Granites amphiboliques, etc. sans devoir les interpréter toujours comme à type éruptif.

De cette manière parfois certaines roches basiques, à structure granulaire ou granitoïde, pourraient être interprétées comme à type profondément métamorphique, d'une façon un peu analogue à ce qu'on a indiqué pour les roches granitiques acides dont on a admis deux formes, une de métamorphisme (*granitisation*) *in situ* et l'autre de *protrusion*, reliées néanmoins souvent entre elles au point de vue génétique.

En conclusion, pour ce qui est des formations métamorphiques des Alpes Occidentales on peut donc dire: premièrement qu'elles n'ont pas une position chronologique bien fixe mais un peu variable selon les circonstances; en outre qu'elles ont essentiellement pris naissance à la suite d'un métamorphisme général ou régional plus ou moins prolongé, hydro-thermo-dynamique, parfois même pneumatolithique, s'étant vérifié à des profondeurs plus ou moins grandes en connexion avec le phénomène des Géosynclinaux; phénomène qui s'est accentué plusieurs fois, y prenant naissance plusieurs séries, un peu compréhensives au point de vue chronologique, plus ou moins métamorphiques, comme: celle en prévalence gneissique du Paléozoïque inférieur-moyen, celle particulièrement micaphyllitique du Paléozoïque moyen-supérieur, celle spécialement calcschisteuse des Schistes lustrés avec Pierres vertes du Mésozoïque inférieur-moyen et celle essentiellement argileuse (et moins métamorphique) du Flysch ophitifère du Crétacé-Eocène.

Cela explique: comment le Métamorphisme des terrains des Alpes soit parfois un peu localisé et parfois intermittent dans la série stratigraphique; comment existent des passages latéraux entre les formations métamorphiques et d'autres peu métamorphosées; comment enfin ce processus anamorphique ou hypométamorphique poussé à l'extrême ait pu produire, dans les profondeurs plus grandes et en des conditions spéciales, non seulement la gneissification ou paracristallisation, mais aussi (par Plutomorphisme) la granitisation, *in situ* ou presque, des formations, et parfois même leur paramagmatisation, c'est à dire la constitution de masses granitoïdes à l'état pâteux (par la haute température); masses qui en certaines circonstances, spécialement de plis-

sements orogénétiques intenses et fractures relatives, à cause des énormes pressions auxquelles elles étaient assujéties, ont pu monter variablement vers le haut sous forme de dômes granitoïdes, souvent avec le cortège naturel d'auréoles granulitiques, plus ou moins filoniennes, d'agents minéralisateurs variés, etc., présentant même parfois en certains cas plusieurs phénomènes de métamorphisme de contact, qui doit du reste graduellement s'étendre en profondeur et se confondre avec le Métamorphisme général, leurs causes étant analogues ou au moins de nature analogue.

D'une façon semblable, pour ce qui est des Pierres vertes en général, sans vouloir les expliquer comme dues toujours à de vraies intrusions de roches basiques et bien moins les invoquer comme une cause du métamorphisme, elles semblent être parfois des formations concomitantes du Métamorphisme général s'étant développé dans les Géosynclinaux profonds.

C'est-à-dire qu'en ces régions de Géosynclinal les dépôts argileux-calcaires ou dolomitiques, ou autrement calcaires-magnésiens, purent subir le métamorphisme de cristallisation en conséquence duquel les Calcaires devinrent des Marbres, les Argiles variées se changèrent en Schistes à Séricite, Calcschistes, Micascistes en général, Schistes maclifères, etc.

Mais si le Géosynclinal s'abaissa au point de faire augmenter d'une manière extraordinaire les conditions de haute température, de fortes pressions, d'eau surchauffée, comme aussi d'arrivée plus facile de fluides et gaz minéralisateurs (émanations peut-être de magmas profonds, sous forme par exemple fumerollique, pneumatolithique ou autre), alors (les formations descendant graduellement vers les régions plus profondes, que nous pouvons indiquer comme zones de granitisation), tandis que les sédiments sableux-argileux se transformaient non seulement en Schistes cristallins plus ou moins micacés mais même en Gneiss et jusqu'en roches granitiques avec les auréoles habituelles et les formations variées de passage, les sédiments un peu riches en carbonates alcalino-terreux (qui sont assez facilement solubles et produisent facilement des réactions) devaient présenter la décomposition du carbonate de magnésie et de chaux, donnant des bases alcalino-terreuses qui, en s'unissant à la silice, constituèrent des silicates basiques; ou bien la silice mise en liberté par l'action des eaux surchauffées put attaquer les calcaires, les dolomies ou les argiles magnésifères, formant des silicates calciques et magnésiens; ou bien en de spéciales conditions purent se former des dépôts silicato-magnésifères, ou se vérifier plusieurs autres réactions et combinaisons chimiques qu'il est inutile d'examiner ici.

Par conséquent les roches basico-calciques et les Pierres vertes en général pourraient représenter parfois le terme final d'un Hypomorphisme ou Endomorphisme complexe (Plutomorphisme qui peut porter jusqu'au Paramagmatisme) de sédiments partiellement calcaires-dolomitiques arrivés à une zone si profonde de Géosynclinaux que s'y vérifia la silicatisation de la magnésie et les multiples autres transformations chimico-minéralogiques reliées aussi aux phénomènes concomitants fumerolliques, pneumatolithiques (plus ou moins minéralisateurs) ou autres, auxquels on pourrait attribuer par exemple la richesse en alcalis, qui sont dans l'ensemble généralement étrangers à la composition normale des sédiments originaires.

Tout cela naturellement n'empêcherait pas que, de même que les pâtes acides ou granitiques (l. s.) s'étant formées en des conditions analogues dans les zones profondes de granitisation purent parfois pointer variablement, spécialement en des régions d'anticlinaux et de fractures pendant les phases des mouvements orogénétiques plus intenses, de même certaines pâtes basiques des Pierres vertes (l. s.), même si produites par les phénomènes de Métamorphisme général profond ou Plutomorphisme (qui, on le comprend, pourrait aller jusqu'au Pyromorphisme) indiqué plus haut, aient pu, en des conditions et périodes analogues, pointer jusqu'à prendre les caractères de roches endogènes se manifestant aussi sous formes intrusives ou éruptives, avec des phénomènes de contact, etc.

Le fait que dans la partie inférieure de la puissante série cristalline, métamorphique, les Pierres vertes viennent à être rares tandis qu'y prédominent les roches gneissico-granitiques (ainsi que justement on le voit dans la zone dite des Gneiss fondamentaux des Alpes) pourrait s'expliquer en considérant que, dans l'abaissement lent et graduel des formations sédimentaires dans les Géosynclinaux, une partie notable des carbonates de chaux et magnésie sont dissous, enlevés par les eaux thermales et reportés en partie vers le haut, où ils peuvent subir quelque'un des processus métamorphiques indiqués.

En résumé nous aurions dans les roches cristallines, acides et basiques, des Alpes, essentiellement les produits d'un Métamorphisme de profondeur ou Hypométamorphisme ou Endomorphisme, qui selon les différentes zones de profondeur ou abyssales ou niveaux géothermiques rejoints, par différentes étapes (Anamorphisme en général, Plutomorphisme, qui peut arriver parfois même au Pyromorphisme) a pu donner naissance à la Paracristallisation, au Paramagmatisme (même en certains cas au véritable Magmatisme) de terrains en grande partie sédimentaires d'anciens Géosynclinaux, s'étant souvent changés par la suite en Géoa anticlinaux variés.

Néanmoins il faut noter que la théorie du Métamorphisme par Géosynclinal présente encore des objections; du fait par exemple qu'on trouve parfois des terrains peu métamorphosés au dessous de formations très métamorphiques, et aussi des terrains non métamorphosés qui ont été cependant profondément enfouis pendant longtemps.

---

---

---

## TECTONIQUE

---

Après avoir exposé dans les chapitres précédents la constitution des Alpes Occidentales et le Métamorphisme qui y a laissé une empreinte si profonde, il nous reste, pour en compléter l'examen géologique, à donner un aperçu sur leur Tectonique, sans néanmoins descendre à des détails, qui demanderaient à eux seuls un grand volume.

Les premiers géologues qui s'occupèrent des Alpes étaient en général imbus de l'ancienne idée, qu'on pourrait dire plutonistique, de Hutton, etc. que les montagnes fussent dues à des *poussées de bas en haut par l'action de forces endogènes*, c'est-à-dire dues à la montée en masse de roches endogènes et à l'expansion de vapeurs et magmas volcaniques. Le principal interprète de cette école fut L. von Buch qui l'appliqua à l'origine de la Chaîne alpine.

Il faut rappeler ici que dès 1798 De Luc dans ses "*Lettres sur l'Hist. phys. de la Terre*", parlant des chaînes montueuses décrites par De Saussure, esquissa une théorie de la formation des montagnes par *rupture des couches et affaissements latéraux des masses*; théorie non bien expliquée mais qui rappelle par quelques côtés les anciennes idées de Sténon (*De solido intra solidum*..... 1669), de Leibnitz (*La Protogée*, 1740), de Whiston, etc. comme les récentes de Suess.

Thurmann aussi adopta premièrement (vers 1832) la théorie volcanique du soulèvement des montagnes, idée popularisée par Gressly, qui reliait le terrain sidérolithique aux phénomènes geysériens et voyait des cratères d'épanchement dans les combes lias-keupériennes.

Il est néanmoins très intéressant d'observer que, dès 1796, De Saussure dans ses fameux « *Voyages dans les Alpes*, vol. III, p. 455 » indique précisément les *refoulements que je regarde comme la cause générale du redressement des couches originellement horizontales*. Cette idée est d'autant plus importante car émise par le savant qui fut le premier à donner un compte un peu exact de la structure des Alpes après les avoir parcourues et étudiées pendant nombre d'années.

Il est opportun de rappeler ici la coupe de la Chaîne du Mont Blanc au Jura donnée en 1806 par Gimbernat pour la relative exactitude de l'interprétation géo-tectonique (à plis subparallèles répétés) de cette région.

Néanmoins les idées développées par V. Buch sur l'origine des Alpes durèrent longtemps parmi les Géologues, si bien que Studer même en fut influencé, car il indiqua les masses granitiques des Alpes comme Massifs centraux ou centres d'élévation. E. de Beaumont aussi, à qui on doit des anciens ouvrages de géo-tectonique alpine, fit en partie adhésion à la doctrine volcanique; pourtant dans sa « *Notice sur les Systèmes de montagnes* », bien que son esprit fut déjà dévié par la fameuse théorie du réseau pentagonal et par la systématisation géométrique de l'écorce terrestre, il parla de compression transversale causée par la concentration de la masse terrestre pendant son refroidissement.

Mais c'est spécialement B. Studer qui, suivant les idées ébauchées par Buffon dans ses « *Tableaux de la Nature* » et mieux concrétées par Prévost, développa pour les Alpes suisses la théorie de la *contraction de la croûte terrestre*, par refroidissement du globe, comme cause de plissement des sédiments selon des lignes de moindre résistance.

Cette idée fut embrassée ensuite aussi par Thurmann qui, ayant abandonné la théorie volcanique des soulèvements montueux, dès 1853 développa l'idée des forces latérales comme donnant naissance aux montagnes, s'appuyant spécialement sur la tectonique régulière du Jura, qu'il étudiait alors avec Mérian au point de vue géologique. Nous ne devons pas oublier non plus ici que l'idée de l'éventail alpin par plis a été déjà bien exprimée et signalée par H. D. Rogers dès 1858, bien qu'avec l'idée erronée d'un axe de soulèvement igné central.

En attendant, suivant l'exemple donné en 1813 par J. Hall qui produisait des plissements avec une poussée horizontale, on entreprenait aussi des expériences variées de laboratoire pour mieux comprendre et expliquer les déformations que peuvent subir les couches en se plissant sous l'action des poussées tangentielles. Rappelons par exemples les recherches expérimentelles de Tresca, Daubrée, A. Favre, Bailey Willis, Reyer, Paulcke, De Girard, etc.

C'est à Favre aussi que nous devons de longues et importantes études sur la Géologie et sur la tectonique des Alpes, ainsi que le développement des idées sur les pressions latérales (horizontales ou tangentielles) comme transformations de mouvements centripètes (pressions verticales ou radiales) et cause des forts soulèvements des terrains alpins, suivant les idées développées en main de maître par J. Dana vers la moitié du XIX<sup>e</sup> siècle.

Ch. Lory au contraire dans ses importantes études sur les Alpes françaises, tout en reconnaissant l'erronéité de la théorie eruptive pour le soulèvement des montagnes, crut pouvoir donner une très grande importance aux failles subverticales; c'est même en se basant sur cela qu'il commença à distinguer, à partir de 1866, quatre zones géologiques alpines, en outre des chaînes subalpines.

Du reste si l'idée des failles a été et est encore un peu exagérée par quelques géologues, il n'en est pas moins vrai que ces phénomènes se vérifient souvent, en grande et en petite échelle, accompagnés non rarement (dans les failles obliques en particulier) par des décrochements horizontaux, des chevauchements, etc. ainsi que le reconnurent peu à peu p. ex. Mulhberg dans le Jura et Rothpletz dans les Alpes.

Il est en tout cas regrettable que dès le début et par la suite jusqu'aujourd'hui se soient développées deux écoles géologiques presque antagonistes, une soutenant essentiellement la théorie des plis, l'autre celle de fractures, si bien que l'interprétation de la tectonique résulte souvent bien différente selon l'école ou la tendance suivie par le géologue.

Le fait est qu'il y a des régions (constituées spécialement par des grands bancs rigides) où prédominent les fractures et d'autres (spécialement si avec des fréquentes interstratifications schisteuses-argileuses) où prédominent les plis; mais, comme j'ai dit, chaque auteur, selon la constitution tectonique de la région qu'il a étudié à fond premièrement ou bien selon son école d'origine, a la tendance à interpréter la tectonique dans un sens plutôt que dans l'autre.

Pour les Alpes c'est généralement la structure à plis très variés (de divers ordres, formes et âge, simples, conjugués, à faisceaux, à éventail, etc.) qui domine, compliquée souvent par de forts déversements et étirements et par conséquent par de nombreuses fractures en petite et grande échelle, avec les connexes et conséquents glissements, sauts, déplacements, chevauchements, dispositions à écailles imbriquées, recouvrements, torsions et champs de fractures, etc. ainsi que p. ex. l'a étudié et signalé avec un si grand soin Guebhard dans une région relativement étroite du Niçois.

Ces phénomènes géo-tectoniques furent naturellement beaucoup compliqués par le fait qu'ils se sont souvent superposés et entrecroisés dans des périodes successives de poussées orogénétiques, agissant parfois variablement et même en direction plus ou moins différente dans la même région, en outre d'être souvent rendus méconnaissables par les érosions, les glissements, etc.

Cependant grâce à l'œuvre d'un groupe toujours plus grand de géologues de toutes nations les Alpes étaient examinées non seulement dans leur constitution géologique, mais aussi dans leur tectonique, qui se révélait bien différente et plus compliquée de ce qu'on le croyait auparavant; des principes nouveaux se découvraient sur l'architecture intime de la chaîne alpine, sur les plis, sur les failles, etc.

Ces principes furent ensuite développés d'une façon admirable par Suess dans son ouvrage « *Die Entstehung der Alpen*, 1875 » qui mit en pleine lumière l'unilatéralité de la chaîne alpine et fut le prélude merveilleux de l'œuvre grandiose « *Das Antlitz de Erde* » dont le premier volume fut édité peu après, c'est-à-dire en 1883.

Dans cette période de temps Heim publiait son ouvrage puissant « *Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung*, 1878 » qui jeta tant de lumière sur la tectonique alpine, développant aussi les théories du Dinamométamorphisme et de la plasticité latente dans les roches, démontrant ainsi que se vérifie en grand dans la Nature ce qu'avaient montré les expériences de Tresca sur l'adaptabilité des corps solides sujets à des fortes pressions.

Fixée ainsi la ligne générale de la tectonique alpine par de nombreux plissements (et fréquentes failles relatives) causés par des poussées tangentielles, l'ouvrage de détail prit à se développer rapidement; c'est un ouvrage qui dure encore et qui a révélé une quantité de complications de tous genres, parmi lesquelles des déversements grandioses et des chevauchements successifs immensément plus développés de ce qu'on supposait premièrement.

Bien plus ces déplacements extraordinaires s'étant parfois répétés dans plusieurs périodes orogénétiques et compliqués par des failles, érosions et conséquemment par des décrochements d'anticlinaux couchés des respectives régions ou racines d'origine, etc., l'étude et l'interprétation de ces régions aussi tourmentées est devenue très difficile, parfois incertaine et arbitraire. Enfin prit naissance une nouvelle théorie dite des *Charriages* ou des *Nappes de recouvrement*, encore aujourd'hui débattue et dont je donnerai un simple aperçu.

A vrai dire dès 1834 en « *Geol. d. Westl. Schw. Alpen* » Studer avait noté la différence géologique entre certaines régions préalpines et les régions environnantes et en 1853, s'occupant de « *Die Geol. d. Schweiz* », il chercha à expliquer le phénomène (amplifié plus tard et indiqué comme *Problème des Préalpes* en général ou des *Préalpes romandes* selon Renevier) en recourant à l'hypothèse de la préexistence d'une ancienne chaîne marginale disparue au dessous des formations miocéniques du Plateau suisse, chaîne hypothétique, qui reçut ensuite par Gumbel le nom de *Chaîne vindelicienne* (*Vindelisches Gebirge*). Hypothèse acceptée ensuite aussi par Rutimeyer en 1850, par J. Bachmann, qui (dans son ouvrage « *Ueber Petrefaktenführende Jurablöcke...* 1863 ») introduisit le nom de *blocs exotiques* pour indiquer non seulement les roches cristallines ou autres englobées dans le Flysch, mais aussi des masses de terrains sédimentaires à position étrange; plus tard par Schardt en 1891, par Steinemann et Quereau en 1893, par Gumbel en 1894, par Rothpletz en 1898, par Rollier en 1907, etc.

En attendant A. Favre dans ses importantes « *Recherches géol. dans les parties de la Savoie, etc* 1867 », découvrant les singulières montagnes tria-liasiques des Annes et de Sullens superposées aux formations éocéniques du Bassin du Reposoir, etc., interprétait ces contacts étranges comme le produit de failles spéciales.

En 1876 J. Kaufmann de Lucerne découvrait dans la région près du Lac des Quatre Cantons « *Fünf neue Jurassier* » c'est-à-dire des grandes roches jurassiques situées dans une position étrange parmi des terrains plus jeunes, constituant ainsi des *Klippen* de roches dures parmi celles plus tendres (souvent crétacées ou éocéniques), desquelles non rarement elles se distinguent aussi au point de vue orographique par leurs formes escarpées, âpres, anguleuses, irrégulières.

Les étranges *Klippen* ou *Ecueils* ou *Monts exotiques*, *Môles* ou *Lambeaux*, selon les auteurs, furent au début souvent interprétés comme rochers isolés perçant leur *substratum*, justement comme les écueils émergent des eaux de la mer, ou parceque déjà ils émergèrent comme des îlots rocheux (mésozoïques) dans les mers où se déposaient autour d'eux les dépôts plus récents (*Flysch* éocénique), ou bien par la constitution de *Horst* de terrains anciens soulevés parmi les terrains plus jeunes.

Certains auteurs ont attribués à des forces volcaniques l'origine des blocs exotiques et des *klippen*. D'autres les crurent des formations affleurant par un jeu compliqué de failles ou bien par des anticlinaux spéciaux très étroits (si bien que les terrains anciens traverseraient, à boutonnière, les terrains plus jeunes environnants), ou bien par des plis en éventail composé ou imbriqué à déversement périphérique, dont le socle enfoncé dans le *Flysch* simulerait la tige d'un champignon, d'où le nom de *plis en champignon* adopté par Lugeon, Haug, etc. Et ne manquèrent pas non plus les explications fantaisistes comme la récente de F. Winteler en « *Neue u. alte Gedanken ü die Weltordnung*, 1905 » qui croit que les *Klippen* sont tombés d'une Lune par son démantèlement ou sa décortication!

L'étude détaillée de ces étranges formations isolées fit toujours mieux connaître qu'il s'agit souvent de terrains plus ou moins anciens, en grande partie mésozoïques, posés, presque flottants, comme des gigantesques masses erratiques, exotiques, sur des dépôts plus jeunes, ordinairement sur le *Flysch* éocénique, sans présenter de vraies racines dans leurs parties inférieures.

Cependant dès 1869 Gerlach avait découvert le renversement de l'anticlinal gneissique d'Antigorio y admettant un chevauchement notable et les études soit de Escher de la Lint, soit spécialement de Heim (dès 1871) sur le fameux grand pli glaronnais, avaient fait comprendre l'extraordinaire développement horizontal des plis couchés dans certaines régions alpines. C'est même en particulier sur cette région classique que s'appuya M. Bertrand dans son « *Rapport de structure des Alpes de Glaris et du Bassin houiller du Nord* » où, par comparaison avec le Bassin carbonifère franco-belge, admettant la possibilité de grandioses plis couchés avec transports horizontaux, il émit en 1884 l'idée des *grands chevauchements* et des lambeaux de recouvrement venus du Sud, confirmant ensuite plus sûrement le phénomène des grandioses plis couchés et même charriés en Provence (1887).

Cette idée resta néanmoins pour environ dix ans à l'état d'incubation, tandis qu'en attendant les études toujours plus intenses poursuivies fièvreusement dans les dernières années du siècle passé par une quantité de géologues comme M. et L. Bertrand, Zurcher, Kilian, Haug, Maillard, Lugeon, Termier, Burckhardt, Quereau, Moesch, Ritter, Schardt, Renevier, Heim, Steinemann, Schmidt, Rothpletz, etc. etc., firent découvrir un nombre toujours plus grand de ces extraordinaires phénomènes géo-tectoniques d'étranges superpositions et autres.

Les faits bien constatés de calcaires mésozoïques pincés parmi des plis de Gneiss (comme dans le groupe de l'Aar), les extraordinaires contorsions, renversements, déjettements, etc., observés par exemple dans les groupes fameux des Dents du Midi, des Morcles, etc., ont habitué les géologues à admettre dans les Alpes des phénomènes tectoniques vraiment extraordinaires. Les nappes couchées horizontales très étendues et empilées les unes sur les autres, parfois avec amorce encore visible, ainsi que par exemple entre le Mont Blanc et le Mont Joly, entre l'extrémité septentrionale

du Massif des Aiguilles Rouges et l'Aar (Groupes de Wildhorn l. s. et Hautes Alpes calcaires en général), etc.; les phénomènes de poussées extraordinaires, déformations, écaillés imbriqués, etc. mis en lumière par les percements des tunnels (comme au Col de Tende, au Simplon, etc.), ont fait comprendre peu à peu la grandiosité et l'extension de ces phénomènes.

Il apparut par conséquent toujours plus logique et nécessaire d'expliquer ces étranges lambeaux isolés comme lambeaux de recouvrement, témoins résidus d'anciens plis grandioses anticlinaux, couchés et très allongés, extraordinairement étirés de façon à donner naissance à des grandes et très étendues nappes de recouvrement subhorizontales et souvent superposées, provenant de régions très plissées plus ou moins éloignées; nappes différemment refoulées, parfois reployées, superposées, charriées à la suite de mouvements orogénétiques intenses et répétés, détachées de leur région radicale soit par fractures, soit par érosions, et ensuite plus ou moins éloignées de leur respective zone d'origine par poussées tangentielles et conséquemment par actions horizontales de refoulement, connexes aux efforts orogénétiques qui tourmentèrent plusieurs fois la région alpine.

Mais, en attendant, ces problèmes géo-tectoniques devenaient notablement étendus et compliqués et plusieurs en étaient les relatives interprétations.

En 1893 E. Quereau étudiant « *Die Klippen region von Jberg* » les expliqua ainsi qu'une nappe due à un recouvrement ou chevauchement venu du Nord et dont le point de départ serait la Chaîne vindélicienne ou marginale de Studer, à présent disparue sous les sédiments de la molasse; idée suivie aussi par Ch. Schmidt dans « *Excursions-programm durch die Central Alpen, 1894* » et par d'autres géologues. M. Bertrand de même, qui en 1884 avait jeté l'idée des grands chevauchements alpins et qui en 1888, avec son ouvrage sur la Chaîne de S.te Beaufort, avait expliqué les phénomènes de recouvrement par des plis couchés horizontaux très étendus, dans son étude de 1893 sur « *Le Môle* » parle de chevauchements grandioses d'origine lointaine.

Mais il est particulièrement remarquable que toujours dans la même année de 1893, Schardt, après avoir pendant longtemps étudié la tectonique des Préalpes suisses et avoir peu avant esquissé l'hypothèse d'énormes chevauchements, dans une note sur « *L'origine des Préalpes romandes, 1893* » proposait de considérer l'ensemble des Préalpes comme une seule *nappe de recouvrement* ou plutôt *de charriage* (nullement un pli couché) venue du Sud qui aurait glissé du centre des Alpes vers le Nord, en passant par dessus les Massifs cristallins et les hautes Chaînes calcaires ou Chaînes intérieures. Par conséquent selon Schardt toute la région (essentiellement mésozoïco-éocène) des Préalpes romandes et suisses reposerait sur le *Flysch* par charriage d'une nappe sédimentaire glissée d'une région centrale alpine sans la préexistence d'un pli couché. Théorie que Schardt continua ensuite à développer et à étendre énonçant ainsi la *Loi dite des Préalpes* (1895), selon laquelle le Mésozoïque des Préalpes repose sur un *substratum* essentiellement de *Flysch*.

La grandiose théorie des nappes de recouvrement ou de charriage fut combattue au début, mais ensuite acceptée peu à peu par le plus grand nombre des Géologues, bien que plus ou moins modifiée (par exemple avec l'idée du glissement de masse par pesantour ou éboulement du bord des géosynclinaux, indiquée par Penk en « *Die Entstehung der Alpen, 1908* »), souvent amplifiée et étendue de différente et même extraordinaire façon, qu'il n'est pas le cas d'indiquer en détail, rappelant seulement qu'à cette vraie révolution des idées sur la Géo-tectonique alpine prirent part spécialement Argand, L. Bertrand, Burckhardt, Boussac, Heim, Haug, Kilian, Jaccard, Lugeon, Maillard, Moesch, Ritter, Rothpletz, Steinemann, Schardt, Suess, Termier, Zurcher, etc., etc.

D'une telle manière à la période primitive, où prévalurent les idées des fractures-failles, effondrements, etc. (selon les conceptions d'Elie de Beaumont, de Ch. Lory, etc.), à travers une véritable révolution d'idées, s'étant accomplie spécialement entre 1893 et 1896, suivit la période actuelle

où triomphe l'idée des plis, ultraplis, charriages, etc., passant ensuite, comme c'est l'habitude, de conceptions jusqu'à l'exagération.

Toute une littérature géologique compliquée se développa à base de plis et ultraplis, rétroplissements, proplissements, plis en travers, rebroussements des plis, encapuchonnements des plis, plis flottants, charriages et sous-charriages s'avancant en profondeur (*unterschiebung*), chevauchements (*ueberschiebung*), surchevauchements (*überüberschiebung* ou *überüberfaltung*), escalades, empilements, plis en retour (*rückfaltung*), poussée à rebours (*rückstau*), ploiement à rebours (*rückbeugung*), cernière en retour ou retroflex, refoulements latéraux (*stauung*), ennoyage des plis (*verfaltung*), intercalations de plissements (*einfaltung*), lambeaux de poussée (*grundschollen*), labourage profond (*auskolkung*) fenêtres, fenêtres-tunnels, *überkipfung*, bombements, ensellements, protrusions, etc. etc.

On suppose des empilements grandioses, même d'une dizaine de nappes superposées. On imagine des gigantesques *rouleaux* ou *traineaux écraseurs* (Termier) constitués par des immenses dislocations avec déplacements même de plus que cent kilomètres. On indique des zones de Flysch idéalement développées sur des dizaines de kilomètres au dessous de vraies chaînes de monts charriés (Schardt, etc.). On admet des chevauchements vraiment stupéfiants soit dans les Alpes soit dans les Appennins (p. ex. Steinemann, Termier, Boussac). On interprète une grande partie des Massifs cristallins comme fausses voûtes, carapaces de grands plis couchés, admettant par conséquent une quantité d'exondations des carapaces par surrection ou réapparition des nappes profondes souterraines et on imagine des luttes gigantesques des nappes en profondeur. On croit que toutes les poussées et les renversements conséquents proviennent de l'intérieur de la chaîne alpine avec rejet vers l'extérieur (étant conséquemment nécessaire d'admettre que les nappes aient leurs racines intérieures même au dessous de la plaine du Pô ou sous la mer), avec plis et charriages unilatéraux et par conséquent déplacements ultragigantesques, ainsi qu'il en résulte des récentes publications et de la grande carte des Alpes Occidentales et coupes relatives de Argand.

En somme la théorie des nappes de recouvrement ou de charriage, partie de la constatation de très intéressants phénomènes de plis couchés, étirés d'une façon extraordinaire, de lambeaux isolés, etc. (ainsi qu'on les voit p. ex. dans quelques régions très intéressantes des Alpes, des Hautes Alpes Calcaires, des Préalpes, etc.), est arrivée peu à peu à un tel stade d'exagération, de ultranappisme, que presque plus rien n'est interprété comme en place, tout est pays de nappes ou de racines, on complique et on bouleverse la géo-tectonique alpine et appenninique si bien qu'à la fin l'esprit s'arrête presque épouvanté et avec la doute de se trouver parfois devant les résultats, plus que de la vraie Géologie, d'une Géofantaisie.

En conclusion, sans arriver aux exagérations de quelques ultranappistes, pour lesquels on peut dire que peu de régions de la surface terrestre sont en place, mais qu'au contraire elles ont été en grande partie charriées en différent sens sur des centaines et des centaines de kilomètres (même contrairement aux lois de la Physique en général et de la Mécanique d'une manière spéciale), on doit admettre que dans des régions de diastrophismes extraordinaires et par conséquent de gigantesques constriction orogénétiques, par des contractions tangentielles très intenses, vrais mouvements d'étranglement, comme ceux qui durent se vérifier plusieurs fois dans la région alpine en des successifs moments géologiques (spécialement à la fin du Paléozoïque, de l'Eocène, du Miocène et du Pliocène) aient pu se produire plusieurs plis anticlinaux, même très rapprochés, plus ou moins normaux, qui ensuite, avec la surrection ou surélévation ultérieure de la région, devinrent rapidement courbés ou plis couchés, détournés, déversés, déjetés, presque des vagues géo-tectoniques de la Lithosphère qui déferlèrent et purent même présenter des longs cheminements

à cause de l'intensité et de la répétition des poussées, comme aussi par les facilitations de glissement dues aux schistes spécialement triasiques, liasiques et éocéniques.

Ces plis subhorizontaux avec des étirements puissants, accompagnés souvent par des failles, plis-failles, ruptures, décollements, décrochements, etc., se déplaçant et avançant sur des plans de glissements ou plans de charriages (en particulier si schisteux), produisirent des chevauchements étendus, souvent avec disparition de couches, y prenant naissance des surfaces de contact anormales, par conséquent nappes ou écailles de recouvrement (même à structure imbriquée), souvent très amples, vraies nappes charriées ou de charriage.

Ces nappes par des poussées ou efforts orogénétiques répétés, s'étant même vérifiés en différentes périodes géologiques (généralement à une certaine profondeur), durent être accompagnées par de forts refoulements, dislocations, digitations, ondulations, repliements (parfois même des formations placées au dessous des nappes), glissements, étirements, fractures, érosions, décapitations, laminages, réductions nouvelles et suppressions de couches et conséquemment contacts toujours plus anormaux; parfois entassements, empilements ou chevauchements de plis formés en une ou plus périodes.

Il put aussi se vérifier ainsi que certaines parties, spécialement antérieures ou frontales des nappes, aient été déracinées, c'est-à-dire détachées de leurs régions d'origine ou radicales et que par des ultérieures poussées extraordinaires elles fussent peu à peu éloignées par déplacements subhorizontaux même de plusieurs kilomètres, se conservant parfois ensuite étrangement isolées, spécialement dans les régions de soubassement plus déprimées et par conséquent moins érodées (Voir les coupes 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup>).

Il est impossible de descendre dans cet ouvrage synthétique à l'examen spécial de la Géotectonique des Alpes Occidentales; nous nous bornerons simplement à énoncer quelques lois générales qui s'y vérifient et à donner un coup d'œil sommaire aux différentes zones qui les constituent, ajoutant à cet aperçu général une carte résumée avec des coupes orthogonales à la Chaîne alpine, elles aussi un peu schématiques.

Dans l'ensemble les plissements des formations alpines, s'ils sont parfois assez doux, coupoïdes, spécialement dans les zones subaxiales à grands bancs des Gneiss fondamentaux (p. ex. au Grand Paradis), on voit plus fréquemment au contraire qu'ils sont dérangés, froissés, tordus, etc. Ce fait est en rapport: soit avec l'intensité des mouvements orogénétiques qui tourmentèrent la région alpine à partir du Paléozoïque jusqu'au Néozoïque; soit avec le fait que ces plissements se vérifièrent en grande partie à une certaine profondeur et par conséquent en des conditions spéciales et favorables de striction tangentielle, de chaleur, d'hydrologie souterraine, etc.; soit avec la nature préféremment schisteuse ou argileuse de plusieurs formations alpines du Paléozoïque à l'Eocène (il suffit de penser aux micaphyllades du Paléozoïque, aux argiles du Trias, aux schistes lustrés et autres du Mésozoïque métamorphique, aux argiloschistes (*Flysch*) de l'Eocène), ce qui se prête très bien à toute adaptation tectonique comme à des glissements considérables. Si bien que ces rides ou vagues géo-tectoniques dans leur allure très variée, comme vagues de marée ou d'une mer agitée, or entourent simplement les Massifs plus anciens et par conséquent plus rigides, comme les gneissiques; or s'y appuient en vagues de plis plus ou moins chevauchés; or au contraire, quand elles ne sont pas soutenues, s'étendent librement et déferlent des façons les plus étranges, rappelant sous un certain aspect les colliers insulaires que j'ai ébauché dans « *L'Orogénie de la Terre*, 1895 ».

D'un intérêt particulier sont les formations micaphyllitiques du Mésozoïque métamorphique placées entre les Massifs anciens; car dans les successifs moments orogénétiques qui faisaient se rapprocher ces Massifs plus ou moins roidis (tout en les tourmentant eux aussi au point de vue tectonique) les formations intermédiaires, à l'origine de géosynclinaux, en étaient serrées comme dans un étaiu gigantesque et par conséquent variablement ployées, plissées, pincées, soulevées, renversées, étirées, laminées, chevauchées, jusqu'à constituer des vraies nappes à développement varié, se disposant ainsi en plis soit harmoniquement isoclinaux, soit disharmoniques dans des régions même voisines (à cause d'obstacles spéciaux ou d'adaptations), soit en éventail plus ou moins dissymétrique selon l'action active ou passive des Massifs anciens voisins, souvent en gerbe ou éventail géminé avec déversements et recouvrements même grandioses et éloignés (comme les lambeaux couchés du Cervin, du Pillonet, etc.), ou bien au contraire en forme d'éventail convergeant, dirais-je, par le serrement de plis renversés concentriquement autour et contre un Massif nucléaire (p. ex. Grand Paradis, Dora Maira, etc.).

Les zones de plis des Alpes Occidentales sont dans l'ensemble allignées en plusieurs arcs concentriques, mais à l'examen plus détaillé on voit qu'elles se dédoublent et se ramifient, même d'une manière assez compliquée, ou qu'elles s'anastomosent se soudant et éliminant les plis intermédiaires, deux ou plus se fondant en un seul; or elles s'élargissent accueillant parfois des dépôts plus jeunes dans les synclinaux, or elles se retrécissent faisant disparaître des formations spéciales de synclinal, or elles s'abaissent ou se soulèvent, des régions de synclinal deviennent d'anticlinal dans leur prolongement ou vice-versa, comme des vraies vagues marines figées ou comme des grandioses *ripplemarks* (Voir la Carte géotectonique).

L'allure des rides alpines est dans leur développement longitudinal naturellement en général subarqué avec une légère convexité vers l'intérieur de l'arc alpin, mais elle est parfois opposée ou avec de curieuses formes sigmoïdales, comme dans la zone de Val Antrona, dans le Groupe de Voltri, etc.

Dans les plis déversés on note souvent des changements notables de l'allure tectonique, même en des régions rapprochées, parfois des vraies torsions, des dispositions hélicoïdales, etc.; curieux et fréquent est le cas de plis hésitants, indécis, dans les régions où les forces tangentielles de zones oro-tectoniques voisines, mais à allure différente, s'équilibrent, si bien que les plissements penchent variablement or en un sens or dans l'autre selon les circonstances secondaires dont l'influence se fait sentir (Voir les coupes).

Souvent aussi on observe que dans les zones qui sont dans l'ensemble de synclinal, naissent des anticlinaux secondaires, ce qui constitue presque une preuve que dans les régions d'anciens géosynclinaux se développent ordinairement les anticlinaux. La ride appenninique des Collines de Turin en est l'exemple le plus jeune pour l'intérieur de l'arc alpin.

Et puisque dans les successives périodes orogénétiques qui firent surgir la Chaîne des Alpes, la direction de la poussée n'a pas été toujours constante, mais qu'elle a subi des variations d'intensité, ce qui en partie dérive du successif roidissement des Massifs cristallins, il en résulte que la direction des plis anciens (spécialement *hercyniens*, soit précambriens ou *segalauniens* de Lugeon, soit prétriasiques ou *allobrogiens* de Lugeon) est souvent un peu diverse (avec discordance même parfois de 20°, 30°) de celle des plis jeunes (*alpains*), soit post-écéniques que post-miocéniques ou post-pliocéniques; d'où des disharmonies locales, bien que dans l'ensemble il y ait une certaine concordance et harmonie tectonique.

En outre, des plus intéressants est le fait qu'obliquement ou même orthogonalement aux lignes longitudinales, dirais-je, du plissement principal de l'arc alpin, comparaisent parfois aussi

d'autres plis, préféremment en synclinal, qu'on pourrait dire transversaux par égard aux premiers et qui donnent naissance à des phénomènes spéciaux oro-hydrographiques, comme certaines particularités des grandes conques lacustres subalpines à allure orthogonale au développement de l'arc alpin, certaines dépressions vallives, etc.

Un autre phénomène tectonique très intéressant qu'on observe spécialement bien en certaines extrémités marginales de quelques Massifs hercyniens (Mont Blanc, Aar, etc.) et sur d'étendues régions paléo-mésozoïques du Valais (dans la vallée du Rhône), c'est que l'allure des plis change rapidement et notablement de la profondeur vers le haut; c'est-à-dire que, subverticaux au début (dans la région inférieure ou radicale), ils se courbent rapidement vers le haut, se couchant subhorizontalement et plongeant même parfois un peu (Voir les coupes 4<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup>).

En analysant la tectonique de ces régions il semble vraiment de voir le développement de plis qui s'échappant vers le haut à l'étau formidable qui les étreint dans les profondeurs, à peine libres des gigantesques compressions tangentielles, par leur propre poids se couchent d'un côté et, en ondoyant, s'étendent même très loin des régions radicales originaires (Voir coupes 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup>), souvent avec l'accompagnement de failles et relatifs glissements (facilités par des terrains argileux, schisteux et autres) de façon à donner naissance à des vraies nappes à long cheminement.

De toute façon il résulte clairement que ces déplacements grandioses ou refoulements horizontaux sont presque superficiels, ce qui du reste se vérifie aussi dans les plissements de la croûte terrestre en général.

Cette Géo-tectonique alpine est par conséquent bien différente dans l'ensemble de celle de la proche chaîne du Jura, où, sans parler des régions du Jura tabulaire ou aplani vers le Nord et l'Ouest, les plissements agissent spécialement sur les terrains mésozoïques et où nous trouvons, il est vrai, en outre des plis plus ou moins réguliers subparallèles, des plis déversés à genouillère (ainsi que l'indiquent certains anticlinaux très forts qui bordent le plateau suisse avec déjettement à S. E. en forme de genouillère, rappelant des phénomènes analogues s'étant vérifiés dans les Préalpes méridionales), plis-failles, failles d'étirement, chevauchements, déplacements horizontaux selon lignes de rupture et de glissement successif, etc., mais on n'arrive jamais aux déplacements formidables et aux vraies nappes si distancées et détachées de leurs racines propres qu'on observe dans certaines régions des Alpes (Voir les coupes 6<sup>e</sup> et 7<sup>e</sup>).

Cela étant posé, si nous considérons les Alpes Occidentales dans leur ensemble géologique et tectonique, en tenant compte soit de la dissymétrie de leur arc grandiose, soit du fait qu'elles sont masquées en partie vers l'intérieur par les dépôts puissants et étendus néogéniques, on y pourrait distinguer dans l'ensemble quelques zones ou masses ou formations principales, bien que se reliant parfois et s'entrecroisant assez variablement dans les différentes régions, ainsi que l'indiquent très bien la carte géologico-tectonique et les coupes.

On peut néanmoins établir schématiquement les distinctions suivantes:

**I.** — Une sorte de **Zone axiale**, essentiellement **gneissique**, à tectonique préféremment d'anticlinal, parfois à coupole ou voûte (*Zone du Mont Rosa* de Diener, *Zone du Grand Paradis* selon d'autres auteurs) représentée:

*a)* par le grand et étendu *Massif du Tessin* en forme, dans l'ensemble, de grandiose anticlinal, qui d'une façon curieuse se digite vers l'ouest, se repliant, tassant, renversant et chevauchant dans le fameux groupe du Simplon, où il forme la zone axiale profonde avec le Gneiss d'Antigorio, dont une coupole cachée fut découverte et traversée par le tunnel du Simplon.

*b)* par la très élevée demi-coupole du *Massif du Mont Rosa*.

c) par la petite *Coupole de Arceza* près de Brusson, petit affleurement, à fenêtre, de la formation gneissique qui se présente ici largement déprimée; auquel fait semble correspondre, presque comme contre-coup, les grandioses émergences du (c') *Massif gneissique de Dora Baltea-Sesia* ou plus simplement *de la Sesia* à S. E. et du *Massif gneissico-granitico-micaphyllitique* de la Dent Blanche à N. O.

d) par le *Massif du Grand Paradis*; typique, classique, immense, splendide coupole anticlinale très régulière.

e) par le grandiose et très complexe *Massif ellipsoïdal de Dora-Maira*, régulier dans l'ensemble, mais constitué par plusieurs plis se chevauchant et se renversant concentriquement d'une manière très intéressante autour d'une sorte de coupole axiale en grande partie couverte et masquée par les dépôts quaternaires de la plaine, d'où fait saillie, comme une gigantesque carapace de tortue, la Rocca de Cavour, outre à d'autres petits affleurements micacés-gneissiques.

Interprété selon ce point de vue (qui si il est accepté en général rendra aussi en nombre d'autres cas inutiles certains charriages extraordinaires supposés, comme p. ex. dans le groupe du Simplon), le *Massif Dora-Maira* nous offre l'exemple presque d'un éventail renversé concentriquement, c'est-à-dire presque opposé à celui qu'on retient généralement comme typique pour la tectonique alpine, tandis qu'en réalité dans cette Chaîne montueuse on observe tous les cas géotectoniques les plus variés selon les régions et les circonstances générales et spéciales.

**II.** — Une très étendue, très puissante et très complexe **Formation gneissico-micacée** ou variablement **micaphyllitique** constituant presque l'échafaudage cristallophyllien général de la Chaîne alpine; elle enveloppe, presque comme une immense ceinture ou manteau, la première Zone ou gneissico-axiale (à laquelle elle se relie au moyen de zones intermédiaires) et englobe vers l'intérieur de l'arc alpin, en synclinal très étroit (altéré par des fractures avec glissements, continuation peut-être de ce qu'on a appelé la *fracture-cicatrice tonalitique*), la mince mais intéressante *Zone permotriassique du Canavais* caractérisée par des roches siliceuses bariolées (Phtanites), par des Granites spéciaux, des Porphyres, des Calcaires dolomitiques, etc.

Cette immense formation gneissico-micaphyllitique est représentée vers l'intérieur de l'arc alpin:

a) par la *Zone de Sesia-Lanzo* avec plusieurs intrusions siénitico-dioritiques, avec l'inclusion indiquée plus haut du *Massif de la Sesia*, et avec des passages vers N. O. aux formations kinzigitico-dioritiques; le tout plus ou moins fortement soulevé à anticlinal unique ou multiple et porté même à la verticale vers Est dans le formidable étai orogénétique de la région qui s'étend à sud du Simplon.

b) par la fameuse *Zone amphibolitique* ou mieux *kinzigitico-dioritique de Ivrea-Locarno*, à stratification généralement subverticale.

c) par la ample et complexe *ceinture micaphyllitique insubrienne* ou *Zone cristalline des Lacs* ou *Zone gneissico-micaschisteuse méridionale* (étroitement reliée à la zone b) avec les belles et bien connues inclusions granitiques des Lacs d'Orta et Majeur; à stratifications de même généralement subverticales sauf que dans le groupe du Mottarone (l. s.) où se développent aussi des ondulations douces.

Vers l'extérieur de l'axe géologique de l'arc alpin on peut distinguer dans la formation gneissico-micacée:

a') le *Massif de la Dent Blanche*, intéressant soit par sa position spéciale soit par sa tectonique à plis complexes en éventail ou à gerbe se renversant au dehors (constituant p. ex. le curieux relief du Cervin et la plaque du Mont Tantanel ou Pilonet), soit par sa nature lithologique à Gneiss granitoïdes de façon à rappeler les Massifs du Mont Blanc, de l'Aar, etc; soit par

le fait de renfermer en synclinal grandiose (Valpelline) des formations kinzigitico-dioritiques et calcaires analogues à celles de la zone *b* et d'une partie de la zone *a*, si bien qu'elle constitue une formation intermédiaire (par position, tectonique et lithologie) de jonction entre des régions et des formations très différentes et éloignées. Fait très instructif et interprétable, même en considérant seulement la spéciale position intermédiaire de ce Massif, sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à l'hypothèse de charriages gigantesques, ainsi qu'on le voudrait aujourd'hui en supposant que le Massif de la Dent Blanche soit une nappe de recouvrement flottante et ayant son origine ou racine dans la zone *b*.

Presque des appendices, méridionales, en sont les petits *Massifs* micaphyllitiques subellipsoïques de *M. Mary* et de *M. Emilius*, reliant toujours plus étroitement le grand Massif de la Dent Blanche avec ceux, soit de l'immense coupole subaxiale du Grand Paradis, soit des zones de Sesia-Lanzo à Est, soit du Grand-Saint-Bernard à Ouest.

*b'*) l'immense et complexe *Zone du Grand-Saint-Bernard* (l. s.), essentiellement micaphyllitique (*Casannaschiefer*, etc.), qui partant des Alpes Rhétiques se développe à travers le Groupe du Simplon et le Valais méridional, se continuant ensuite irrégulièrement vers le Sud dans les *Groupes du Rutor, du M. Pourri, de la Vanoise, d'Ambin, du Pelvo d'Elva* et de *Pradleves*.

*c'*) une position un peu spéciale, excentrique, est présentée par le *Massif du Savonais*, qui se relie vers l'Ouest avec la terminaison méridionale de la zone *b'* (du Grand-Saint-Bernard l. s.) et aussi, par constitution lithologique, tectonique, etc., avec la zone *a'* (Massif de la Dent Blanche) qui est bien reliée elle aussi avec la zone *b'*; mais d'autre part le Massif de Savone rappelle de même assez bien par ses Gneiss granitiques, ses Granites, ses Amphibolites, etc., la zone *c* (gneissico-micaschisteuse-granitique méridionale ou Insubrienne ou des Lacs) si bien reliée avec la zone *b* (amphibolitique). Tout cela me fait penser que cette zone du Savonais représente presque le trait d'union, la réapparition sud-orientale, de la grandiose formation ou zone cristalline II<sup>e</sup>, après une contorsion un peu étrange à S. E.

Cette zone II<sup>e</sup> est tectoniquement très variée; rarement façonnée à douce coupole (Ambin), plus fréquemment en plis subverticaux, répétés et forts, se renversant souvent, on dirait presque indifféremment, d'une côté ou de l'autre de l'arc alpin. En effet dans les Alpes Rhétiques prédomine le chevauchement des plis renversés à Sud ou S. O. jusqu'à devenir presque subhorizontaux. Dans le groupe compliqué du Simplon les anticlinaux nombreux et souvent très étroits et digités ne sont pas tous renversés à Nord (ainsi qu'on le croit généralement aujourd'hui) mais ils s'entassent curieusement les uns sur les autres (rappelant un peu ce qu'on vérifie dans le Massif complexe de Dora-Maira, contre le Massif du Grand Paradis, etc.), les plis septentrionaux (Bérisal, M. Léon, Lebendun) se renversant à sud et les méridionaux (M. Pioltone, etc.) à Nord.

Dans le Valais (jusqu'à la haute vallée d'Aoste) prédomine au contraire le renversement vers l'extérieur de l'arc alpin et avec une accentuation telle que les anticlinaux deviennent parfois presque horizontaux et même un peu plongeants, se développant d'une façon si extraordinaire qu'ils constituent des vraies nappes même charriées.

Au contraire en commençant de la vallée d'Aoste vers le Sud prédomine le renversement des plis à Est, c'est-à-dire contre le Massif du Grand Paradis, qui forme vraiment une des plus typiques coupoles d'obstacle contre laquelle (presque comme contre un gigantesque écueil émergeant des eaux d'une mer agitée) s'entassent de tout côté les vagues oro-tectoniques.

Un semblable renversement s'observe aussi dans le groupe du Pelvo d'Elva pour une cause analogue, c'est-à-dire de chevauchement contre le Massif de Dora-Maira, et ailleurs.

**III.** — Comme une immense et puissante couverture ondulée-plissottée, gisante entre les ondulations plus ou moins fortes d'une bonne partie des formations I et II, se développe la très

ample aussi bien que complexe **Formation mésozoïque métamorphique** des *Bundnerschiefer* ou *Schistes Grisons* (faciès *lépontin* ou *rhétien* p. p.) dans les Alpes Centrales, se continuant dans les *Schistes lustrés* ou *Zone des Pierres Vertes* (faciès *piémontais* ou *penninique* ou *ophiolitique* ou *calcschisteux*, etc.) dans les Alpes Occidentales, jusqu'à aller plonger dans la Mer Tyrrhénienne avec le complexe *Groupe de Voltri*, sur la limite orientale duquel se vérifie la superposition transgressive du système de l'Appennin sur le système des Alpes.

Cette formation schisteuse si variable dans sa constitution n'est pas moins variée dans son développement, très ample dans les Alpes centrales Rhétiques, émiétté dans le haut Tessin et dans le Groupe du Simplon et à nouveau extraordinairement grand dans les Alpes du Piémont jusqu'au Groupe de Voltri.

De même très variable en est la tectonique, qui pourrait se dire une tectonique d'adaptation aux Massifs et aux Zones gneissico-micaphyllitiques contre lesquelles cette formation s'entasse et parmi lesquelles elle est plus ou moins comprimée. Ainsi (en outre du développement très irrégulier, même curieusement sigmoïdale comme à Antronapiana, ou arqué comme dans le Groupe de Voltri, etc. - Voir la Carte géologique) nous voyons des renversements grandioses vers le Sud dans les Alpes Rhétiques; nous trouvons au contraire les mêmes formations variablement ployées, fortement soulevées, en partie même chevauchées, entrecroisées et entassées les unes sur les autres entre les Schistes cristallins dans le Groupe du Simplon; renversées à Nord dans le Valais jusqu'à former parfois des zones ou plaques subhorizontales (Bella Tola, Sasseneire, etc.); tordues de toute façon et plissottées dans l'ample vallée d'Aoste, où elles sont parfois même couchées subhorizontalement sur de vastes étendues comme en Valtournanche et en Val d'AYas; ou bien étrangement façonnées à fond de bourse à tabac, comme autour de la coupole gneissique d'Arceza, d'une manière quelque peu analogue à ce qu'on vérifie au Simplon et autour de la Coupole de Boussine dans la haute vallée de Bagnes. Ou bien la formation en examen est disposée à fond de bateau, comme aux alentours de Suse; mais plus fréquemment elle est constituée par des grandioses vagues de plissement s'entassant en façon d'isoclinaux arqués, comme dans le Groupe de Voltri, ou subrégulièrement concentriques comme autour des grands Massifs gneissiques axiaux du Mont Rosa, du Grand Paradis et de Dora-Maira (presque comme des vagues rocheuses gigantesques soulevées contre des énormes écueils gneissiques), quand bien même ces vagues ne se superposent pas l'une sur l'autre comme au Roche-Melon dans la Vallée de Suse.

Ces formations I<sup>e</sup>, II<sup>e</sup> et III<sup>e</sup> si fortement plissées, reployées et tordues dans leur entière très puissante *série compréhensive (paléo-mésozoïque) métamorphique* et si intimement entrecroisées et connexes, constituent dans l'ensemble la *Quatrième zone alpine de Lory* ou *Zone lépontino-pennino-piémontaise* ou *Zone du Piémont* ou *Zone alpine axiale* ou *médiane* en large sens, représentant dans l'ensemble l'Axe cristallin du grand *Géosynclinal* des Alpes Occidentales.

IV. — La puissante et très étendue **Zone houillère axiale** ou *Zone axiale de l'Eventail alpin* de Diener, mieux connue comme **Zone du Briançonnais** qui, avec quelque analogie lointaine de position avec l'étroite *Zone permotriassique du Canavais* (qui apparaît en mince synclinal avec fractures dans l'intérieur de l'arc alpin), se développe très amplement en un très bel arc de la haute vallée du Rhône jusqu'aux Alpes liguriennes avec lesquelles elle va plonger dans le Golfe de Gènes. Elle prend aussi le nom de *Zone carbonifère alpine*, de *Eventail houiller*, de *Pays intralpin*, etc., et elle correspond à la *Troisième zone alpine* de Lory.

Cette Zone est constituée par des formations anthracolitiques (souvent anthracitifères) plus ou moins métamorphosées (*Casannaschiefer* p. p.) englobant, en synclinaux variés et répétés, les formations triassiques (quartzitiques à la base et calcaires-dolomitiques en haut si bien qu'elles rap-

pellent parfois le paysage ruiniforme des Dolomites orientales) comme aussi les jurassiques et même localement les crétacées et les éocéniques.

Le tout se présente généralement à plusieurs reprises et fortement repley, comprimé, parfois ondulé, parfois au contraire avec plis-failles et relatifs glissements et même chevauchements, plus souvent avec disposition d'ensemble à éventail ou à plis renversés rien que d'un côté, soit vers l'extérieur de l'arc alpin, comme dans le Valais jusqu'à toute la haute vallée d'Aoste, soit au contraire en sens invers, c'est-à-dire vers l'intérieur de l'arc alpin comme de la Maurienne aux Alpes Liguriennes, se montrant en ce cas presque comme des grandes vagues orogénétiques s'entassant dans l'ensemble contre le Massif gneissique ellipsoïdal de Dora-Maira.

V. — En connexion partielle avec les zones III<sup>e</sup> et IV<sup>e</sup> se trouve la **Zone de Sion-Val Ferret**, etc., comprise entre la Zone du Briançonnais et celle des Massifs hercyniens et constituée aussi en bonne partie par le Mésozoïque métamorphique; elle se relie à Est avec les *Bundner-Schiefer* ou *Schistes grisons* des Alpes centrales ou rhétiques et se développe au long de la vallée du Rhône et au Sud du Mont Blanc, où elle se rattache aux formations mésozoïques à type normal.

Après la haute vallée de l'Isère (à peu près au-dessus de Bourg-St.-Maurice) cette formation mésozoïque métamorphique ou des *Schistes lustrés* passe, en se transformant rapidement, à celle normale ou des calcaires plus ou moins schisteux et bientôt (aux alentours de Moutiers) elle commence aussi à englober des notables formations éocéniques (à type en majorité détritique), constituant ainsi la **Zone des Aiguilles d'Arves** de Haug, ou *Zone interne du Flysch* de Termier ou *Deuxième zone alpine* de Lory, qui entoure à l'extérieur la zone du Briançonnais, à laquelle elle se rattache étroitement jusqu'à constituer parfois presque une seule zone.

Cette Zone mésozoïco-éocénique se développe différemment or en synclinaux étroits et répétés, accompagnés par des fractures avec déplacements et même forts glissements (rencontrés p. ex. dans le tunnel du Col de Tende) ainsi que contre les Massifs du Pelvoux et de l'Argentera; or en amples zones de plissements et de ridements merveilleux, extraordinaires, en grandes et petites échelles, comme aussi de très notables renversements, accompagnés par des charriages étendus, presque comme des vagues gigantesques, qui déferlèrent librement à l'ouest dans les régions non obstaculées par la présence de Massifs cristallins, comme entre les Massifs de l'Aar et du M. Blanc et dans la très vaste dépression (*Zone de l'Embrunais*, etc.) s'étendant entre les grands Massifs du Pelvoux et de l'Argentera; or en grandes ondulations, dérangées çà et là par des froissements et des fractures avec glissements, comme dans le grand triangle éocénique de la Province de Porto Maurizio.

VI. — La **Zone des Massifs hercyniens** ou *Première zone alpine de Lory* ou *Zone du Mont Blanc* de Diener, ou *Zone dauphinoise* de Desor, ou *Zone des Chaînes cristallines dauphino-savoisiennes*, est constituée par le gigantesque collier des beaux *Groupes montueux du Saint-Gothard, de l'Aar, du Mont Blanc-Aiguilles rouges, de Belledonne, du Pelvoux et de l'Argentera*, qui ferment ainsi bien nettement la série cristallophyllienne des Alpes occidentales en en constituant l'alignement, je dirais presque le rempart, extérieur, très élevé. *Le Massif de l'Esterel-Maures* en pourrait être considéré presque comme une continuation déviée à S. O. avec tendance vers les Pyrénées.

Ce sont des formations essentiellement gneissico-micaphyllitiques avec fréquentes interclussions de Granites alcalins, filons granulitiques, aplitiques et autres, comme aussi avec des formations anthracolitiques et mésozoïques (spécialement triasiques et jura-liasiques à faciès dauphinois, c'est-à-dire vaseux) enfermées souvent en d'étroits synclinaux ou placées en des zones de dépression parmi les plis des terrains cristallophylliens.

Au point de vue tectonique ces Massifs sont constitués par des faisceaux amigdaloides de plis plus ou moins isoclinaux, très soulevés, répétés, comprimés, subverticaux (aujourd'hui plus

ou moins décapés par l'érosion), plusieurs parfois se renversant spécialement vers l'extérieur de la Chaîne mais aussi en sens opposé de façon à présenter parfois la structure à éventail ou à gerbe; avec des phénomènes tectoniques intéressants, soit de rejets étendus vers l'extérieur de la chaîne alpine (ainsi qu'on le voit spécialement bien dans les Groupes du Mont Blanc et de l'Aar), soit d'enfoncement des plis cristallophylliens entre les calcaires mésozoïques (comme dans l'Oberland bernois), soit de superposition transgressive de lambeaux mésozoïques subhorizontaux sur les tranches décapées des couches micaphyllitiques subhorizontales comme aux Aiguilles Rouges, à Crest Voland, etc.

L'élévation notable de ces Massifs dépend en partie de leur constitution tectonique, et en partie du fait que les axes des anciens plis antétriasiques reçurent une nouvelle et très importante surélévation due aux grands mouvements orogénétiques post-éocéniques, bien que l'allure des nouveaux plis post-éocéniques ou alpins fût un peu diverse de celle des anciens plis hercyniens.

Il est remarquable que dans les zones mieux conservées de ces Massifs (spécialement aux extrémités et par conséquent entre les digitations marginales, p. ex. dans la partie septentrionale de Belledonne de l'Isère au Mont Blanc) entre les plis étroits, dans l'ensemble isoclinaux (subverticaux dans les profondeurs radicales et au contraire à déversement rapidement subhorizontal et même plongeants et empilés dans la partie supérieure) comparaissent encore bien développés les synclinaux paléo-mésozoïques; mais souvent, par un plus fort exhaussement des axes des plis et par une érosion plus intense, disparaissent les synclinaux mésozoïques et ensuite aussi les anthracolitiques, si bien que souvent il ne reste plus que les terrains plus anciens, intensément cristallins, vrais noyaux granitiques à métamorphisme plus profond, comme p. ex., dans la partie axiale du Massif de l'Aar, dans la partie N. E. du Massif du Mont Blanc, dans la partie centrale-orientale du Massif du Pelvoux, etc., si bien que ces Massifs furent interprétés comme un seul anticlinal très redressé.

**VII.** — Autour de ces grandioses Zones ou formations plus ou moins cristallophylliennes-métamorphiques, qui constituent la vraie Chaîne montueuse des Alpes Occidentales, se développent, comme une vaste ceinture générale, les dépôts normaux, en grande partie calcaires-marneux, du Mésozoïque et de l'Eocène, qui forment, à l'intérieur de l'arc alpin, les **Alpes** ou **Préalpes calcaires méridionales** ou **Dinarides** de la *Zone insubrienne* ou *subalpine* ou *préalpine méridionale* ou *des Lacs subalpins* (*Seegebirge*) à *faciès méditerranéen*, d'où aussi le nom de *Zone méditerranéenne*, constituant pour quelques auteurs l'*Arrière-pays alpin*. Cette Zone est à tectonique ondulée relativement régulière, avec seulement quelques renversements et quelques fractures, tandis que selon les théories modernes sa continuation se serait renversée vers le Nord de manière à outrepasser toute la Chaîne alpine, avec une surface de trainage de plus que 100 Kilomètres, pour aller constituer ainsi, comme une nappe gigantesque, une partie des Alpes et des Préalpes calcaires septentrionales.

Du côté extérieur de l'arc alpin les formations Mésozoïco-éocéniques normales constituent les **Alpes calcaires septentrionales** formant l'ample *Zone mésozoïque externe à faciès helvétique* ou *Zone helvétique*, et peuvent se subdiviser en:

a) *Hautes Alpes calcaires* ou *Chaînes intérieures des Alpes* (Savoie, etc.) extraordinairement importantes pour les splendides et grandioses phénomènes des plis et replis les plus variés, isoclinaux, subverticaux ou peu inclinés en profondeur, mais qui vers le haut deviennent rapidement renversés, déversés horizontalement et même plongeants, allongés extraordinairement, laminés, chevauchés, empilés en plusieurs nappes, etc. et rendus fameux par les gigantesques et étranges contorsions si bien mises en évidence par les Groupes squelettiques de la Dent du Midi, des Dents des Morcles, de Wildhorn, de Doldenhorn, de Blümlisalp, etc.

b) *Préalpes calcaires* ou *Chaînes extérieures des Alpes*, constituées par des ondulations plus ou moins isoclinales, à type un peu jurassien, un peu renversées, préféremment vers l'extérieur de l'arc alpin, avec des fractures fréquentes (plis-failles), glissements, rejets, structure imbriquée, avec aussi des très intéressants phénomènes de charriage (exagérés néanmoins par les ultranapistes) et des lambeaux résidus isolés. Les *Préalpes* peuvent se distinguer en: *intérieures*, avec la *Zone des Cols* (si compliquée par fractures, failles, glissements très étendus, etc.), la *Zone du Flysch de Niesen*, etc.; *médianes*; *extérieures* ou *Zone de Gurnigel* en Suisse; auxquelles correspondent sur le territoire français les *Préalpes romandes* ou *Préalpes du Chablais* et la *Zone du Voiron*.

c) Vers le S. O. les *Chaînes subalpines* ou *Zone subalpine* de Lory ou *Petites Alpes Calcaires* de Lévasséur ou *Jura dauphinois* ou *Zone jurassienne* (car en effet elles se relient assez bien au Jura dont elles constituent presque la continuation méridionale, et présentent une constitution et une tectonique à type jurassien, qui est comparable à une mer houleuse figée tout-à-coup) et les *Préalpes Maritimes*, qui terminent dans le Niçois à cause de la forte déviation produite par les Massifs gneissico-micaphyllitiques de l'Esterel et des Maures.

Ces régions subalpines et préalpines de la *Zone delphino-provençale* sont constituées essentiellement par des terrains calcaires et marneux du Mésozoïque (en particulier Jura-Lias et Crétacé), parfois avec des lambeaux éocéniques et même oligo-miocéniques pincés en synclinal, et elles présentent une tectonique à plis subparallèles, isoclinaux, variablement dédoublés ou réunis, avec un léger renversement préféremment vers l'extérieur de l'arc alpin, parfois avec fractures, plis-failles et glissements relatifs ou chevauchements en échelle médiocre, sauf dans le Midi (Provence-Niçois) où on vérifie des renversements importants et des grands glissements tectoniques, charriages, etc. en rapport plus ou moins direct avec le Massif cristallin de l'Esterel-Maures.

**VIII.** — Enfin tout-à-fait à l'extérieur de la Chaîne alpine, à faire partie de l'*Avant-pays alpin*, mais néanmoins avec des insinuations locales (comme dans le Gapençais, etc.) dans cette Chaîne, nous trouvons des grands **Bassins cénozoïques** ou **néogéniques** essentiellement oligo-miocéniques se fermant souvent avec le Pliocène. C'est-à-dire, dans l'intérieur de l'arc alpin, le classique *Bassin tertiaire du Piémont* (dont les dépôts, avec la nature alternée de leur constitution géologique, marquent admirablement les palpitations orogénétiques de la Chaîne alpine pendant l'Ere cénozoïque) et le *Bassin tertiaire de la Lombardie* (en grande partie masqué par les dépôts quaternaires de la grande Vallée ou Plaine du Pô (*Pianura padana*); Bassins qui sont divisés entre eux par la terminaison occidentale de la complexe *ride appenninique* qui forme les Collines de Valenza-Casale-Turin.

A l'extérieur de l'arc alpin nous trouvons le *Plateau miocène* ou *Plaine molassique* ou *Bassin néogénique de la Suisse* ou *Zone de la Molasse helvétique*, à plis larges, vraies ondulations douces qui s'accroissent pourtant dans les régions subalpines et dans l'*axe anticlinal de la Molasse*, sorte de ligne de rupture et de pli courant dans les terrains oligo-miocéniques à 10-15 Km. du pied des Alpes, presque comme en prolongement de l'anticlinal couché du M. Salève. Cette zone ou très ample cuvette, dans l'ensemble synclinale, est comprise entre les Alpes et le Jura; elle se continue dans le *Bas Dauphiné* et dans le *Bassin néogénique du Rhône* (l. s.) avec les anses grandioses orientales du *Bassin tertiaire de Forcalquier-Digne* ou de la *Durance* et les relatives appendices des fameux *Bassins de Aix* et de *Marseille*.

## APERÇU SOMMAIRE DES COUPES GÉOLOGIQUES.

**1<sup>o</sup> Coupe (Alpes Rhétiques - Milan - Appennin Septentrional - Golfe de Gênes).**

La coupe commence dans les Alpes Rhétiques et nous y montre les puissantes formations mésozoïques à faciès métamorphique disposées en caractéristiques plis allongés, chevauchés et se renversant à Sud contre le grand Massif gneissico-granitique du Tessin. A Sud de ce Massif, après le caractéristique, profond, grandiose synclinal de la Valtelline - Locarno - Zone du Canavais, la coupe taille deux grands plis principaux dans la très puissante formation des Schistes cristallins sur lesquels s'appuie un peu transgressivement et très amplement la puissante formation gréseuse-conglomératique (Verrucano) et porphyrique du Paléozoïque supérieur.

Sur cette formation paléozoïque repose assez régulièrement et en concordance la très puissante série des calcaires mésozoïques, en premier lieu et spécialement des multiples calcaires dolomitiques triasiques disposés en plis ondulés (dérangés çà et là par des fractures avec glissement), plis qui ensuite s'accroissent et parfois même se renversent à genouillère, comprenant aussi des lambeaux crétaciques portés et conservés encore aujourd'hui, en partie, dans la haute région subalpine. Dans la Brianza les ondulations, souvent même vrais plissements, en grande partie masquées par le manteau morainique, ne font presque plus venir au jour que les formations crétaciques et éocéniques, jusqu'à ce qu'elles aillent disparaître sous la série gréseuse-conglomératique de l'Oligocène; le tout étant bien vite complètement masqué par la très puissante couverture néogénique, en petite partie de Pliocène marin, qui s'avance çà et là bien avant dans les Préalpes, mais essentiellement de dépôts morainiques et fluvio-lacustres.

Par conséquent au Sud de la Brianza la coupe entre complètement dans l'inconnu, mais il est probable qu'au-dessous de la grande Plaine du Pô on trouve une vaste conque cénozoïque, ce que j'indiquerais comme Bassin tertiaire de la Lombardie, qui ferait presque le pendant (à Nord du pli compliqué appenninique qui termine à Turin) du classique Bassin tertiaire du Piémont, qui se développe à Sud de ce pli et qui a été plus soulevé si bien qu'il émergea en grande partie.

A une profondeur plus ou moins grande au dessous de la Plaine du Pô les formations cénozoïques et mésozoïques peuvent être même plissées et tordues, mais dans l'incertitude absolue je me suis limité à y indiquer simplement des ondulations hypothétiques.

Continuant la série en ligne droite elle viendrait couper les plis souterrains éocéniques et oligo-miocéniques de Casale-Voghera et d'Alessandria-Tortona et ensuite, après la conque classique tertiaire de la Scrivia, le Groupe compliqué de Voltri constitué par les formations du Mésozoïque métamorphique avec des très puissantes intercalations de Pierres vertes, le tout disposé en deux grands anticlinaux entre Voltaggio et la mer près de Voltri. Et poursuivant ensuite encore idéalement la coupe au-dessous de la mer du Golfe de Gênes, après avoir traversé un troisième pli dans la zone des Pierres vertes, elle pourrait toucher le prolongement oriental (bien que très abaissé) du Massif cristallin de Savone; ensuite l'étendue, très puissante et fortement ondulée formation anthracolitico-triasique à faciès briançonnais et enfin plonger (à une trentaine de Km. de la côte) au-dessous de l'immense formation éocénique, qui constitue la continuation orientale de celle de Porto Maurizio-Albenga. Mais puisque dans un tel développement la coupe passerait par des zones qui sont déjà interprétées dans les coupes 4<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup>, 6<sup>e</sup> et 7<sup>e</sup>, tandis qu'aucune ne passerait par le vrai Appennin Septentrional, c'est pourquoi j'ai fait dévier la coupe de Milan directement à Sud.

D'une telle façon on coupe les ondulations cénozoïques premièrement au dessous de la plaine de Pavie (ainsi qu'elles sont indiquées par les émergences du Miocène le long du Pô et par les éléva-

tions du Pliocène démontrées par quelques forages profonds de puits artésiens) et ensuite celles souvent tordues et plissées de l'Appennin de Pavie ou de Voghera selon qu'on veuille l'appeler.

Ici les terrains oligocéniques pénètrent très avant dans l'Appennin, s'appuyant, or en concordance or un peu en discordance, sur les formations éocéniques et crétacées, aux dernières desquelles je rapporte une partie des Argiles écailleuses et des Schistes argileux variés avec Pierres vertes.

L'anticlinal si bien marqué de Staffora (Varzi) pourrait presque être interprété comme un prolongement du grand et fameux anticlinal compliqué, fracturé qui forme le Golfe de la Spezia.

Le coupe traverse ensuite le beau Groupe montueux de Ebro-Antola constitué par les calcaires éocéniques ondulés et souvent d'une façon bizarre et merveilleuse plissottés, tordus, etc., ainsi qu'on peut l'observer directement dans les nombreuses coupes naturelles sur les flancs des vallées (voix p. ex. la coupe XIV en: F. SACCO, *L'Appennino Settentrionale*, 1892), et parfois même renversés d'une façon curieuse, comme p. ex. dans la région de Torriglia.

Enfin après plusieurs ondulations petites et grandes, par lesquelles les argiloschistes pincent en synclinal des formations éocéniques de grès et calcaires, ces dernières, après l'anticlinal de Rapallo-Recco, qui donna naissance au promontoire de Santa Margherita, plongent sous les eaux de la Mer Tyrrhénienne, non sans avoir été auparavant recouvertes par la puissante série oligocénique de grès et conglomérats du promontoire de Portofino.

### **Coupe 2<sup>e</sup> (Alpes Rhétiques, - Montferrat - Alpes Maritimes - Monaco).**

La coupe prend naissance dans le Massif cristallin du Tessin contre lequel s'appuient des nombreuses vagues de plissement se chevauchant et couchant préféremment à S. O.; vagues qui sont constituées soit par des Gneiss menus, Micaschistes et Schistes cristallins variés (*Casanna-schiefer*), soit par des formations mésozoïques à faciès métamorphique (piémontais ou lépontin) qui constituent une grande partie des Alpes lépontines, c'est-à-dire les zones dites rhétiques ou des Schistes Grisons ou *Bündnerschiefer*, qui sont la continuation de la zone dite des Schistes lustrés ou de Sion dans la vallée du Rhône.

Ensuite dans la région des Alpes Centrales la coupe montre les rides répétées et variées de plissement dans la série gneissico-micaschisteuse fortement soulevée avec quelques résidus de l'ancien et partiel recouvrement permo-triasique réduit à quelques lambeaux pincés. Le tout s'appuie et se couche plus ou moins vers le Nord (c'est-à-dire presque en sens opposé aux vagues rhétiques indiquées plus haut) contre la grandiose coupole de Gneiss centraux, tabulaires, à gros grain, etc., formant le Massif du Tessin, et qui est un peu comparable à la grande coupole analogue, mais bien plus régulière, du Grand Paradis.

Dans les Préalpes de Arona-Varese nous voyons que les masses paléo-mésozoïques viennent, dirais-je, à heurter et s'entasser, ou bien simplement s'appuyer, contre les masses cristallines des Alpes centrales. En effet le Permo-Trias or s'appuie, comme souvent dans la région de Lugano, transgressivement, par conséquent avec une forte discordance, sur les Schistes cristallins fortement soulevés (nous indiquant une notable période érosive intermédiaire); or au contraire il est fortement pincé entre ces Schistes, comme p. ex. dans la région à Nord de Lugano.

Après une zone étendue à allure tectonique probablement assez tranquille, correspondant à la Plaine du Pô (Vercelli) et qui doit masquer un Bassin tertiaire lombard un peu analogue au typique piémontais, nous rencontrons les plissements des collines de Turin-Casale, ensuite l'ample et doux synclinal de l'Astésan, qui néanmoins pourrait présenter en profondeur des ondulations même un peu sensibles, bien qu'aujourd'hui masquées par les puissants dépôts néogéniques.

Cette grandiose série néogénique vers le Sud doit s'appuyer transgressivement sur la très puissante formation (probablement plus ou moins érodée dans sa partie supérieure) du Mésozoïque métamorphique à faciès piémontais (continuation occidentale du complexe Groupe de Voltri et reliement aux formations analogues qui contournent le Massif Dora-Maira arrivant des Vallées de Lanzo) dont j'ai tracé schématiquement une allure souterraine ondulée avec probable fracture dans le fort pli septentrional. Contre ce pli doit s'appuyer avec plusieurs ondulations (schématiquement indiquées) soit la puissante série des Schistes ophitifères du Crétacé (ainsi qu'on le voit dans l'Appennin de Gênes et, en petits affleurements, sur quelques points aussi des collines de Turin-Casale-Valenza), soit la très puissante série argilo-calcaire de l'Eocène à type appenninique, qui affleure aussi nombre de fois et sur de vastes étendues dans les collines de Turin-Casale-Valenza, et qui, pour la région souterraine des Langhe, serait la continuation occidentale des formations crétacées-éocéniques de l'Appennin de la Ligurie (Vallée de la Scrivia, etc.).

Cette interprétation éclairerait d'une vive lumière l'origine tectonique et la constitution lithologique (grès et cailloux) des collines de Turin-Casale, qui représentent justement le dernier prolongement, occidental, visible de l'Appennin de Tortona-Voghera, c'est-à-dire de l'Appennin septentrional et qui doivent aussi leur intense plissement en grande partie à la nature argiloschisteuse prédominante dans leur constitution fondamentale.

Dans la région de Mondovì (bord N. E. des Alpes Maritimes) les plissements paléo-mésozoïques plongent au-dessous de l'immense manteau miocénique avec des plaques pliocéniques (comme à Mondovì Piazza); mais, comme j'ai indiqué, ils doivent se continuer sur une vaste étendue comme prolongements, vers l'Ouest, des anticlinaux compliqués soit de Nucetto-Murialdo, soit de Cairo Montenotte, etc., qui représentent le prolongement occidental, de la complexe très puissante formation des Schistes cristallins, avec Pierres vertes, qui fut indiquée comme Groupe de Voltri.

Ce prolongement occidental de l'important Groupe de Voltri que j'avais déjà esquissé, il a presque un quart de siècle, dans ma note par « *La Géotectonique de la Haute Italie occidentale, 1900* » nous est aussi révélé par la curieuse courbe que font les terrains miocéniques à N. O. de Cortemilia (Voir: F. SACCO - *Carta geol. del Bacino terziario del Piemonte, 1889*), courbe qui d'ailleurs s'étend encore (comme dernière onde douce de répercussion de la constitution géologique profonde) dans l'allure de la série pliocénique de Govone-Alba-La Morra-Bene.

Cette probable allure souterraine de la formation éminemment serpent.-amphib. du Groupe de Voltri laisse douter qu'elle aille enfin se relier, soit avec celle de même très ophitifère du Groupe du Monviso qui, descendant vers l'Est des Alpes Maritimes, plonge sous la plaine de Cuneo, soit avec la formation analogue, de même éminemment serpentineuse-amphibolique, des Vallées de Lanzo qui descend justement vers le Sud pour plonger sous la plaine du Pô de la région de Turin.

Au long de la zone suivie par la coupe dans les Alpes Maritimes on voit qu'en procédant à peu près du Groupe du M. Bertrand vers le Nord, tandis que les formations éocéniques (et même les crétaciques, mais sur échelle très moindre) s'amincissent rapidement, bien qu'on en trouve encore des lambeaux épars et insinués dans les Groupes du Marguareis et du Mongioie (ce qui nous indique leur grand développement original), on vérifie nombre de rides subparallèles, assez régulières, isoclinales, avec tendance à se coucher vers le Nord, et une large fréquente apparition des Schistes cristallins, bésimauditiques ou autres, du Permien avec la typique couverture de Quartzites-Anagénites, parmi les sinclinaux, doux ou forts, desquels s'étendent ou sont pincés les calcaires du Trias normal et, dans la région de Mondovì, aussi les Calcschistes avec Pierres vertes du Trias-Lias métamorphique.

La coupe traverse ensuite une vaste zone en grande partie simplement ondulée avec un

grand manteau éocénique; toute la série mésozoïque y doit de même être bien développée et s'appuyer avec une certaine tranquillité sur la grande charpente gneissique, prolongement oriental du Massif de l'Argentera; formations gneissiques qui en effet apparaissent çà et là (un peu à l'Ouest de la Coupe) dans les profondes incisions de la Roya au-dessus et près de Tende.

C'est probablement en rapport avec cette grandiose émergence gneissique cristalline que les masses sédimentaires, qui furent poussées contre elle, durent non seulement se plisser très puissamment mais quelquefois même se fracturer. C'est pourquoi nous rencontrons la grande, compliquée et très étendue ligne paraclastique, qui coupe ou limite presque les Alpes Maritimes (de S. E. à N. O.) des Monts de Porto Maurizio jusqu'à la vallée de l'Ubaye, avec l'accompagnement habituel de très forts plissements (Voir p. ex. ceux du Mont Bertrand in: F. SACCO: *L'App. sett. e centr.* - fig. 54 - 1904) et de très notables glissements obliques, qui font apparaître des nombreuses zones calcaires compactes, jura-liasiques, isolées au milieu des schistes (*Flysch*) de l'Eocène, ainsi que l'ont indiqué très bien les deux tunnels percés à travers le Col de Tende.

Enfin vers la mer la Coupe traverse une région de plissements intenses et répétés, en grande et petite échelle, particulièrement de la formation crétacique.

Si on continuait la coupe géologique au-dessous de la Mer Tyrrhénienne on rencontrerait une dépression bathimétrique notable correspondante au proche Niçois, ayant naturellement une constitution analogue de plis répétés plus ou moins renversés à peu près à S. O., souvent avec des lignes correspondantes d'étirements, fractures, glissements, recouvrements anormales, etc. ainsi qu'on le voit sur la région littorale entre Nice et Monaco.

Enfin on arriverait, après une vingtaine de kilomètres, à une région bathimétriquement assez exhaussée, qui représente probablement le prolongement du Groupe complexe de l'Esterel (à squelette gneissique avec relative couverture ou bande permo-triasique et jura-liasique), qui avec son expansion visible plus orientale donne justement naissance au promontoire d'Antibes, aux îles de Lérins, etc.

### **Coupe 3<sup>e</sup> (Massif de l'Aar - St. Gothard - Biellais - Turin - Esterel - Mer Tyrrhénienne).**

La coupe commence dans les monts de la Gr. Windgälle à Nord de la Matheraner Thal sur Altdorf, c'est-à-dire où se vérifient les fameux renversements de roches cristallines porphyriques au-dessus des calcaires jurassiques et des terrains éocéniques, qui sont ainsi pincés en plis couchés au-dessous des formations paléozoïques. Il s'agit des habituels renversements, avec les relatifs ridements, contorsions et déversements même à grande distance (par conséquent nappes plus ou moins isolées et éloignées de leur point d'origine) qu'on observe d'une façon plus ou moins marquée dans toute la région marginale septentrionale ou extérieure du Groupe de l'Aar, du Mt. Blanc, etc.

Le Groupe de l'Aar est formé par plusieurs plis comprimés et redressés, qui néanmoins par le développement du phénomène de granitisation laissent quelque incertitude dans leur délimitation.

En traversant la haute vallée du Rhin la coupe rencontre les formations mésozoïques métamorphiques, qui représentent presque une digitation résiduelle, occidentale, des analogues formations si étendues et puissantes dans les Alpes Rhétiques et qui dans leur développement ultérieur à l'Ouest tendent à se relier à la fameuse Zone de Sion dans la vallée du Rhône.

Au passage du Groupe massif du St. Gothard, où semblent s'esquisser deux anticlinaux trapus principaux, la coupe rencontre dans la haute vallée du Tessin, aux alentours de Airolo, une autre importante formation mésozoïque plus ou moins métamorphique, ridée en plusieurs plis qui

a l'importance de représenter vraiment la principale zone de jonction directe entre les *Bündenrschiefer* des Alpes Rhétiques et les *Schistes lustrés* de la zone de Sion et des Alpes occidentales en général.

A cette typique, vaste et complexe zone de Mésozoïque métamorphique à faciès piémontais-lépontin succède une intéressante série de plis qui, sauf l'anticlinal relativement régulier et coupoloïde du Groupe de Pizzo Rodi, se renversent isoclinalement a N. O.

Il est intéressant d'observer que ces plis vers l'Est, se soudant graduellement entre eux, vont se rejoindre en un seul tout, c'est-à-dire dans le grand Massif cristallin du Tessin, dont ils représentent par conséquent les digitations occidentales, tandis que vers l'Ouest ils vont enlacer et renfermer en synclinal plusieurs zones de formations mésozoïques métamorphiques dérivant de la zone de Sion et d'autres formations analogues des Alpes Occidentales.

Ces phénomènes curieux de démembrements et de renversements touchent leur maximum dans le fameux Groupe du Simplon, y donnant naissance à l'extraordinaire complication tectonique qu'ont fait connaître les études de nombre de géologues avant et après le percement du tunnel, sans que néanmoins on soit encore arrivé à l'expliquer avec satisfaction générale.

Aujourd'hui la tectonique du Simplon est généralement interprétée en supposant des énormes renversements stratigraphiques se chevauchant de Sud à Nord, ce qui ne me paraît pas acceptable. En effet et avant tout je ne crois pas vraie la constance de la loi du renversement des plis alpins de Sud à Nord, c'est-à-dire de l'intérieur à l'extérieur de la chaîne alpine; mais, ainsi que l'indiquent mes coupes, les plis se disposent en sens varié selon les points, souvent le même pli se renversant d'un côté ou de l'autre dans les différentes régions, se vérifiant seulement en général le fait que les plis se tassent et s'appuient contre et sur certains noyaux anticlinaux principaux, qui opèrent presque comme axes ou centres ou points rigides d'obstacle aux plissements; en outre il ne me semble pas nécessaire d'admettre certains étirements extraordinaires qu'on devrait accepter avec la hypothétique loi énoncée plus haut.

Je crois au contraire qu'on peut interpréter la tectonique du Groupe du Simplon en admettant qu'au-dessus d'un noyau anticlinal, déprimé, gneissique, que le tunnel a à peine effleuré (dans son premier tiers méridional), se couchent de Sud à Nord: 1° le grand anticlinal d'Antigorio; 2° l'anticlinal de Cima la Sella-M. Pioltone ou Camozelhorn; 3° l'anticlinal de Val Bognanco, prolongement de la Zone du Grand-St.-Bernard; toutes trois digitations occidentales du Massif du Tessin, en correspondance avec ce qui apparaît dans la Coupe 3° entre le groupe du Pizzo de Rodi et Val Vigezzo. Se coucheraient au contraire de Nord à Sud les anticlinaux digités (Lebendun, M. Leone str. s., Berisal et Ganter etc.) du Groupe du M. Leone (renversés au point de constituer la partie supérieure du M. Cistella) avec les relatifs synclinaux empêtrés, étirés et allongés de Mésozoïque métamorphique dérivant de la zone compliquée de Sion-Alpes Rhétiques.

On aurait ainsi deux séries d'anticlinaux, une inférieure (zone d'Antigorio) recouverte par deux autres opposées entre elles et se soudant en partie par leurs extrémités au-dessus de Val de Vedro, d'une façon un peu analogue à ce que j'admets pour le Massif Dora-Maira (Voir les coupes 3°, 8°, 9°), spécialement pour la Vallée du Chisone.

Après traversé le Val Vigezzo les Schistes gneissiques (les fameuses *Bevole* ou Gneiss de Beura), souvent amphibolitifères, sont très fortement comprimés, soulevés et entassés, présentant un synclinal principal occupé par les Serpentes et les Prasinites de Quarata-Sassoledo, etc. (continuation orientale du synclinal mésozoïque à allure sigmoïdale de Antronapiana-Zermatt) et peut-être deux autres synclinaux plus petits, un septentrional (en continuation de la zone serpentinesuse de Moncucco) et un méridional, qui pourrait représenter la continuation de la zone de Mésozoïque métamorphique de Alagna-Bannio.

Enfin, après un ample anticlinal de Gneiss listés et de Schistes cristallins variés fortement tassés et soulevés, la coupe sectionne le très important synclinal qui traverse la région alpine pour plus de 200 Km. du Canavais à la Valtelline; synclinal qui est ici représenté par des Schistes phylladiques séricitiques (*Schistes de Rimella* et *Fobello* de Gerlach) du Paléozoïque supérieur englobant des lentilles de calcaires dolomitiques, souvent micacés, à rapporter au Trias.

Suit à sud la grandiose série dioritico-kinzigitique de Ivrea-Locarno, série qu'on a cru déjà une formation absolument individualisée, tandis qu'à l'analyse détaillée, bien que résultant toujours très importante, elle montre: 1°) de s'alterner et de s'entrecroiser avec des Schistes cristallins variés, Gneiss, Micaschistes, Stronalites, Kinzigites, etc.; 2°) de présenter des passages et intercalations avec les Phyllades séricitiques (*Schistes de Rimella*) du Paléozoïque supérieur; 3°) de n'être pas limitée à sud par le synclinal du Canavais-Locarno, mais de comparaître en lentilles lithologiquement analogues même à Nord de ce synclinal, comme p. ex. à Est de Cardezza et spécialement en nombre de zones et de lentilles entre la Vallée d'Ossola et celle de la Sesia au milieu de Gneiss listés, Strona-Gneiss et Schistes cristallins variés.

Ce qui nous indique que la fameuse Zone dioritique d'Ivrée représente seulement un extraordinaire développement régional (essentiellement entre la vallée de la Sesia et la vallée de la Doire Baltée) de formations dioritico-kinzigitiques qui s'intercalent à plusieurs reprises dans la complexe série cristalline du Paléozoïque moyen-supérieur.

Puisque après la vallée de l'Ossola la coupe traverserait presque en enfilade et parallèlement la dite formation dioritico-kinzigitique d'Ivrée pour une cinquantaine de Km., d'où dériverait ainsi une apparence faussée soit quant à la tectonique qu'à l'épaisseur, j'ai pour cela cru opportun d'interrompre la coupe et de la reprendre dans le Biellais, où elle peut être continuée régulièrement.

Au sud du Biellais, où prédominent les Gneiss souvent granitoïdes, qui semblent indiquer une zone anticlinale ancienne, la coupe doit traverser en profondeur, au-dessous de la couverture néogénique de la Plaine du Pô, les formations paléo-mésozoïques, probablement analogues à celles qu'on voit affleurer dans les Préalpes lombardes; elle sectionne ensuite un peu obliquement et de flanc l'anticlinal tertiaire des Collines de Turin.

La continuation de la coupe géologique des alentours de Turin au Saluçois, au-dessous de la grande couverture néogénique du Pô, est naturellement très idéale; mais, en reliant ce qu'on observe dans les Monts de Saluces et de Coni avec ce qu'on voit dans ceux de Pignerol-Vallée de Suse et des Vallées de Lanzo, on peut imaginer qu'au-dessous de l'anticlinal déprimé subcentral de M. Bracco-Cavour (presque en opposition aux plis couchés vers Est qu'on observe dans les Alpes Cotiennes, situées en regard) autant de plis anticlinaux se renversent à peu près vers O. S. O., c'est-à-dire schématiquement: un 1<sup>er</sup> ridement correspondant à l'anticlinal des collines de Saluces (à S. O.) - M. Freidour (à N. O.); un 2<sup>o</sup> ridement correspondant à l'anticlinal de M. St. Bernard-Costigliole de Saluces (à S. O.) et Cumiana-Coazze (à Nord); un 3<sup>e</sup>, avec immense développement des Micaschistes et Calcschistes avec Pierres vertes (rappelant la formation opposée, mais analogue, du M. Viso), correspondant à peu près à l'anticlinal de Pradleves l. s. (à S. O.) et de Almese-Viù-Ceres ou Zone de Lanzo-Sesia (à Nord).

Enfin il existe probablement près de Turin un fort et complexe anticlinal, compliqué peut-être par des fractures avec hyatus stratigraphique, qui représenterait la continuation méridionale soit de la partie canavaise de la zone alpine de Sesia-Lanzo (l. s.), soit de la zone dioritico-kinzigitique de Ivrea-Verbano ou mieux de la grande zone insubrienne des Schistes cristallins, Amphibolites, Gneiss, Granites, etc.; contre cet anticlinal complexe doivent s'appuyer les formations paléo-mésozoïques, à faciès normal, des régions insubriennes subalpines, comme aussi les terrains

éocéniques et miocéniques qui ensuite, par l'habituel anticlinal subalpin, constituent les Collines de Turin-Chivasso.

Si on pouvait accepter cette interprétation du développement géologique au dessous du manteau néogénique de la haute vallée du Pô (ainsi que je l'ai tracé, naturellement d'une façon schématique, dans les coupes et dans la carte géologique) on aurait l'explication facile soit de l'origine de l'anticlinal des Collines de Turin avec leur spéciale déviation à S. O. (au lieu de la typique direction appenninique S. E.-N. O.), soit du grand développement, du volume et de la nature lithologique des éléments caillouteux des terrains marins tertiaires de ces collines; éléments qui proviennent des régions de la zone des Pierres vertes, des Porphyres, des Granites, etc., qui aujourd'hui affleurent seulement assez loin de la région turinoise, tandis que pendant l'Ere tertiaire ils devaient au contraire se développer jusqu'à cette région, qui pouvait émerger en partie comme subalpino-littorale.

Entre le grandiose Massif gneissique de l'Argentera et la région de Saluces nous rencontrons premièrement, près du dit Groupe, l'habituelle grande ligne paraclastique (qui s'étend si constamment à N. E. de ce Massif), avec l'accompagnement naturel de forts déplacements par glissements, révélés en profondeur par les tunnels du Col de Tende et extérieurement par les *Klippen* variés, calcaires, jura-liasiques, à aspect ruiniforme au milieu du doux paysage présenté par le *Flysch* éocénique.

Suit la belle zone de ridements intenses qui font affleurer, dans les forts anticlinaux, même renversés, les Schistes cristallins (chloritiques, séricitiques, etc.), çà et là graphitico-anthractifères, d'âge anthracolitique, de M. Pergo-M. Bram, avec l'accompagnement ou manteau typique de Quartzites, de Calcaires dolomitiques du Trias, en outre des Calcschistes et des Calcaires jura-liasiques. Cette formation de Schistes cristallins charbonneux semblerait correspondre à la zone cristallino-graphiteuse de Saluces-Pignerol, ce qui rendrait plus accentuée l'interprétation anthracolitique, dirais-je, de cette dernière.

Ces anticlinaux qui présentent, dirais-je, un moment d'incertitude (plis hésitants) près du Groupe de l'Argentera tendent à se renverser à Nord, c'est-à-dire vers la plaine piémontaise. Ce fait intéressant est déjà indiqué par le petit affleurement gneissique de Pradleves et il est admirablement dessiné par le grandiose anticlinal gneissique du M. St Bernard avec le recouvrement typique de Micaschistes et Gneiss mêmes çà et là graphitifères (ce qui en indiquerait l'âge en partie carbonifère) puissants même plus de 1000 mètres.

Un autre anticlinal gneissico-micaschisteux y succède ensuite vers le Nord, formant les collines de Saluces, anticlinal renversé aussi à Nord-Nord-Ouest et avec le cortège habituel des Micaschistes graphiteux, des zones quartzitiques et même (dans la vallée de la Varaita) des typiques calcaires dolomitiques et calcschistes du Trias entre Venasca et Piasco.

Le tout se renverse sur le doux anticlinal gneissique qui prend naissance près de Castelar et dont fait partie encore visible le groupe du M. Bracco, qui semble en effet émerger de la plaine du Pô, presque comme une demie carapace de tortue gigantesque. La curieuse Rocca di Cavour qui d'une façon semblable émerge, mais vraiment isolée, de la plaine, serait justement la continuation septentrionale de ce doux anticlinal; ce qui nous expliquerait les inclinaisons douces et variées de ses Schistes cristallins souvent même subhorizontaux, comme aussi la formation gneissico-granitoïde de sa base; tout cela semble indiquer une région anticlinale, qui de la zone gneissico-micaschisteuse, même graphiteuse en haut, passe vers le bas à la formation gneissico-granitoïde.

Quand au grand Groupe gneissique de l'Argentera, ainsi que je l'ai démontré par une monographie spéciale en 1910, il résulte de quatre anticlinaux principaux fortement redressés et rapprochés,

dont les trois synclinaux interposés nous sont révélés, les intérieurs par les résidus de pincements triasiques du Col Vei del Bouc et du flanc gauche de la Vallée de la Tinée, et le central par les schistes brunâtres, probablement de l'Antracolitique inférieur, de Mollières-Callieri-Col du Fer.

Contre le Massif relativement rigide, cristallin, gneissique, de l'Argentera les terrains sédimentaires viennent à se replier et à se renverser d'une façon extraordinaire, ce qui est indiqué par les pincements de Permo-Trias dans les Schistes cristallins sur la gauche de la Vallée de la Tinée entre Isola et S. Etienne et qu'on peut du reste observer de loin avec toute commodité en regardant de S. Sauveur (Vallée de la Tinée) dans l'enfilade du Val Robion les contorsions des couches blanches quartzitiques du Trias inférieur. Pour la tectonique voir les travaux de L. Bertrand.

Entre l'Esterel et la Vallée du Var il y a une belle série de plissements avec renversements, spécialement à Sud, qui intéressent en particulier la puissante pile des terrains secondaires et éocéniques et qui dans leur zone de plus grande accentuation, et relatif étirement, causèrent des fractures avec glissements plus ou moins prononcés des parties plissées et fracturées et relatifs gradins orographiques et tectoniques.

Ces renversements spécialement à Sud et à S. O. correspondent à ceux qui dans le Niçois oriental, dans la région de Toulon, etc. s'accroissant encore plus et, glissant les uns sur les autres, produisent les curieux phénomènes de nappes et autres qui ont été signalés et étudiés par MM. Bertrand, Zurcher, Ch. Pellegrin, etc.

Considérant dans l'ensemble cette coupe 3<sup>e</sup> entre le Niçois et la Plaine du Pô il résulte clairement que la formation éocénique, et ensuite graduellement peu à peu les crétacées, jurassiques, etc. vont en se réduisant du Massif de l'Argentera (qui fut déjà une île grandiose ellipsoïdale entourée par une mer éocénico-crétacique, etc.) soit vers le sud soit vers le nord; ainsi en ce dernier cas nous voyons le synclinal de la Vallée de l'Arma (Stura de Coni) englober le Jura-Crétacé-Eocène, celui de la Vallée de la Grana renfermer seulement plus le Trias-Lias; celui de la Vallée de la Varaita montrer seulement plus le Trias, et enfin celui de Saluces ou de la Vallée du Pô (str. s.) pincer uniquement les dépôts graphiteux du Carbonifère.

La coupe termine enfin dans le Niçois occidental où se vérifie l'émersion gneissico-micacée, avec intercalations fréquentes quartzieuses, microgranitiques, etc., des Massifs de l'Esterel et des Maures, où on observe une allure tectonique très variée, parfois dans l'ensemble assez douce, mais souvent au contraire avec de forts plissements, redressements de couches, etc.; le tout recouvert dans l'Esterel par un ample manteau subrégulier de formations porphyriques et schisteuses-gréseuses du Permien. Le Carbonifère, au contraire, est parfois pincé entre les Schistes cristallins anciens qui constituent plusieurs anticlinaux arqués, fortement redressés et renversés en partie vers le N. N. O., comme j'ai cherché de esquisser, un peu schématiquement, dans la coupe, quoique celle-ci ne se prête pas bien à montrer la tectonique parcequ'elle traverse les formations un peu en enfilade.

#### **Coupe 4<sup>e</sup> (Oberland - Mt. Rosa - Biellais - Montferrat - Savonais).**

La Coupe commençant dans les Hautes Alpes calcaires immédiatement à Nord du Groupe de l'Aar nous montre que le caractéristique renversement (vers Nord) de la série isoclinale du Massif cristallin compliqué de l'Aar devient extraordinairement accentué et étendu, ce qui fait que les formations gneissiques (ainsi que nous l'indiquent les belles études de Baltzer, Buxtorf, Fellenberg, Gerber, Troesch, Truninger, Schmidt, Schardt, etc.) sont renversées, même parfois (Hochenhorn, Petersgrat, Breithorn) sur les terrains mésozoïques; faits qui sont encore plus marqués dans le Groupe de la Lungfrau, où plusieurs fois les Calcaires jura-liasiques se montrent curieusement enchêvêtrés avec les Gneiss.

Quant aux formations mésozoïco-éocéniques des Hautes Alpes calcaires elles montrent qu'elles constituent une sorte de cascade d'anticlinaux renversés arrivant et descendant de l'Oberland et se prolongeant pour nombre de kilomètres vers le Nord.

Ces curieux phénomènes, compliqués par de nombreux plissements et renversements secondaires (qui caractérisent justement ces Hautes Alpes calcaires, Blumlisalp, Doldendhorn, Wildhorn, Diablerets, Dents des Moreles, Dents du Midi, etc.) accompagnés de déversements, glissements, détachements de parties, etc. s'entrecroisent souvent avec les complications qui sont connexes avec l'affleurement irrégulier des formations triasiques dans la Zone dite des Cols, caractérisée elle aussi par des fractures répétées, des glissements notables, des recouvrements et superpositions anormales, etc. On ne doit donc pas s'étonner si dans cette région la théorie des charriages, qui a un bon fondement de vrai, ait trouvé un facile appui pour les exagérations qui accompagnent presque toujours les théories nouvelles, même justes.

Entre ces Hautes Alpes calcaires de l'Oberland bernois et la Zone dite du Grand-St.-Bernard sur la gauche de la vallée du Rhône, le plissement de toutes les formations se montre accentué et fréquent avec tassement général et renversement à Nord au point de former entre le Groupe du Mattwaldhorn ou Laquinhorn et l'Oberland bernois, à travers tout le Groupe de l'Aar, une splendide, typique série isoclinale, où comparaisent aussi parfois les formations anthracolitiques, comme p. ex. sur la gauche du Rhône à N. O. du Simplon, dans l'Oberland sur la droite du Lotschenthal.

Cette série isoclinale se déprime en correspondance de la vallée du Rhône (qui est justement causée en partie par cette dépression et en partie par le développement des calcaires et calcschistes mésozoïques, peu résistants, de la Zone dite de Sion) et se relève ensuite dans l'Oberland; bien mieux ici, à cause de l'imposante abrasion qui s'est vérifiée à travers tant de périodes géologiques du Mésozoïque jusqu'aujourd'hui, le décapage des plis fut tel que les bancs mésozoïques sont réduits à peu de résidus limités, pincés entre les Schistes cristallins; mais si nous nous portons un peu plus à Ouest où le Groupe de l'Aar disparaît au-dessous de la puissante couverture méso-néozoïque, là nous voyons encore assez bien conservés les différents plis synclinaux de Baltschieder, de Raron, de Gampel, de Leuck, de Faldum Rothhorn, de Resti-Rothhorn et de Majinghorn, presque comme des racines ou mieux prosécutions occidentales des synclinaux que j'ai indiqués dans les coupes à travers l'Oberland de la Vallée du Rhône aux Hautes Alpes septentrionales de Blumlisalp-Gspaltenhorn, etc.

En continuant la coupe vers le Sud on voit qu'elle sectionne premièrement, à travers le Groupe du Mattwalderhorn, la grande Zone anticlinale, gneissico-micaschisteuse, dit du Grand-St.-Bernard, qui apparaît ici conformée un peu en éventail et qui probablement était un peu déprimée, affaissée dans sa partie élevée; ensuite l'imposant, bien que relativement doux, anticlinal coupoleforme du Massif gneissique du M. Rosa, sur lequel s'affaissent (en se couchant vers le Sud) deux synclinaux de Mésozoïque métamorphique (à faciès piémontais), c'est-à-dire de Antrona et de Zermatt-Bognanco, se reliant ensuite entre eux vers Antrona.

Fait suite à Sud du Massif du M. Rosa le synclinal mésozoïque à faciès profondément métamorphique de la Zone de Gressoney-Alagna-Bannio se couchant vers le Nord; de manière que la grande coupole anticlinale du M. Rosa, bien que moins régulière de celle du Grand Paradis, agit comme elle ainsi qu'un axe de soulèvement contre lequel se renversèrent des deux côtés les anticlinaux et les synclinaux latéraux.

Après cela la coupe arrive à l'immense anticlinal du grandiose Massif gneissique (que je crois on puisse individualiser par le nom de Dora B.-Sesia ou simplement de la Vallée de la Sesia) net-

tement renversé à peu près à S. O. Lui succède un grand synclinal, gneissico-micaschisteux, à couches fortement soulevées et comprimées, en partie renversées. On rencontre ensuite la belle formation siénitique du Val Cervo (Biellais), qui semble constituer un dérangement tectonique soit pour son mode d'origine que pour avoir opposé une résistance spéciale, très forte, pendant les formidables compressions orogénétiques, qui se succéderent plusieurs fois dans la Chaîne alpine à partir du Paléozoïque. On arrive enfin à une autre zone synclinale très compliquée, à couches fortement redressées, représentée dans la partie centrale par une caractéristique formation méla-phyrique (en continuation de la zone permo-triasique du Canavais), synclinal compliqué néanmoins par des fractures avec glissements tels de produire une notable interruption dans la série stratigraphique.

Quant à la région préalpine du Biellais il semble y exister un anticlinal irrégulier (dont la fameuse Zone dioritique de Ivrea-Locarno constituerait la jambe de N. O.), ainsi que paraîtrait l'indiquer soit la tectonique soit la nature granitoïde de la formation gneissique.

A partir des Préalpes de Biella la coupe se dirigeant à Sud montre que la Zone gneissico-granitoïde plonge au-dessous des formations quaternaires et pliocéniques, probablement recouvertes rapidement par la puissante série porphyrique du Paléozoïque supérieur et par les Calcaires mésozoïques analogues à ceux de la région insubrienne de la Lombardie.

Au-dessous de la plaine de Santhià existe probablement un petit anticlinal méso-cénozoïque ou seulement cénozoïque, relèvement des analogues de Canobbio à N. E. et de Turin à S. O.

Après avoir traversé la Plaine du Pô la coupe sectionne les réguliers et beaux anticlinaux qui donnèrent origine aux Collines de Turin-Casale, dernier prolongement occidental du ridement complexe de la Chaîne appenninique, et par conséquent du pli fort et compliqué (accompagné de déplacements) de terrains paléo-mésozoïques, qui donna naissance au typique Golfe de la Spezia.

Ensuite la coupe traverse le cœur du Bassin tertiaire du Piémont avec disposition dans l'ensemble de très ample synclinal, mais probablement ondulé en profondeur, spécialement contre le Massif cristallin de Voltri, avec bande crétacéo-éocénique, un peu analogiquement à ce qu'on voit dans la haute Vallée de la Scrivia.

Y succède le Groupe complexe de Voltri constitué par plusieurs ridements isoclinaux de la formation trias-liasique métamorphique, à Calcschistes et Micaschistes avec des intercalations énormes de Pierres vertes variées, spécialement de très nombreuses zonules amphibolico-prasinitiques en bas et de grands amas serpentineux vers le haut. Sur tout cela, déjà émergé et en conséquence extraordinairement abrasé à la fin de l'Eocène, on voit se disposer en discordance et presque horizontalement les typiques formations oligocéniques, qui à l'origine devaient recouvrir presque tout le Groupe de Voltri, naturellement quand déjà décapé par les agents extérieurs.

La puissante formation mésozoïque métamorphique du groupe de Voltri est analogue soit à celles des Vallées de Lanzo (auxquelles elle ressemble aussi par le fait qu'elle s'entasse en anticlinaux disposés à arc et appuyés à sud contre un Massif gneissique, de la Doire en un cas, du Savonais dans l'autre), soit à celles des Alpes Cottiennes (Mont Viso, etc.), auxquelles elle ressemble aussi beaucoup dans la disposition de tassement, à Sud et à Sud-Ouest, des plis de Mésozoïque métamorphique à faciès piémontais contre les rides du Paléo-mésozoïque de la Zone du Briançonnais, si développée en Ligurie dans le Groupe montueux de Settepani-Calizzano-Loano, etc.

Le Massif gneissique du Savonais, dit aussi Massif cristallin ligure, déjà bien étudié et récemment interprété par Rovereto, Argand, Termier, Boussac, etc., comme une région de nappes grandioses, de fenêtres, etc., me semble plutôt devoir être interprété, au moins schématiquement, comme résultant d'un pli anticlinal complexe, presque divisible en deux (en partie par la gran-

diose émergence granitique), de manière que dans les dépressions qu'en résultent purent s'insinuer les formations anthracolitiques et même quelquefois les mésozoïques. En effet sur et entre les Zones gneissico-granitiques et amphibolitiques à couches fortement redressées se disposent, très variablement, plus ou moins transgressivement, ou même sont englobés et comprimés, quelquefois avec renversement stratigraphique, les Schistes variés cristallins, appenninitiques, séricitiques, plus ou moins brunâtres, etc., de l'Anthracolitique, parfois même avec des lambeaux curieux de Calcaires et Calcschistes triasiques, comme dans la langue intéressante de Montenotte supérieur-Ormé, etc. et dans sa continuation méridionale, qui constitue la plaque résiduelle de Cima di Prato ou Bandite à Est de Cadibone.

Après avoir outrepassé le compliqué Massif de Savone, contre lequel les Schistes anthracolitiques s'appuient du côté méridional souvent en transgression (p. e. dans le Groupe de M. Baraccone) comme couches subhorizontales ondulées, parfois fortement redressées et même renversées (comme près de Morozzo), la coupe sectionne la puissante formation des Schistes cristallins variés du Paléozoïque supérieur, souvent plissottés et englobants des lambeaux de Calcaires triasiques avec le typique faciès Briançonnais. Cela doit se continuer au-dessous de la mer jusqu'à plonger au dessous des terrains jurassiques et éocéniques, ainsi que je l'ai dessiné idéalement en m'uniformant schématiquement à ce qu'on peut observer dans la proche région montueuse de Albenga-Calizzano-Finale. Ces plis sont en partie très fortement renversés vers la mer, à peu près, de manière que les synclinaux couchés de Calcaire compact du Trias appuyé sur les Schistes verts du Permien, donnent origine (par un processus tectonique analogue) aux promontoires de Bergeggi (avec son île), de Noli avec sa forme caractéristique et du Château de Varigotti.

#### **Coupe 5° (Plateau suisse sur Lausanne - Mt. Rosa - Novara - Montferrat - Golfe de Gênes).**

La coupe commence dans la vaste zone molassique du Plateau miocène à Nord du lac de Genève. Dans la Zone de Gurnigel elle rencontre bientôt les plis répétés, renversés, du Crétacé et de l'Eocène, auxquels, par des fractures avec glissements, se superpose la formation ridée mésozoïque, qui supporte un peu plus à Nord la typique plaque-conque crétacique du Moléson.

Une coupe correspondante dans les Préalpes romandes, à gauche de la vallée du Rhône, rencontrerait une belle série de plis mésozoïco-éocéniques plus ou moins fortement redressés, inclinés à N. O. entre la Vallée d'Illez et le Lac de Genève, au bord méridional duquel existe de même une importante ligne de fracture avec glissement; phénomène qui est aujourd'hui interprété généralement comme à rapporter à une immense nappe superposée à une très étendue formation éocénique, tandis que je crois plutôt qu'il s'agisse d'une formation enracinée, en place, mais très tourmentée par des plis et fractures avec forts glissements et chevauchements.

Dans les Préalpes moyennes, à droite de la vallée du Rhône, après avoir traversé plusieurs plis plus ou moins redressés (spécialement les jurassiques) on arrive à la grande Zone du *Flysch* de Niesen qui, avec ses différentes ondulations parfois même subhorizontales, je crois masquer des notables dérangements stratigraphiques en profondeur, ainsi qu'il en apparaît des proches formations mésozoïques.

Comme j'ai déjà indiqué, toute cette immense Zone de Préalpes, de Niesen, etc., comme celle du Chablais, etc. est actuellement retenue par les géologues les plus éminents comme une série de nappes charriées et d'origine lointaine. Je pense que cette interprétation soit quelque peu exagérée et qu'on puisse justement interpréter une bonne partie de ces formations en ayant recours à plusieurs fractures avec transgressions même très notables, spécialement dans la fameuse Zone des Cols (ou plusieurs complications tectoniques avec glissements extraordinaires ont forte-

ment embarrassé les géologues) tout en reconnaissant la présence de plusieurs lambeaux charriés, comme p. ex. celui du Chamossaire, qui forme une grande plaque mésozoïque s'appuyant sur le *Flysch* de Niesen.

Après avoir traversé la Zone très variée et très compliquée des Cols (que j'ai simplement schématisé dans la coupe) celle-ci entre dans une zone très intéressante de plis mésozoïques (avec couverture éocénique partielle) extraordinairement allongés, étirés, laminés, dentelés, digités, renversés complètement de façon à devenir subhorizontaux bien qu'ondulés, s'appuyant plus ou moins en discordance sur les plis redressés des Schistes cristallins (Massif des Aiguilles Rouges, Massif de l'Aar).

C'est le même phénomène de ultraplis qui est indiqué dans les coupes 4<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> et qui se présente plus ou moins continu de la Savoie à la Suisse centrale, formant une très intéressante aussi bien que spéciale Zone tectonique.

Si nous étudions avec attention le flanc droit de la vallée du Rhône, des alentours de Martigny jusqu'aux environs de Leuch, nous pouvons observer très bien le chevauchement et la superposition de nombreux ridements mésozoïques qui se renversent à N. N. O. ou à Nord d'une façon merveilleuse, comme d'immenses vagues géo-tectoniques s'abattant vers le Nord, par le manque de l'appui élevé et puissant des Massifs cristallins si marqués au contraire à Est (Aar) et à Ovest et S. O. (Aiguilles Rouges, etc.); phénomène qui rappelle l'analogie s'étant manifesté plus spécialement dans les terrains éocéniques de l'Embrunais (l. s.) dans la très ample zone libre laissée par la dépression située entre le Massif cristallin du Pelvoux et celui de l'Argentera.

Dans ces deux cas grandioses, comme en plusieurs autres analogues, la comparaison est assez naturelle de ces immenses phénomènes géo-tectoniques avec des vagues gigantesques de chevauchement répété et de déferlement relatif sur une extension extraordinaire.

La partie supérieure et partant plus libre de ces gigantesques vagues orogéniques est celle qui présente souvent des contorsions très variées, comme p. ex. dans les groupes fameux de Tours, Sallières, Dents du Midi, Dents des Morcles, Blümlisalp, etc.

Dans la coupe qui nous intéresse nous voyons que des ultraplis renversés et subhorizontaux en examen la partie antérieure (essentiellement crétacée-éocénique, y manquant la grande extension éocénique caractéristique de la vallée d'Illiez sur la gauche de la vallée du Rhône) correspond (p. p.) aux fameuses régions des Dents des Morcles et des Dents du Midi, tandis qu'en grande partie reste cachée (par insuffisantes incision et érosion) la formation jurassique, qui apparaît au contraire dans la région de Tours Sallières à Ouest, des alentours de Hauts de Cry à Est, etc.

Suivent les autres anticlinaux renversés, ou plis-nappes, du Groupe du M. Gond ou des Diablerets, de la côte du Cretabessa ou de Wildhorn, etc., jusqu'à ce que du fond de la vallée du Rhône nous voyons surgir d'autres anticlinaux renversés, soit de Permo-Trias, soit même de Schistes cristallins sur la gauche de cette vallée. C'est au prolongement, vers N. O., de ces plis enracinés dans la vallée du Rhône, couchés, très étirés, laminés, superposés, etc. que nous pouvons attribuer les plaques isolées lointaines du Chamossaire, etc., dues peut-être à des efforts orogénétiques intenses s'étant répétés plusieurs fois pendant le plissement alpin, et par conséquent à des étirements répétés et enfin à des détachements (même par érosion) de quelques parties antérieures de ces plis aussi étrangement couchés, allongés, étirés, parfois même fracturés, culbutés, etc.

Cette extension subhorizontale des plis mésozoïques couchés et très étirés entre la Zone des Cols et la Vallée du Rhône nous explique très bien la plaquette trias-liasique superposée subhorizontale aux Schistes cristallins subverticaux de l'Aiguille Rouge près du M. Bouet, ainsi que les phénomènes analogues, sur échelle variée, qu'on vérifie entre l'Arve et l'Isère près de Mégève, Crest Voland, etc. (Voir la Coupe 6<sup>e</sup>).

En outre cette étrange tectonique nous montre que les plis, même quand ils se relevèrent presque subverticaux ou fortement inclinés des étaux des zones paléozoïques profondes, purent vers le haut (en sortant de ces formidables mâchoires) se coucher rapidement et s'abattre jusqu'à devenir subhorizontaux et même inclinés vers le bas. Et alors ils purent aussi encore se prolonger très notablement dans une certaine direction quand les poussées de pression et de ridement orogénétique continuèrent à agir et à s'accroître.

En continuant la coupe à Sud-Est du Rhône nous voyons de suite combien soit variable l'allure stratigraphique d'une zone, même à peu de distance. En effet la Zone dite de Sion-Val Ferret et la connexe Zone houillère axiale, comme aussi la voisine Zone de Schistes cristallins du Grand-St.-Bernard, tandis que dans la vallée de Bagnes (alentours de Sembrancer) elles sont en couches fortement soulevées, dans leur ultérieur développement vers Est au contraire (alentours de Sion-Serre, etc.) elles montrent d'être aussi couchées, déprimées subhorizontalement et par conséquent extraordinairement allongées comme les formations mésozoïco-éocéniques des Hautes Alpes calcaires surindiquées.

En dérivent conséquemment les plaques paléo-mésozoïques bien connues de Bec de Bosson, Roc de Budri, Bella Tola, etc. superposées en ondulations subhorizontales aux Schistes cristallins de la Zone du Grand-St.-Bernard. Mais en continuant la coupe on voit très bien que ces formations subhorizontales vers S. E. (Evolène, Zinal, etc.) présentent bientôt des pentes très fortes, se compliquant aussi par des plis secondaires (comme celui qui, doux, constitue la curieuse coupole de Boussine et, fort, forme près de Evolène un étroit anticlinal permo-triasique couché) jusqu'à présenter une pente très forte dans le Groupe de la Dent Blanche.

Quant au Groupe ou Massif de la Dent Blanche je dois observer de suite que, tandis qu'aujourd'hui on l'interprète généralement comme une grande, immense nappe d'origine lointaine, méridionale, par le fait que s'y développent amplement les formations dioritico-kinzigitiques et calcaires-cristallines analogues à celles de la fameuse Zone d'Ivrea-Locarno, je crois au contraire qu'il soit à interpréter comme un Massif autoctone, ayant quelque analogie, spécialement lithologique, avec celui du M. Blanc. Il serait constitué par deux anticlinaux principaux, un plus grand occidental (en bonne partie granitoïde-archésinique passant et s'entrecroisant avec le Gneiss dit d'Arolla) un peu renversé à N. O. et un plus petit oriental renversé à E. S. E., se dédoublant en partie au point de resserrer en synclinal comprimé une zone irrégulière de calcaire triasique s'étendant entre les alentours d'Aoste et le haut Val Tournanche.

Entre ces deux anticlinaux principaux se développe en puissant synclinal, or étroit or un peu élargi, la spéciale et complexe formation gneissico-micaschisto-kinzigitique, avec fréquentes lentilles dioritiques et calcaires-cristallines, où est creusée en grande partie la Valpelline.

L'anticlinal oriental surindiqué, se renversant et s'étendant à Est, va à constituer, avec des plissements à zig-zag, la caractéristique pyramide du Cervin, qui nous présente par conséquent les formations compactes et tordues paléozoïques gneissico-micaschisteuses, parfois granitoïdes, superposées subhorizontalement aux formations mésozoïques calcschisteuses avec intercalations de Pierres vertes, ce qui nous explique la bizarre et caractéristique forme du Cervin ou Matterhorn.

C'est à un phénomène semblable qu'on doit la plaque micaschisteuse du M. Tantané ou Pillonet gisant isolée sur la puissante formation subhorizontale des Calcschistes avec Pierres vertes entre Valtournanche et Brusson. En continuant la coupe nous voyons, après avoir traversé les Hautes vallées du Marmor (Valtournanche) et de l'Evançon (Brusson), où la formation des Calcschistes avec Pierres vertes est si étrangement déversée, étirée et couchée en ondulations presque horizontales, que cette formation, en s'amincissant, entoure la partie méridionale (qui a forme de

calotte) du beau Massif du M. Rosa, dont la petite coupole gneissique d'Arceza, qui affleure à Sud près de Brusson, pourrait bien être un lointain prolongement.

La ceinture mésozoïque métamorphique de Gressoney-Alagna se présente en synclinal renversé vers le Nord, de façon à se coucher doucement sur les Gneiss menus du M. Rosa et à s'y superposer parfois en conséquence sous forme de plaques étendues, comme p. ex. celle de Pointe Stoffel - La Malfatta. Y fait suite la très puissante formation micaschisteuse, avec très ample noyau gneissique, du Massif allongé de la Vallée de la Sesia ou de Dora-Sesia; cette formation dans la Vallée de la Sesia, où passe la coupe, apparaîtrait presque comme un seul, grandiose, anticlinal renversé à S. E., tandis qu'un peu plus loin, dans le Biéllais, elle se montre plus compliquée et près de Balmuccia renversée au contraire à N. O.

Un phénomène de hyatus stratigraphique, en connexion probablement avec une fracture accompagnée de glissement, masque en partie la zone synclinale permotriassique, continuation de la Zone bien connue et typique du Canavais. Après quoi la coupe traverse la grande Zone kinzigitico-dioritique de Ivrea-Locarno se reliant étroitement aux Strona-Gneiss, comme ceux-ci à leur tour se relient aux zones gneissico-micaschisteuses ça et là encore dioritifères, parfois granitoïdes, qui englobent enfin les grandes et caractéristiques masses granitiques de la région subalpine.

Au dessus et contre cette zone, ample et compliquée, que j'ai schématisée dans un grand anticlinal, se dispose, transgressivement, la formation porphyrique étendue de la basse Vallée de la Sesia, couverte irrégulièrement à son tour par des lambeaux calcaires triasico-liasiques, dont les plus complets et typiques sont ceux du M. Fenera près de Borgosesia et de Sostegno-Castelletto; ces lambeaux nous indiquent la proximité de la ceinture calcaire mésozoïque et cénozoïque, qui ici est masquée par les terrains néogéniques, mais qui apparaît complète un peu plus à Est dans les régions subalpines de la Lombardie.

La coupe traverse ensuite le Bassin tertiaire (probablement ondulé) de la Plaine du Pô, obliquant à Sud après Novara pour trancher des régions plus intéressantes au point de vue géologique, c'est-à-dire les anticlinaux qui donnent naissance aux collines de Valenza-Casale et le Bassin tertiaire d'Alexandrie. Cette série tertiaire va s'appuyer transgressivement sur le Groupe de Voltri (contre lequel il y a probablement des plissements, plus ou moins intenses, des formations crétacéo-éocéniques) avec ses dépôts oligocéniques, qui s'étendent horizontaux sur les tranches érodées des puissantes formations mésozoïques, se développant irrégulièrement et avec des interruptions au-dessus d'elles jusqu'à la Mer Tyrrhénienne; cela prouve combien a été longue et intense l'action abrasive qui s'est vérifiée dans ces régions de l'époque jurassique jusqu'à l'oligocénique.

Le Groupe de Voltri apparaît comme étant constitué de quatre anticlinaux principaux représentés spécialement par des Micaschistes et des Calcschistes, probablement triasiques, avec Pierres vertes variées (amphibolitiques, prasinitiques, etc.), tandis que les synclinaux sont spécialement représentés par des amas puissants de roches serpentineuses et Pierres vertes connexes, probablement du Jura-liasique; le tout très comprimé, plus ou moins fortement redressé et s'appuyant à Sud contre le Massif gneissique du Savonais ou contre son prolongement oriental.

Après cela la coupe, encore prolongée au dessous des eaux de la Mer Tyrrhénienne, trancherait probablement la continuation orientale de la puissante et plissée formation anthracolitico-triasique (à faciès briançonnais) des Alpes Liguriennes jusqu'à la rencontre de la grande ceinture de la très puissante formation éocénique qui de la Province de Porto Maurizio je crois s'étendre à l'Appennin ligurien oriental.

### Coupe 6<sup>e</sup> (Jura - Grand Paradis - Savoie - Montferrat - Appennin ligure - Golfe de Gênes).

La coupe commence dans la région du Jura où apparaissent les typiques ondulations mésozoïques dérangées localement par des fractures avec glissement; dans les synclinaux plus orientaux existent encore des traces éparses des terrains miocéniques y ayant été déposés entre les synclinaux, presque comme entre des îles allongées, qui devaient rappeler celles de la côte dalmatique actuelle.

Après avoir traversé l'ample Bassin de Genève on rencontre le bel anticlinal renversé à N. O. du M. Salève, presque dernière et lointaine forte vague, occidentale, du ridement de la Savoie: ridement qui apparaît à Est comme un plissement varié de terrains jurassico-crétaciques et éocéniques, toujours avec prévalence du renversement vers N. O. souvent avec de curieuses apparitions de terrains plus anciens au milieu des plus jeunes par anticlinaux, plis à genouillères, gibbosités couchées ou autres qui émergent avec une spéciale stratification presque à feuilles d'oignon, ainsi qu'on le voit d'une façon plus spécialement typique à N. E. entre la haute vallée de Giffre et la Vallée d'Illiez, dans le Groupe étendu de Vildhorn, etc.

En arrivant au synclinal éocénique compliqué de Faverges-Thônes-Reposoir on rencontre, dans le relief trias-liasique des Annes, un des plus beaux et typiques exemples de lambeau ou nappe isolée et s'appuyant curieusement sur la formation éocénique; ce lambeau, comme le plus éloigné et analogue de Sulens, sont des résidus, aujourd'hui isolés, des phénomènes d'étirement et d'abrasion d'un charriage grandiose qui se présente encore plus marqué à N. E., ne touchant néanmoins pas (je pense) l'immense développement qu'on veut admettre aujourd'hui.

Avec le Groupe de la Tête Pelouse (correspondant à la Chaîne d'Aravis-Point Areu) la coupe montre, dans les terrains jurassico-crétaciques, les merveilleux plissements, ridements et renversements qui, plus à N. E., donnèrent naissance aux fameuses Dents du Midi, Dents des Morcles, etc.

Dans la région sectionnée l'Eocène n'apparaît pas, mais à l'origine il devait s'y développer presque comme une vaste mais mince couverture, ainsi que l'indique la proche région du Désert du Platé, où ce manteau éocénique est encore conservé en grande partie.

En traversant la région de Megève jusqu'au prolongement méridional du groupe du M. Blanc la coupe tranche les formations de façon que la série mésozoïque apparaît couchée, étirée et laminée d'une manière invraisemblable et anormale. Le phénomène est en partie réel, ainsi que l'ont déjà montré les importantes études de M. Bertrand et de Ritter sur le groupe du M. Joly et sur la bordure S. O. du M. Blanc, et ainsi qu'on peut aussi le constater directement dans les régions voisines de Haute Luce-Crest Voland, etc.; mais le phénomène tectonique apparaît aussi exagéré parceque la coupe rencontre les formations mésozoïques non orthogonalement mais obliquement à leur direction, ce qui fait que les laminations semblent plus étendues de ce qu'elles sont réellement.

En tout cas la coupe nous fait comprendre comment peuvent devenir intenses et étendus les étirements des anticlinaux couchés de façon à donner naissance parfois à des vraies nappes, même très éloignées de leur point d'origine, ou racine-nappes, qui, par des fractures et mouvements oro-tectoniques successifs, ou bien par érosion, peuvent être réduites aux curieux lambeaux isolés, qui furent si bien illustrés pendant ces derniers vingt ans, spécialement pour la Suisse. Des phénomènes un peu analogues à ceux indiqués peuvent aussi s'observer assez bien dans la partie occidentale et septentrionale du Groupe de l'Aar, dans l'Oberland bernois, etc., où on constate des merveilleux pincements de calcaires mésozoïques enchevêtrés et plissottés parmi les Schistes cristallins.

La coupe à travers la partie S. O. du groupe du M. Blanc nous montre les merveilleux aussi bien que nombreux pincements (schématisés dans le dessin) de Carbonifère, de Trias et de

Lias empêtrés parmi les plissements et les anticlinaux des Schistes cristallins laminés, le tout se renversant en haut vers N. O., ainsi qu'on peut directement l'observer dans la très intéressante région du Col du Bonhomme; ce qui fait que la structure du Mont Blanc (comme de la plus grande partie des Massifs cristallins alpins, Argentera, Pelvoux, Belledonne, Aar, etc.) apparaît bien autrement compliquée que non le fameux et classique éventail de A. Favre et d'autres.

Il faut noter que tandis que dans la bordure S. O. du groupe du M. Blanc la structure à nombreux plis isoclinaux peut se constater assez bien, dans sa partie centrale au contraire et de N. E. le phénomène de la granitisation se vérifia avec une telle intensité qu'il a masqué dans sa plus grande partie la stratification.

Contre le Massif si compliqué du M. Blanc, du côté oriental, s'entassent, se compriment et se soulèvent de nombreuses vagues de plissement des terrains trias-liasiques, avec faciès en partie de Schistes argilo-calcaires et en partie de Schistes lustrés (Zone de Sion); bien même la première vague orogénétique importante contre le Massif est si intense que bien que tassée, en viennent à affleurer même les terrains du Paléozoïque supérieur, ainsi qu'on le voit vers le Sud à la Pointe de Mya et vers le Nord au M. Chetif-La Saxe.

Après avoir traversé la puissante série anthracitifère de La Thuile, qui apparaît néanmoins si grandiose à cause de plis répétés (ainsi qu'on observe dans la coupe à travers la Savoie et la Maurienne), la coupe taille les Schistes cristallins (préféremment Micaschistes) du Groupe du Grand Assaly-Ruitor, qui fait partie de la zone dite du Grand-St.-Bernard, se continuant à Sud jusqu'au Groupe de la Vanoise, etc.

Au point de vue tectonique ce Groupe du Ruitor apparaît de type à allure hésitante ce que j'ai schématisé graphiquement comme structure à champignon, bien qu'y domine le renversement à S. O.; mais ensuite les plis isoclinaux, constitués de Schistes cristallins avec recouvrement de formations anthracolitiques et de Calcschistes mésozoïques, se renversent régulièrement contre et au dessus de l'immense Massif du Grand Paradis, en en résultant aussi orographiquement les trois vallées subparallèles de Grisanche, de Rhône et, en partie, de Savaranche.

Le Massif du Grand Paradis, essentiellement gneissique avec passages fréquents à la structure granitoïde, avec ses bancs grandioses, constitue la plus belle, typique, imposante, douce et régulière coupole anticlinale des Alpes, bien que présentant quelque analogie avec celle (plus compliquée et en partie masquée par la couverture néogénique) du Massif de Dora-Maira et celle (plus petite et moins régulière) du M. Rosa; tous les trois du reste représentant dans leur allignement presque l'axe géo-tectonique principal du plissement des Alpes Occidentales.

Contre l'immense coupole gneissique du Grand Paradis, avec l'intercalation d'un caractéristique synclinal (Chialamberto-Locana-Ronco Canavese) constitué par des Micaschistes et des Calcschistes avec plusieurs Pierres vertes du Mésozoïque inférieur (le tout renversé à N. O.) s'appuie un grand anticlinal complexe de schistes cristallins avec nombreuses lentilles amphiboliques et marmoréennes, constituant le Groupe du M. Soglio. Dans la coupe et dans la carte tectonique cet anticlinal est schématisé comme simple, mais il est probablement compliqué par des ridements ou par plusieurs anticlinaux, comme le ferait supposer son ampleur et aussi sa digitation à S. O. vers Corio-Lanzo, ce qui rappelle pourtant les digitations occidentales du Massif du Tessin.

La Zone synclinale du Mésozoïque, intensément métamorphique, de Locana est aussi très intéressante à cause de l'admirable passage (par alternances répétées, croisements, etc., de Micaschistes et Gneiss menus avec Calcschistes, Calcaires marmoréens, etc.) que la formation mésozoïque présente avec la très puissante formation gneissico-micaschisteuse de la vaste zone de Sesia-Lanzo; comme aussi par le fait que dans la partie supérieure de cette dernière formation apparaissent

près de Vaser les caractéristiques Stronalites graphitifères avec Calcaires cristallins et Diorites qui vers le S. E. présentent un développement tel de constituer la fameuse Zone dioritico-kinzigitique de Ivrea-Verbano. Et puisque des formations semblables, en positions analogues mais sur échelle encore plus grande, se développent entre la Vallée de la Sesia (Riva) et celle de l'Ossola (Piedimulera), il semblerait que cette Zone dioritico-kinzigitique (qui n'a rien à voir avec la zone des Pierres vertes, dans laquelle elle a été et est encore comprise par quelques auteurs) soit à rapporter au Paléozoïque supérieur.

La coupe après avoir tranché la typique formation anthracolitico-triasique dite Série ou Zone du Canavais (caractérisée par des Schistes et Jaspes bariolés avec Porphyres, Porphyrites, Tufs porphyriques, Granites pegmatitiques, Calcaires dolomitiques, etc.) entre sous la couverture néogénique (quaternaire et pliocénique) de la Plaine canavaise du Pô, au-dessous de laquelle existe probablement le prolongement souterrain de l'anticlinal gneissico-granitico-dioritique qui constitue les Préalpes de Biella.

Sur cet anticlinal, dirais-je, du Biellais doit s'appuyer plus ou moins transgressivement la série anthracolitico-triasico-liasique, un peu analoguement à ce qu'on peut directement constater dans la région préalpine ou zone insubrienne, du Biellais aux Lacs lombards.

Ensuite la coupe montre comment contre cet ensemble de formations plus ou moins cristallines et compactes de la Chaîne alpine et des Préalpes se constituèrent naturellement et à peu de distance (un peu analoguement à ce qu'on vérifie autour du lac de Comabbio) quelques vagues orogéniques façonnées à anticlinaux, assez forts et réguliers, qui donnèrent naissance aux Collines de Turin-Casale.

Dans la coupe suit l'immense dépression synclinale (qui pourrait néanmoins être ondulée en profondeur) ou région centrale du Bassin tertiaire du Piémont, où se déposa la puissante série cénozoïque clôturée par la fameuse couverture pliocénique de l'Astésan.

Cette Zone synclinale, qui contre la formation cristalline de l'Appennin septentrional doit probablement se plisser assez fortement dans sa série crétacéo-éocénique, au contraire dans sa série supérieure (oligo-miocénique) s'appuie tout-à-fait transgressivement sur la région montueuse dite Groupe de Voltri; ce qui nous prouve que celui-ci avait été déjà énormément incisé et érodé bien avant l'Oligocène, dont la mer (et par conséquent les dépôts) le recouvrirent en grande partie, nous en laissant encore des résidus épars dans les régions plus déprimées, c'est-à-dire où ils purent s'accumuler en plus grande quantité.

Dans la ligne de la coupe le Groupe de Voltri, constitué par la très puissante formation de Pierres vertes variées englobées parmi les Micaschistes et les Calcschistes (d'une façon analogue au Groupe du Mont Viso et aux formations de la Vallée de Lanzo), montre des grandioses anticlinaux dont le plus oriental est si accentué qu'il laisse apparaître les typiques Calcaires dolomitiques triasiques à Gyroporelles (Vollaggio-Sestri) fortement soulevés et même renversés.

Cet anticlinal trias-liasique dut subir probablement une fracture suivie par un fort glissement ou bien d'une autre manière un grand effondrement du côté oriental, si bien que contre cet anticlinal s'appuyent plus ou moins transgressivement, parfois comme un manteau irrégulier, les argiloschistes ophitifères de l'Appennin septentrional.

Cette formation des argiloschistes, que je rapporte au Crétacé métamorphique à cause de sa nature, fut puissamment incisée et érodée; d'où la dépression des Giovi et l'avancement des dépôts oligocéniques (Fiaccone, Savignone, etc.), résidus d'un développement originaire beaucoup plus étendu et reliant autrefois le Bassin adriatique avec celui tyrrhénien. Elle apparaît dans la coupe comme très puissante, ce qui est pourtant en partie exagéré par les plissements à grande

et petite échelle qui dans la coupe sont à peine schématiquement indiqués. Suivent dans la coupe les plissements répétés et bizarres, les contorsions, etc., qui apparaissent d'une façon splendide dans les mille coupes naturelles de l'Appennin génois, où les calcaires éocéniques sont empâtés de cent manières différentes entre les anticlinaux plissottés d'argiloschistes bruns ou bariolés.

Après quoi au promontoire de Portofino tout cela est encore recouvert par une puissante série de bancs conglomératiques de l'Oligocène et plonge enfin au-dessous des eaux de la Mer Tyrrhénienne, sous laquelle doit se développer en ondulations plus ou moins accentuées la série crétacéo-éocénique en continuation de l'Appennin de Chiavari-Sestri, etc.

### **Coupe 7<sup>e</sup> (Jura mérid. - Savoie - Groupe d'Ambin - Monferrat - Appennin ligure - Gênes).**

La coupe, se développant à S. E. de la vaste plaine de la Bresse, qui est un grand Bassin mio-pliocénique, commence directement dans la région du Jura méridional et se développe à travers la Savoie occidentale, montrant une belle série de plis isoclinaux renversés à Ouest et souvent étirés au point qu'il s'y est produit des fractures avec forts glissements.

Comme il est naturel dans les synclinaux plus bas (dans l'ensemble plus intérieurs à l'arc alpin, entre celui-ci et le Jura) ont pu se déposer et souvent se sont conservés encore aujourd'hui les terrains miocéniques; dans les synclinaux plus élevés au contraire (médio-alpins) ont pu seulement plus se déposer les terrains oligocéniques et éocéniques, comme dans la typique région des Deserts près de Chambéry; enfin dans les synclinaux tout à fait introalpines, comme dans la fameuse zone des Aiguilles d'Arves, nous trouvons seulement plus les dépôts éocéniques. Ces faits nous font presque assister aux successives pulsations orogénétiques et relatifs soulèvements de la Chaîne alpine de ses régions centrales à la périphérie, au cours de l'Ere cénozoïque.

En outre il est remarquable que ces différences et transitions se vérifient non seulement entre les différentes zones, procédant de l'intérieur à l'extérieur de la Chaîne alpine, mais parfois aussi dans des régions différentes d'une même zone; ainsi p. ex., les formations oligocéniques de la zone savoyarde de Chambéry - S' Pierre disparaissent vers le nord dans la Haute Savoie, s'y développant seulement plus les formations éocéniques; d'une façon analogue les formations éocéniques des Aiguilles d'Arves disparaissent à Nord de Moutiers, car les zonules schisteuses et bréchoïdes de Moutiers-Chapieux, bien qu'ayant été rapportées à l'Eocène, me semblent jura-liasiques.

Ces différences qui se répètent aussi souvent ailleurs en des conditions analogues, c'est-à-dire dans le développement d'une même zone, pour les terrains mésozoïques et les anthracolitiques, sont évidemment en rapport d'ordinaire avec les différences locales d'intensité dans le plissement et en conséquence du soulèvement des différentes zones dans les différents points de la Chaîne alpine.

La coupe taille ensuite le Massif de Belledonne formé par différents plis isoclinaux fortement soulevés et avec résidus pincés de Carbonifère et même de Mésozoïque. Bien que fortement tassés et subverticaux, il est probable que ces plis vers le haut (en sortant de l'étau qui agit plutôt en bas) se couchent et s'étendent vers O. N. O. un peu analoguement à ce que nous voyons se vérifier plus à Nord dans les régions de Beaufort-Flumet, où plusieurs anticlinaux de terrains mésozoïques se renversent justement vers Ouest allant recouvrir plus ou moins transgressivement (par puissante érosion avant ce phénomène) les terrains cristallins, sur lesquels ils ne forment plus aujourd'hui que des plaques isolées (par érosions successives), comme p. ex. celle de Crest Voland. Ces forts renversements à Ouest, environ, peuvent servir un peu à expliquer certaines nappes isolées comme p. ex., celle de Annes et de Sulens plus à Nord.

La Zone compliquée des Aiguilles d'Arves est constituée par des plis de Mésozoïque répétés, étroits et fortement soulevés, englobant encore des lambeaux éocéniques; le tout incliné légèrement

à Ouest et compliqué encore par des fractures avec glissements que j'ai laissé de côté dans la coupe schématique présentée.

Suit la très puissante série anthracitifère (Zone axiale du Briançonnais) qui forme dans l'ensemble un vaste anticlinal, très compliqué, écrasé en haut; de façon presque à accueillir en synclinal doux, élevé, des plaques étendues triasiques et trias-liasiques, comme celles de Croix de Verdon et de M. Jovet. Ce synclinal compliqué résulte de plusieurs anticlinaux (d'où l'aspect d'épaisseur extraordinaire bien plus grande du réel) renversés en partie (les extérieurs ou occidentaux) à N. O. et en partie (les intérieurs ou orientaux) à S. E., c'est-à-dire contre le Massif cristallin d'Ambin. C'est là une des nombreuses régions alpines où l'on voit clairement que les plis alpins ne sont pas seulement renversés vers l'extérieur de la Chaîne des Alpes, ainsi qu'actuellement plusieurs auteurs le croient, mais qu'ils se renversent or d'un côté or de l'autre selon l'impulsion plus forte reçue et selon la position du Massif cristallin principal contre lequel ils furent poussés.

Intéressant est le fait que dans le Massif de la Vanoise l'Anthracolitique se présente fortement métamorphosé, c'est-à-dire transformé en Schistes cristallins variés, analogues à certains *Casanna-schiefer*, constituant ainsi une des régions où on peut mieux examiner le processus métamorphique très avancé du Paléozoïque supérieur.

La coupe ensuite entaille le flanc septentrional du régulier Massif d'Ambin, dont la couverture est faite de formations micaphyllitiques certainement du Paléozoïque supérieur, recouvertes en partie par une puissante série quartzitique du Trias inférieur et par des plaques de Calcaires et Calcschistes.

La belle Zone de Mésozoïque métamorphique de la Vallée de Suse est tranchée de façon à apparaître comme un synclinal simple, tandis qu'au contraire peu à Nord y apparaît aussi un fort anticlinal couché à Sud (comme p. ex. dans le haut relief du Roche-Melon et dans la haute vallée de la Stura de Viù) contre la terminaison septentrionale du grand Massif gneissique de Dora-Maira.

Dans ce synclinal de la Vallée de Suse on observe des belles transitions lithologiques entre le Paléozoïque supérieur et le Mésozoïque métamorphique inférieur au moyen de Micaschistes, Quartzschistes, Calcschistes, Calcaires, etc. variablement entrecroisés.

Le Massif gneissique de Dora-Maira est entaillé par la coupe obliquement seulement dans son anticlinal septentrional, qui apparaît par conséquent schématiquement façonné en courbe très douce. S'y appuie la très puissante formation des Pierres vertes, coupée visiblement dans le relief de Piossasco, mais qui doit s'étendre beaucoup sous la plaine avec un ou deux anticlinaux; le principal correspondant à la grandiose zone de Lanzo-Sesia qui termine à Sud dans l'anticlinal de Ceres-Viù-Almese avec un énorme développement de Pierres vertes variées, parmi lesquelles on voit, comme en général, prédominer les amphibolitiques en bas et les serpentineuses en haut de la série mésozoïque.

Avant d'arriver à la zone tertiaire (prolongement souterrain méridional de la Colline de Turin) la coupe doit traverser les anticlinaux paléo-mésozoïques très comprimés et redressés (peut-être aussi fracturés, certainement avec forte transgression) qui représentent la continuation méridionale des plissements de la région subalpine de Lanzo-Ceres et spécialement de la grande zone gneissico-micaschisteuse insubrienne avec ses Amphibolites, ses Granites, etc.

La coupe traverse ensuite le Bassin tertiaire du Piémont, où, en outre d'un probable doux anticlinal, au dessous du vaste plateau de Poirino, comme prolongement méridional de l'anticlinal des Collines de Turin, y peuvent peut-être exister d'autres ondulations profondes que, dans l'incertitude, j'ai synthétisé schématisant simplement un doux, ample synclinal ondulé, qui recueille la puissante série oligo-miocénique de ce typique Bassin tertiaire.

Après avoir traversé ainsi le haut Astésan et les Langhe, sous lesquelles il y a probablement

quelques ondulations plus accentuées à cause du voisinage du Groupe cristallin de Voltri, la coupe arrive à ce Groupe, constitué par du Mésozoïque métamorphique à structure et tectonique assez compliquées, avec un énorme développement de Pierres vertes (comme dans les Vallées de Lanzo et au Mont Viso). Dans ce Groupe en suivant le critère soit de la Tectonique, qui se présente avec des couches très soulevées, soit de la Lithologie, c'est-à-dire en attribuant spécialement au Trias les formations micaschisteuses (ça et là même quartzitiques) qui englobent à plusieurs reprises des bancs ou lentilles amphiboliques, prasinitiques, etc. et en attribuant spécialement au Jura-Lias les formations où prédominent les Serpentes, etc., il résulte que ce Groupe est constitué de plusieurs anticlinaux assez accentués et écrasés.

Comme dans le Trias s'appuyant sur l'affleurement gneissico-granitique et appenninitique, paléozoïque, de Savone, apparaissent souvent les typiques bancs calcaires dolomitiques, ainsi dans le Trias de l'anticlinal redressé de Voltaggio-Sestri apparaissent de plus ou moins vastes zones de ces caractéristiques calcaires dolomitiques à Gyroporelles. Ce dernier anticlinal, oriental, du Groupe de Voltri est peut-être accompagné par des fractures avec glissement, car nous voyons qu'au-dessus s'entassent et même y pénètrent transgressivement les argiloschistes calcifères et ophitiformes, très tordus (que je rapporte au Crétacé), du système appenninique.

Enfin sur cette très puissante formation argiloschisteuse s'appuie, en ondulations répétées et tordues, la grande série des calcaires éocéniques des monts de Gênes, série que va s'immerger sous la mer tyrrhénienne en plissements variés et nombreux, ainsi qu'ils apparaissent dans le proche Appennin génois.

### **Coupe 8° (Valence - Dauphiné - Pelvoux - Briançon - Alpes Cottiennes - Turin - Vercelli).**

Elle commence à la bordure occidentale du Plateau central dans l'Ardèche, c'est-à-dire à partir du grandiose noyau cristallin rigide qui représente presque le squelette sur lequel s'est en grande partie constituée et modelée la France et contre lequel a buté le plissement arqué qui a donné naissance à la Chaîne alpine occidentale. La superposition du Méso-cénozoïque à la formation cristalline est plus ou moins transgressive, bien que dans la coupe je l'aie schématiquement indiquée comme dans l'ensemble assez concordante.

Ayant traversé la grande dépression de la Vallée du Rhône (l. s.) nous voyons surgir presque tout d'un coup des dépôts néogéniques les terrains mésozoïques, ceux-ci souvent commençant à apparaître avec un fort anticlinal ou genouillère, parfois même déversé ou compliqué par des fractures avec glissements.

Après une série d'ondulations douces de la série mésozoïque, très puissante entre la Vallée du Rhône et celle du Drac, nous voyons apparaître une ride plus élevée qui fait déjà surgir aux alentours de La Mure (ainsi qu'une continuation déprimée méridionale de la Chaîne de Belledonne), entre les puissantes formations jura-liasiques, les schistes carbonifères cristallins exploités en plusieurs endroits de façon à y constituer un petit centre minier.

Ensuite, le plissement s'intensifiant de plus en plus, comparaisent entassés en plis subparallèles (avec seulement plus quelques lambeaux ou pincements de Trias-Lias dans la continuation méridionale du Groupe des Grandes Rousses) les puissantes formations cristallines, gneissico-granitiques et micaschisteuses, qui constituent le Groupe élevé, complexe et grandiose du Pelvoux, rappelant dans son ensemble un peu celui de l'Argentera tant par la tectonique que par la constitution lithologique, en laquelle il faut noter les grands développements de roches granitiques.

Entre la région de la Mure et le Briançonnais la coupe traverse :

1° l'ample synclinal mésozoïque (souvent fortement ridé et plissé) de La Mure-Valbonnais ;

2° le synclinal complexe de Bourg d'Oisans, qui se digite vers le Sud de façon qu'en outre de l'ondulation déprimée de la Côte de Loze d'Aine, il en constitue un autre, c'est à dire le:

3° synclinal très étroit, trias-liasique, à couches subverticales, de Le Désert-Villard.

D'autres synclinaux suivent qui dans la ligne de la coupe (par la puissante abrasion survenue) ne montrent plus trace du Mésozoïque qui devait néanmoins y exister sous forme d'insinuations ou de pincements, ainsi que l'indiqueraient certains lambeaux trias-liasiques encore résidus à Nord ou à Sud, comme, pour le 4° synclinal, ceux de Jandri-St. Christophe-Rif le Sap, et, pour le 5° synclinal, les lambeaux du Col de la Lauze.

Le 6° synclinal est moins évident à cause de l'extension et de l'intensité du phénomène de granitisation des formations cristallines, qui ont perdu ainsi plus ou moins leur schistosité ou stratification; si bien que nous voyons çà et là (spécialement dans les zones de synclinal, c'est-à-dire supérieures, au point de vue stratigraphique) des zones de Schistes cristallins gneissifiés mais non granitisés, même fortement soulevés, presque superposés aux zones granitiques, comme p. ex. (pour le 5° synclinal) dans les Cîmes de Clot Chatel à Sud et des Cîmes de Plaret-Tête de Rouget à Nord de la coupe, et pour le 6° synclinal dans les hautes régions du Glacier Blanc et même dans les Dents du Pelvoux. C'est du reste en partie à cette granitisation intense que nous devons le fait que le 7° synclinal, très pincé, triasique, qui traverse la Vallée de l'Aile Froide (à un Km. environ à Ouest de Les Claux) est compris entre les formations granitiques.

Des phénomènes semblables s'observent dans les groupes analogues (qui forment le même grandiose et complexe ridement alpin) de l'Argentera, du M. Blanc, de l'Aar, etc.

A Est du Massif gneissique du Pelvoux et contre lui (avec la séparation d'une zone de fractures, compliquées de glissements) s'entassent en forts plis laminés (çà et là de même fracturés, avec l'accompagnement habituel de glissements, et généralement renversés vers le Massif cristallin) les formations de la série mésozoïque terminant par l'Eocène, constituant ainsi dans l'ensemble le Groupe compliqué autant qu'intéressant de Condamine-Eychaude. Ce Groupe a été très soigneusement étudié par Termier (*Les Montagnes entre Briançon et Vallouise*, 1903), qui l'interprète pourtant d'une manière un peu différente de ce qu'il semble à moi et que j'ai à peine schématiquement indiqué sur la coupe; ce qui fait que la théorie des nappes, des charriages extraordinaires de plusieurs dizaines de Km., etc., sur laquelle Termier fonde en partie son interprétation, ne me paraît pas acceptable, tout en admettant un partiel renversement (de quelques Km.) des formations mésozoïques contre et sur le Massif du Pelvoux avec le conséquent recouvrement des dépôts éocéniques pincés en synclinal couché vers et au-dessus du Massif.

Après l'ample vallée de Briançon, qui correspond à un grand anticlinal complexe érodé (qui fait apparaître très développées les formations permo-anthracitifères du Carbonifère avec les intéressantes inclusions dioritiques), la région dorsale de la Chaîne alpine montre immédiatement, au point de vue lithologique, un grand développement des Calcschistes avec un puissant amas de Pierres vertes (Diabases, Variolites, Serpentes, etc.) et, au point de vue tectonique, un plissement compliqué avec une sorte d'incertitude dans la direction de renversement des plis.

La zone entre Briançon et Césane présente de nombreuses fractures avec glissements et repliements (comme les typiques ayant provoqué le fort relief du Chaberton) qui ont été récemment étudiés par Franchi, Kilian et Pussenot, mais que j'ai dû simplifier comme d'habitude en les schématisant à cause de la petitesse de l'échelle des coupes. J'observe comment en cette région on doit probablement rapporter au Mésozoïque certains schistes parfois crus éocéniques parce qu'ils rappellent le *Flysch*.

Après cette zone à tectonique presque hésitante on voit bientôt, en continuant la coupe, pré-

dominer le renversement vers Est, ce qui fait que, sauf l'anticlinal relativement régulier des calcaires triasiques du Grand Roc, les plis, en grande partie constitués par la pile très puissante des Calcschistes, se couchent vers l'Est, c'est-à-dire vers la Plaine du Pô.

Mais quand la coupe géologique traverse les monts gneissico-micaschisteux du Pignerolais, spécialement de la Vallée du Chisone (l. s.), nous pouvons y constater le phénomène intéressant que ces formations font graduellement un demi-tour, constituant ainsi un semi-ellipsoïde, opposé à celui du Saluçois, si bien que dans l'ensemble on a un ellipsoïde splendide (le Massif de Dora-Maira) qui malheureusement est aujourd'hui en grande partie masqué par son relatif effondrement accompagné soit d'une puissante érosion exogène soit d'un grandiose recouvrement néogénique.

De toute manière la coupe géologique taille cette grande formation cristalline de façon que (analoguement mais plus simplement de ce qu'on vérifie dans le fameux Groupe du Simplon) les anticlinaux qui entourent l'axe de l'ellipsoïde (ou anticlinal central), qu'on pourrait appeler de la Rocca de Cavour - M. Bracco, se présentent renversés en sens opposé l'un à l'autre ainsi que je l'ai dessiné schématiquement.

Cette région est rendue encore plus intéressante par le fait du développement des Graphites avec, par endroits, même des zonules anthracitiques parmi les Schistes gneissiques (parfois mollièresitiques) à aspect archaïque causé par leur métamorphisme intense, tandis que par leur nature charbonneuse et caillouteuse ils semblent plutôt à rapporter à l'Anthracolitique.

La formation anthracolitique présente du reste des phénomènes un peu analogues (bien qu'avec un métamorphisme beaucoup moins cristallin) dans les vastes zones (anthracitifères, mais parfois aussi graphitifères et çà et là caillouteuses, anagénitiques) du Briançonnais, où il y a aussi des affleurements dioritiques, qui, bien que différents, rappellent certaines formations dioritiques qui accompagnent les zones gneissico-micaschisteuses des monts du Pignerolais, nous faisant penser qu'il y ait peut-être quelque connexion génétique entre les deux formations.

Suivant la loi presque générale que contre les plus grands anticlinaux s'entassent souvent les plus petits, la coupe géologique montre que, contre l'anticlinal gneissique couché, ample (peut-être complexe, ainsi que l'indiqueraient quelques zonules graphitiques qui y sont intercalées) du Groupe du M. Freidour ou, plus largement, de Freidour-Saluces, se présente l'étroit, comprimé et redressé anticlinal de Cumiana-Coazze etc. et, vers Sud, de Costigliole Saluzzo-Mont St. Bernard.

Entre l'anticlinal du Freidour et celui, plus septentrional, de la Dora ou du Sangone, se trouve un étroit synclinal micaschisteux graphitifère qui, s'élargissant ensuite vers Ouest, reçoit presque en cuiller d'une façon très curieuse et un peu complexe, la formation calcschisteuse avec lentilles puissantes de Pierres vertes (Euphotides, Serpentes, Prasinites, etc.) qui constituent le relief abrupt du Rocciavré-Orsiera.

À ces anticlinaux gneissiques du Pignerolais s'appuie finalement la zone des Micaschistes et Calcschistes fortement soulevés, parfois même un peu renversés et plissés, englobant la puissante et complexe formation des Pierres vertes (Prasinites, Serpentes, Périodolites, etc.) qui constituent les abrupts éperons rocheux de Piosasco.

En voulant suivre idéalement le développement ultérieur de la coupe géologique au-dessous de la Plaine du Pô, nous pouvons imaginer que la grande formation des Pierres vertes s'y développe amplement en liaison avec les correspondantes et non éloignées zones analogues émergées à Nord, c'est-à-dire des Vallées de Lanzo, et par conséquent aussi en forme de synclinaux séparés par des anticlinaux formés en majorité par des Calcschistes passant aux Micaschistes et autres Schistes phylladiques analogues, ainsi qu'on observe dans le typique anticlinal de Almese-Viù-

Ceres et dans les anticlinaux étroits de Lanzo-Rivara. En outre il doit y paraître un anticlinal assez important (bien qu'ici très serré et comprimé) qui provient, dirais-je, de la grande Zone gneissico-micaschisteuse insubrienne. Il faut remarquer qu'une constitution lithologique et tectonique très analogue se vérifie entre les zones de Viù-Corio et celles de Voltri-Campomorone, etc., ce qui semble nous prouver l'étroite connexion génétique, chronologique, etc., des deux formations, bien qu'elles soient assez éloignées.

Contre toutes ces formations anciennes, paléo-mésozoïques, cristallines par intense métamorphisme, s'appuient directement les terrains tertiaires qu'on voit constituer les proches Collines de Turin.

Bien mieux la très grande proximité, souterraine, que j'ai supposé (Voir la Carte géologique) de ces formations paléo-mésozoïques à grand développement de Porphyres, Granites, Pierres vertes et autres roches semblables si répandues dans les Préalpes piémontaises actuelles dont ils seraient la continuation turinoise, dirais-je, en outre probablement avec des affleurements étendus et une ceinture ou manteau d'argiloschistes calcarifères crétacés et éocéniques (d'une façon un peu analogue à ce qu'on vérifie dans la zone appenninique de Gènes-Voltaggio) expliquerait plusieurs faits, ainsi:

1° La rapide déviation, dans la Colline de Chivasso, de la direction de l'axe tectonico-orographique des Collines d'Alexandrie-Casal-Turin; axe qui est premièrement dirigé de SE à NO, comme l'axe général de l'Appennin (dont les Collines de Turin sont le dernier prolongement septentrional) et qui ensuite brusquement devient de NE à SO à cause justement du choc, dirais-je, de cet axe appenninique contre les prolongements alpins souterrains, d'une façon un peu analogue à ce qu'on peut observer directement dans les Préalpes à Sud du Lac Majeur.

2° La puissance énorme (plusieurs milliers de mètres) de la pile oligo-miocénique des Collines de Turin; parce qu'elles ont été justement une région littorale où les grands courants fluviaux, qui descendaient des étendues et élevées régions montueuses environnantes, y charriaient un immense matériel détritique.

3° L'extraordinaire abondance, dans les dépôts à graviers et cailloux de ces Collines de Turin-Casal, etc., non seulement de Pierres vertes variées analogues à celles des régions alpines qui leur font face, mais aussi d'éléments granitiques, porphyriques, dioritiques, calcaires, etc., analogues à ceux des lointaines régions préalpines d'Ivrée, du Biellais, de la Sesia, etc., dont la continuation vers S. O. c'est-à-dire vers Turin (masquée aujourd'hui par la puissante couverture néogénique), devait autrefois être libre et par conséquent abrasée avec intensité spécialement pendant l'Oligocène et une bonne partie du Miocène. Si bien que la nature des cailloux dans les terrains tertiaires en question varie parfois non seulement de place en place, mais même dans une même région avec la succession de la série sédimentaire. Ainsi p. ex. dans les Collines de Turin abondent extraordinairement (au point de servir comme pierre à chaux) les cailloux de Calcaire *alberese* et aussi de Porphyres et de Granites dans les formations aquitaniennes, tandis qu'ils deviennent très rares dans les formations helvétiennes superposées; ce qui naturellement nous indique la progression de l'érosion et du recouvrement d'aires premièrement élevées et émergées.

4° L'étrange mélange que parfois on vérifie dans les mêmes bancs caillouteux d'éléments alpins (Gneiss, Granites, Porphyres, Pierres vertes, etc.) et d'éléments appenniniques (Calcaires *alberesi*); les premiers généralement un peu plus roulés que les seconds et ce à cause d'une fluctuation plus prolongée. Justement par le fait que les formations dites appenniniques se poussaient alors en plis plus ou moins soulevés et émergés jusqu'aux régions turinoises, où elles se rencontraient avec les alpines, qui y émergeaient aussi, et toutes de même en voie d'abrasion, d'où la

commixtion curieuse que nous trouvons aujourd'hui de leur différents matériaux dans les mêmes dépôts oligo-miocéniques.

La coupe enfin termine par plusieurs ridements des Collines de Turin-Casal, c'est-à-dire par le caractéristique anticlinal (qui étant entaillé obliquement semble doux, tandis qu'en réalité il est très fort) qui fait émerger la typique série oligo-éocénique de Gassino, et ensuite par les anticlinaux plus dérangés (à couches même subverticales, comme près du Pô à Trino, etc.) de Lauriano-Brusasco, qui avec leurs forts plis laissent même voir les schistes argileux à type crétacique, à faciès nettement de l'Appennin septentrional.

Suit la grande dépression du Bassin lombard (au-dessous de la plaine de Vercelli-Novara, etc.) que j'ai dessiné schématiquement comme régulière, bien qu'il soit probable qu'elle présente aussi des ondulations aujourd'hui complètement masquées par les puissants dépôts néogéniques.

### **Coupe 9<sup>e</sup> (Provence - Basses Alpes - Alpes Cottiennes - Collines de Turin - Novara).**

La coupe commence, en Provence, dans la basse vallée de la Durance par le pli qui donne naissance à la Montagne de Luberon et se poursuit à travers le plan incliné de Apt-Volonne à couches de calcaires crétaciques peu accidentées (néanmoins dans le détail souvent fracturées et un peu dérangées) sur lesquelles s'étalent les formations éocéniques à type plus ou moins lacustre et, un peu à Nord, la formation oligocénique à type marin-littoral, passant parfois vers le haut au type fluvio-lacustre. C'est là une série fameuse en Paléontologie pour les régions ou formations bien connues de Mérindol, Sainte-Radegonde près de Apt, Gargas, Céreste, Manosque, Cucuron, Cabrières, etc.

La coupe taille ensuite le prolongement oriental de l'anticlinal qui dans la Montagne de la Lure se présente très fort et même accompagné par de notables failles, formant souvent un vrai champ de fractures, avec des déplacements plus ou moins forts, bien que dans la région coupée cette formation calcaire du Crétacé semble à allure plus douce et régulière.

Après avoir retraversé la Durance entre Sisteron et Volonne et tranché le beau et typique sinus oligo-miocénique de Digne (l. s.), la coupe entre tout d'un coup (par un pli-faille accompagné d'un très fort glissement tectonique) dans une très vaste zone de puissantes formations jura-liasiques, crétacées et éocéniques très ridées en plis plus ou moins inclinés, plusieurs accompagnés par des fractures avec glissement qui font apparaître les calcaires triasiques, d'autres si élevés qu'y affleurent même les terrains carbonifères, comme dans l'intéressante région de Barles dans la vallée de Bès, d'autres au contraire si déprimés qu'ils accueillent encore des dépôts oligocéniques, comme dans la conque de Feissal.

Dans la région compliquée de Barcelonnette (l. s.) la formation éocénique, extraordinairement étendue et puissante, se présente souvent plissée et tordue d'une façon merveilleuse, ce qui s'accorde avec les étranges apparitions isolées d'affleurements triasiques limités, par des plissements compliqués avec glissements extraordinaires, etc.; faits que dans la coupe j'ai indiqué d'une manière simplement schématique.

C'est sur les formations éocéniques à S. O. de Barcelonnette qu'on voit une des plus belles nappes-lambeaux, celle de Séolane qui pose comme un gigantesque chapeau de calcaires jura-liasiques sur les schistes nummulitifères ondulement inclinés à N. E., comme montre la coupe qui pourtant ne passe pas par le point d'origine de cette nappe. Dans la coupe j'ai indiqué schématiquement une grande faille avec très fort glissement, faille compliquée et multipliée qui a une grande importance pour expliquer plusieurs des phénomènes très étranges de l'Embrunnais et que je crois être en relation avec la grande faille de Col Tanarello - Col de Tenda-V. Stura - Col de l'Argentera, etc.

Ensuite la coupe traverse la Chaîne alpine de la vallée de l'Ubaye à la vallée du Pô, nous montrant une série de plis plus ou moins couchés vers E. N. E., c'est-à-dire presque à l'envers de ce qu'on vérifie dans la région française indiquée plus haut. En attendant les formations à faciès typique, faciès qu'elles ont encore dans la région du dorsal alpin, prennent rapidement la physionomie, dirais-je, piémontaise avec le développement des Calcschistes englobant l'énorme, puissante et complexe formation des Pierres vertes du Mt. Viso.

En même temps les synclinaux qui sur la crête des Alpes conservent encore des lambeaux de terrains crétaciques et éocéniques, vers le Piémont englobent seulement plus des formations trias-liasiques et enfin, près de la Plaine du Pô, seulement plus des Schistes cristallins graphitiques probablement du Carbonifère; ce qui nous montre que le grand géosynclinal correspondant aux formations des Schistes lustrés du Piémont s'était déjà un peu plissé et soulevé quand encore existait le grand synclinal éocénique de l'Embrunnais (l. s.).

C'est-à-dire que la coupe suivie jusqu'à maintenant nous fait assister à la constitution de trois vagues orogéniques grandioses qui procèdent dans l'ensemble de l'intérieur à l'extérieur de la chaîne alpine; c'est-à-dire la première ou de Dora-Maira (à la fin du Mésozoïque) qui commença le plissement et l'émergence de la Chaîne alpine piémontaise (région qui fut pendant si longtemps une profonde dépression marine); la seconde (à la fin de l'Eocène) qui fit commencer le plissement et par conséquent l'émergence de la région de l'Embrunnais, déjà sinuosité marine bien étendue; la troisième (à la fin du Miocène) qui produisit l'émergence de la région provençale (l. s.), déjà zone très vaste de basse mer et de marécages pendant l'Oligocène et le Miocène.

En suivant idéalement la coupe géologique au-dessous du grand manteau de la Plaine du Pô qui masque presque complètement (sauf les émergences de la Rocca di Cavour, de Monte Bruno, de Bricherasio, etc.) le Massif gneissique de Dora-Maira, rongé et déprimé, nous pouvons imaginer qu'après le doux anticlinal central dont nous trouvons les lambeaux dans le M. Bracco e la Rocca di Cavour, se répètent les plis anticlinaux, renversés environ à Ouest (c'est-à-dire à l'opposé de ceux de la région des Alpes Cottiennes située en face) de façon à se relier avec les plis couchés analogues qui constituent les monts du Saluçois à Sud, et du Pignerolais-Vallées de Suse et de Lanzo à Nord. Ces plis imaginés sont aujourd'hui invisibles soit à cause de l'érosion énorme subie par leur partie supérieure à partir du Mésozoïque, soit parcequ'ils sont masqués par les puissants et vastes dépôts du Cénozoïque et du Néozoïque, soit par affaissement.

Ces plis couchés, schématiquement et idéalement reconstruits dans la coupe, analogues à ceux indiqués pour la Coupe 3<sup>e</sup>, seraient premièrement en grande partie gneissiques avec les Schistes cristallins graphitiques qui y sont superposés et enchevêtrés; ils seraient constitués ensuite, dans leur partie supérieure, par la puissante formation mésozoïque des Calcschistes qui englobent des énormes zones de Pierres vertes comme dans les analogues formations du M. Viso, des Vallées de Lanzo et du Groupe de Voltri, qui je pense soient reliées étroitement entre elles dans les régions souterraines plus ou moins profondes en question.

Enfin la coupe doit rencontrer, plus ou moins profondément, les anticlinaux paléo-mésozoïques, qui représentent la continuation, très amaigrie et profonde, des grandes zones cristallines du bas Canavais (avec la fameuse Zone permo-triasique du Canavais) et de la Zone insubrienne; c'est contre ces plis rigides cristallins que doivent venir à buter et à se relever les terrains tertiaires du Piémont.

Suivent les différents plis qui donnèrent naissance aux Collines tertiaires de Turin-Casal et qui se continuent encore pour un certain temps au-dessous de la Plaine du Pô, ainsi que l'indiquent les petits affleurements éocéniques (à couches subverticales) mis çà et là à découvert par les eaux du Pô, comme peut-être en partie aussi le relief isolé, pliocénique (p. p.), de Montarolo.

---

## GEOLOGIE APPLIQUÉE

---

La Chaîne des Alpes qui, il y a deux siècles, était considérée presque comme une région effrayante et maudite, si elle se présente en réalité sur de vastes extensions stérile, sauvage et non utilisable, offre néanmoins aussi plusieurs qualités productives très importantes, en commençant par former une précieuse région à spéciales et abondantes précipitations atmosphériques et par conséquent une naturelle et immense accumulation de forces hydriques, qui, transformées et utilisées de différente façon, représentent une partie notable de la richesse agricole et industrielle des régions environnantes de plaines étendues et très importantes.

Nous donnerons sur ce sujet un rapide aperçu en renvoyant pour ce qui a rapport aux Alpes liguriennes et à l'Appennin septentrional à l'ouvrage que j'ai publié en 1904 sur la « *Geologia applicata dell' Appennino* ».

Quant à la **Morphologie** ou **Orohydrographie** son étroit rapport avec la constitution lithologique et la tectonique est souvent très évident dans les Alpes Occidentales. Rappelons, p. ex., l'âpreté générale des Massifs cristallins, âpreté qui est un peu adoucie, soit par l'architecture à coupole (le Groupe d'Ambin par exemple) ou à plis renversés subhorizontaux (p. ex., dans les monts de Pignerol-Saluces), néanmoins avec des incisions vallives souvent étroites et encaissées, à parois escarpées; soit par la fréquence des Schistes peu résistants plus ou moins micacés; âpreté qui culmine au contraire avec les plus fortes aiguilles dans les Massifs, dits hercyniens (type le Groupe du Mt. Blanc), des zones extérieures si fortement ridées et soulevées en plis sub-verticaux.

Un peu analogues (par l'âpreté et la forme hardie des reliefs, les étroites vallées, etc.) sont les caractères morphologiques présentés par les affleurements des Pierres vertes en général, soit anciennes soit jeunes, ainsi qu'il en apparait spécialement bien au Mont Viso, dans l'Orsiera au-dessus de Fenestrelle, au Civrari au-dessus de Condove et en général dans les régions escarpées des Vallées de Lanzo, du Groupe de Voltri, comme aussi du Mt. Penna dans l'Appennin ligure. Naturellement les vallées qui traversent les formations mésozoïques métamorphiques présentent des contrastes très forts entre les zones schisteuses (où ces vallées s'élargissent avec des régions ondulées, plus ou moins douces et déprimées dans l'ensemble) et les zones à Pierres vertes où les vallées s'étreignent en couloirs encaissés, très favorables à l'établissement de barrages pour réservoirs.

Après de même, mais bien autrement façonné à gradins, couloirs, parfois à tours et ruines grandioses, avec de nombreuses grottes, etc. est le paysage des formations calcaires et dolomitiques, spécialement si à grands bancs comme on le vérifie pour le Trias le Jura et pour quelques

formations du Crétacé; voir p. ex. le paysage des Alpes dites calcaires, soit méridionales soit septentrionales, avec parfois d'amples talus d'éboulis dans les Hautes Alpes. Dans ces régions calcaires se développe souvent le typique paysage carsique, ainsi que p. ex. dans le Groupe du Marguareis (les *Carsene*) dans les Alpes Maritimes.

Il faut en outre noter que les contorsions, les plissements et autres dérangements stratigraphiques ont leur contrecoup sur la forme orographique en l'accentuant d'une façon très marquée, ainsi que nous le voyons p. ex. au Cervino pour les terrains cristallins, aux Dents du Midi, aux Dents des Morcles, etc. pour les terrains calcaires.

Les vallées correspondent souvent à des zones de synclinaux plus ou moins compliqués et connexes avec des fractures accompagnées de glissements, transgressions ou hiatus stratigraphiques et autres phénomènes semblables de Géo-tectonique combinés avec la différente nature lithologique; ainsi p. ex. une partie de la Vallée de la Stura de Coni et de la Vallée du Var, la haute Vallée de la Dora au-dessus de Courmayeur, la Vallée de Chamonix, la haute Vallée du Rhône en amont de Martigny, la Valtelline, etc.

Très fort est le contraste qui existe généralement entre les formes ondulées et déprimées de certaines régions constituées de *Flysch* éocénique et les âpres reliefs calcaires, soit des affleurements de calcaires mésozoïques, ce qui est très fréquent (voir p. ex. les alentours du Col de Tenda), soit aussi des lambeaux isolés de Mésozoïque superposés par phénomènes de charriage ou autres; je rappelle p. ex. les lambeaux de Séolane près de Barcelonette, de Sulens et Annes en Savoie, les *Klippen* du Val d'Illye, le Chamossaire dans le Valais, etc.

Des contrastes orographiques analogues présentent les formations calcaires (p. ex. dolomies triasiques et calcaires éocéniques) ou gréseuses (*Macigno* éocénique) ou sableuses (sables jaunes du Plioc. sup.), superposées plus ou moins régulièrement à des formations schisteuses relativement tendres (Schistes de l'Anthracolitique, Argiloschistes ou Argiles écailleuses, Marnes pliocéniques, etc.).

Bien plus doux au contraire est le paysage plus ou moins déprimé, ondulé, un peu uniforme, à cols bas déprimés, à larges vallées, etc., qui se développe spécialement dans: les formations micaphyllitiques du Paléozoïque supérieur; les schistes marneux-argileux du Trias et du Lias; les formations spéciales dites *Bundnerschiefer*, Schistes lustrés, Calcschistes, Argiloschistes, etc. du Mésozoïque métamorphique; les étendues formations marneuses du Jurassique et du Crétacé (d'autant plus si ondulées comme dans le Jura, dans les chaînes subalpines du Dauphiné, dans le Gapençais, dans la Provence, etc., ou bien si très marneuses, comme p. ex. dans l'ample bassin d'érosion du Barcelonette); le *Flysch* de l'Eocène, etc., sans parler des terrains du Cénozoïque moyen-supérieur, qui par la nature peu compacte des matériaux reliée à la tectonique généralement peu accentuée, donnent naissance aux doux paysages de l'Astésan, des Langhe, du Plateau suisse, du Bas Dauphiné, etc., ou bien à des régions labyrinthiques par l'érosion et l'incision des terrains marneux, comme en certaines régions crétaciques des Préalpes extérieures, en certaines zones oligo-miocéniques du Bassin piémontais méridional, etc.

Caractéristique est enfin le paysage glaciaire (Desor), c'est-à-dire des terrains morainiques, ondulé, irrégulier, avec blocs erratiques épars, etc.

Il faut encore observer que si les formations argiloschisteuses indiquées plus haut donnent naissance à des zones douces et déprimées, elles sont d'un autre côté les plus exposées aux éboulements, qui sont par conséquent un obstacle grave à la viabilité et à l'agriculture, en rendant souvent désertes des régions qui en apparence sembleraient devoir être des plus habitées, comme p. ex. de vastes étendues d'Argiles écailleuses de l'Appennin septentrional.

Très connu est de même dans les Alpes le contraste entre le paysage des arides régions rocheuses du squelette montueux et celui des plaques ou des terrasses doucement ondulées de nature morainique (paysage morainique), qui recouvrent si fréquemment et sur de si vastes étendues les flancs des vallées alpines, sans parler des dépôts lacustres ou fluvio-alluvionaux ou d'éboulis, etc., qui portent le paysage de plaine, spécialement au fond des vallées, jusqu'au cœur de la Chaîne alpine. Quelque chose d'analogue on observe dans le Jura, où les boues et autres dépôts glaciaires rendent moins perméables, plus cultivables, par conséquent moins arides ces régions dans l'ensemble calcaires et carsiques; manteau protecteur et bienfaisant qui est néanmoins emporté graduellement par les eaux.

Les dépôts morainiques ou diluviaux donnent parfois naissance par suite de l'érosion météorologique à un paysage curieux à pyramides, tours, etc., comme les *Pyramides* ou *Cheminées des Fées* en général, les *Castelletti* près de Castellamonte, les *Ciciu d'pera* près de Villar S. Costanzo en Piémont, etc., et autres formations semblables.

Un contraste de même très net, relié à la différence géologique, peut se constater dans le Groupe de Voltri entre les régions âpres, arides, à aiguilles, crêtes, couloirs encaissés et tortueux de la zone des Pierres vertes et les régions au contraire ondulées ou aplanies formées par les dépôts marneux-gréseux de l'Oligocène, qui reposent transgressivement à conque douce ou sub-horizontaux sur les Schistes cristallins fortement soulevés. Ailleurs au contraire (comme p. ex. aux alentours de Savignone et de Ronco Scrivia près de Gênes) les formations conglomeratiques de l'Oligocène, comme du reste certains grès du Miocène, s'élèvent en des reliefs âpres et escarpés au-dessus des zones déprimées des argiloschistes éocénico-crétaciques.

Je rappelle ici que les zones gypsifères du Trias, à cause de leur facile dissolution, comme aussi à cause du fréquent développement concomitant de terrains argileux, donnent souvent naissance à des lignes de dépressions vallives ou de cols, ou bien même à des effondrements qui peuvent devenir lacustres, présentant aussi parfois un curieux paysage à pseudocratères, comme p. ex. au Mont-Cenis. Ces phénomènes se répètent d'une façon un peu analogue dans les terrains mio-pliocéniques gypsifères, ainsi que par exemple dans les collines de la Morra, Roddi (Langhe occidentales).

Etant données la forme, l'allure et la constitution tectonique-lithologique des Alpes Occidentales, l'axe des chaînes montueuses correspond préféremment à celui de l'arc alpin général; les vallées au contraire, exception faite d'aucunes peu importantes (comme p. ex. la Vallée de la Doire-Ripaire au-dessus de Courmayeur), sont en majorité orthogonales à la ligne de cette arc, spécialement du côté intérieur, piémontais, où les vallées étroites, escarpées, à forte pente (plus grande dans l'ensemble que sur le versant extérieur) convergent presque pour rejoindre la plaine du Pô; tandis que du côté extérieur de l'arc alpin, en outre de cette disposition transversale, les vallées sont en partie longitudinales, comme la vallée du Rhône au-dessus de Martigny, la vallée de l'Isère au-dessus de Grenoble, la haute vallée du Var et une grande quantité de petites vallées moindres dans les régions subalpines ondulées.

Souvent caractéristiques sont les régions quartzitiques (Trias inf.) soit par leurs reliefs en aiguilles accentuées (p. ex. Aiguille de la Glière près de Pralognan, le Mt-Castello au dessus d'Acceglio, etc.) ou en grosses tours d'érosion et falaises (p. ex. Rognosa d'Etiache), soit en donnant naissance à des vastes talus d'éboulis prismatiques (*Casses*, *Cassere*, etc.) qui conservent pour longtemps leurs angles aigus.

Les formations triasiques, par la fréquence de zones cornioliques gypseuses, ou argileuses, donnent souvent naissance dans les Alpes non seulement à des embouchoirs d'effondrement

(Mont Cenis, Col Izoard, Col du Galibier, etc.), et à des cavernes par la facile dissolution du Calcaire (p. ex. grottes de Frabosa et de Dossi près de Mondovi, de la Ligurie occid., etc.) comme aussi à des curieuses pyramides irrégulières (p. ex. aux alentours de Guillaumes au Col d'Izoard, etc.).

Dans ces zones triasiques sont aussi très fréquents les cols alpins, comme p. ex., Col des Encombres, Col du Galibier, Col des Thures, Col de la Vallée-Etroite, etc., si bien qu'elles jouent un vrai rôle topographique. Les Géologues suisses indiquèrent justement comme *Zone des Cols*, une sorte de ligne déprimée entre les Hautes Alpes calcaires et les Préalpes, ligne qui correspond dans l'ensemble à l'affleurement très compliqué (par failles, glissements et transgressions) de caractéristiques formations triasiques gypso-cornioliques et argileuses.

Dans l'ensemble à l'œil du géologue l'aspect morphologique de la Chaîne alpine apparaît comme une simple ossature, un vrai squelette de ce qu'elles ont été dans le passé, quand leurs ondulations supérieures devaient constituer des régions encore plus élevées et beaucoup moins escarpées et incisées de ce qu'elles sont aujourd'hui, après l'exportation de l'immense manteau qui, réduit en fragments de toutes grandeurs et formes, a été peu à peu emporté vers le bas à remplir les dépressions circumalpines et a y former les immenses dépôts céno-néozoïques du Plateau Suisse, de la vallée du Rhône, de la basse vallée de la Durance et des Bassins tertiaires du Piémont et de la Lombardie.

Il en dérive par conséquent la grande différence d'ensemble, morphologique, entre :

1° les *Alpes*, essentiellement de terrains cristallins paléozoïques, très entassés, redressés, aujourd'hui profondément abrasés et incisés et conséquemment de notable altitude et d'aspect âpre ;

2° les *Préalpes* qui, par analogie avec le Jura, sont essentiellement de terrains calcaires mésozoïques en plis souvent moins entassés et accentués, si bien que parfois les ondulations orographiques correspondent aux plis tectoniques, avec par conséquent prévalence de vallées longitudinales (parfois de synclinal à flancs doux), incisions à cluses dans les cours transversaux, pauvreté relative d'eau superficielle, etc. ;

3° les *Bassins subalpins*, essentiellement cénozoïques, à paysage d'ordinaire doucement ondulé (soit par plis soit par érosions) ou même de plaine et par conséquent d'aspect un peu uniforme, spécialement quand leur remplissage se clôtura par les dépôts néozoïques lacustres, fluviaux ou fluvio-glaciaires.

Quant à la **Géo-hydrologie** ou **Hydrologie souterraine** on sait que, tandis que les terrains cristallins sont dans l'ensemble, quand non altérés, presque imperméables, sauf que dans les zones fracturées, ainsi que l'ont démontré les récents tunnels transalpins, les calcaires au contraire sont généralement très hydrovores (d'où leur aridité extérieure), ainsi que l'ont indiqué malheureusement certains tunnels (Tende, Simplon, etc.) qui, en traversant des zones calcaires, y ont rencontré des vrais déluges d'eau.

C'est en rapport avec ces phénomènes que se sont formées les sources ou résurgences grandes et petites (type Vaucluse) aux pieds des reliefs calcaires plus importants, ainsi qu'on le voit spécialement bien en Provence.

Ce grand réseau hydrographique souterrain dans les calcaires devait naturellement être beaucoup plus marqué dans le passé, spécialement à l'époque pliocène, extraordinairement riche en précipitations atmosphériques, en en résultant la cavernosité caractéristique des régions calcaires.

C'est pour ces causes que nous trouvons une quantité de sources en rapport avec la nappe d'eau qui se forme généralement entre les formations calcaires et les formations cristallophylliennes imperméables situées au-dessous (voir p. ex. les sources de la Maira dans la province de

Coni); ce qui du reste se vérifie aussi en des terrains plus jeunes, p. ex. entre calcaires ou grès (spécialement de l'Eocène ou de l'Oligo-Miocène) ou même simplement sables (du Pliocène supérieur) et argiloschistes, argiles écailleuses (spécialement du Crétacé ou de l'Eocène) ou marnes argileuses (p. ex. du Pliocène inférieur) ou terrains analogues peu perméables.

On doit néanmoins remarquer que, si dans les Alpes il y a réellement des sources qui jaillissent directement des roches de différent genre en rapport avec des plis, fractures, transgressions, différences lithologiques et par conséquent géo-hydrologiques, entre couches ou bancs divers, etc., la plus grande partie des sources de montagne provient simplement de nappes s'écoulant au-dessous des masses puissantes, hydrovores au plus haut degré, des éboulis de pente ou des terrains morainiques appuyés aux terrains compacts, et par conséquent relativement peu perméables, qui forment l'ossature de la montagne.

Dans les régions où les formations mésozoïques sont très développées, comme p. ex. spécialement sur le versant extérieur des Alpes, nous voyons souvent que des spéciales zones marneuses-argileuses (particulièrement du Trias, de l'Infralias, du Lias, du Callovien, de l'Oxfordien, du Valanginien, de l'Hautérivien, de l'Aptien, etc.), à cause de leur faible perméabilité, donnent naissance à des nappes aquifères. Le même fait s'observe pour les marnes alternées souvent avec les grès ou les molasses cénozoïques, comme pour les zones marneuses ou argileuses, glaciaires ou lacustres, du Néozoïque.

Assez fréquentes sont les sources d'eaux thermo-minérales en rapport avec la profondeur de leur parcours souterrain (ainsi que l'ont prouvé les eaux de plus que 50° du tunnel du Simplon); nombre de ces eaux, même peu chaudes, sont reliées aux formations gypso-salifères et sulfureuses du Trias, comme p. ex. celles d'Echaillon près de St. Jean-de-Maurienne, de Salins et Brides près de Moutiers, de Monestier-les-Bains, etc. Certaines sources sulfurées sont en rapport avec les terrains crétaciques et jurassiques çà et là riches en bisulfure de fer; d'autres au contraire, et généralement les plus chaudes, sont reliées à des fractures profondes, ce qui doit être probablement le cas des sources de Acqui, de Aix-les-Bains, etc.

Quant à l'**Anthropogéographie** bien nette est en général la distinction entre les zones presque inhabitées des Massifs cristallins ainsi que des montagnes calcaires plus ou moins âpres, arides et ruiniformes et au contraire l'agglomération des habitations humaines dans les zones des schistes plus ou moins tendres, de tout âge, et spécialement dans les régions, généralement déprimées et synclinales, à marnes et grès, des grands et petits bassins tertiaires.

Il ne faut pourtant pas oublier que les formations calcaires, malgré leur générale aridité et âpreté, constituèrent dans certaines régions, à cause de leur cavernosité, des centres très importants d'habitations troglodytes de l'homme préhistorique, comme justement dans la Ligurie et le Niçois.

Les régions de synclinal, par la naturelle convergence oro-hydrographique qui y est conjointe, sont parfois des centres d'agglomérations spéciales, même au cœur des Alpes, comme p. ex. Suse et Aoste.

L'influence du terrain sur l'Anthropogéographie apparaît d'une façon très claire dans les endroits où, comme p. ex. dans le Groupe de Voltri, des dépôts marneux-gréseux ou autres semblables peu compacts et peu inclinés s'appuient ou s'étendent sur des zones rocheuses, y constituant ainsi des vraies oasis d'habitabilité et de cultivation agricole (p. ex. S.ta Giustina, Sassello, Tiglieto, Toletto, etc.) en des régions désertiques.

Très nette est de même naturellement la distinction anthropogéographique que montrent les

Alpes entre les zones rocheuses nues et celles recouvertes de terrains morainiques, nous prouvant l'influence immensément bienfaisante qu'a eu le glacialisme plistocénique sur l'habitabilité et la relative agriculture des régions alpines, si bien qu'on peut dire que sans l'intervention de ce phénomène ces régions seraient actuellement en grande partie déshabitées.

Nous ne pouvons pourtant pas oublier sous ce rapport l'influence de même très bienfaisante apportée par les dépôts fluvio-alluvionnaires, soit par la forme à plaine des fonds de vallées, soit comme conoïdes de déjection, où souvent s'étendent les villages alpins, en outre des zones d'éboulis étendues souvent aussi (d'autant plus si un peu anciennes) largement habitées et cultivées.

La position des plus grands centres habités, villes ou autres, est souvent en rapport avec des causes géologiques ou oro-hydrographiques mais dépendentes de la Géologie.

Ainsi, pour citer quelques cas, du côté intérieur de l'arc alpin nous voyons nombre de villes (p. ex. Bielle, Ivree, Pignerol, Saluces, Dronero, Boves, etc.), édifiées au débouché des vallées dans la plaine, s'appuyant en partie sur les terrains anciens et tirant parti soit du commerce avec la montagne soit des proches terrains quaternaires ou tertiaires (comme Mondovi) commodes et à grand rendement au point de vue agricole. Un peu analogue est l'origine de Cavour (situé contre une importante, pour la défense, émergence gneissico-granitique de la plaine du Pô), de Coni bâti (comme Cherasco qui resta pourtant trop isolé du mouvement commercial) sur un plateau en forme de coin (par la réunion, à la fin du Plistocène, de la Stura et du Gesso), à défense facile et de façon à profiter soit de la plaine soit des débouchés de plusieurs vallées alpines (Grana, Stura, Gesso, Vermenagna, etc.).

Turin doit sa position soit au proche débouché de la vallée de Suse qui a plusieurs passages faciles vers la France, soit à l'étranglement s'étant formé entre le pied des Alpes et les collines qui représentent le dernier prolongement (déviant à Ouest) du pli compliqué appenninique; c'est-à-dire que Turin a pris naissance et s'est accru naturellement par le fait de se trouver dans une région commode de plaine située entre les Alpes et l'Appennin et constituant presque une zone de passage obligatoire entre le haut et le bas Piémont et en même temps de convergence de l'ample arc des Alpes Maritimes et Cottiennes.

Et il faut encore remarquer que l'importance de Turin aurait été plus grande si, à la fin du Plistocène, la trouée de Bra - Cherasco n'avait fait dévier une partie des courants d'eaux (Stura, Pesio, Ellero, Tanaro), et par conséquent commerciaux, de la haute plaine du Pô vers Est, c'est-à-dire vers le synclinal pliocénique convergent à Asti et le quaternaire concentré spécialement à Alexandrie.

Mais l'importance de Turin aurait été immensément plus diminuée (à l'avantage de Asti) si, comme peu ne manqua à se vérifier pendant le Plistocène, la trouée vers Est se fût accomplie dans la région de Poirino, y prenant aussi part les eaux de la Maira, de la Varaita et du Pô.

Les villes de Tortone et de Stradella furent bâties pour des causes essentiellement stratégiques et par conséquent en des temps très reculés près d'éperons collineux s'avancant naturellement dans la plaine.

Milan, bien que non favorisée par un grand cours d'eau, comme Pavie, se développa d'une façon extraordinaire dans sa forme typique à roue par le fait de se trouver justement presque au centre du grand Bassin néogénique lombard s'étant transformé en une grande plaine quaternaire très fertile, très irrigable et très commode pour les trafics et les industries, d'autant plus étant placée à la convergence de la plus grande partie du commerce des Alpes centrales (et par conséquent aussi en partie de l'Europe centrale), d'une partie de l'Appennin septentrional et de presque toute la riche haute plaine du Pô.

A l'intérieur de la Chaîne alpine nous voyons qu'ont eu un notable développement les centres de Chiavenna, Bellinzona, Domodossola, Brigue, Martigny, Albertville, Chambéry, Grenoble, etc. par le fait de s'être trouvés au point de convergence de plusieurs vallées alpines, qui terminent en outre vers le haut par des passages relativement déprimés entre l'extérieur et l'intérieur de l'arc alpin. Aoste et Suse sont placées sur le fond d'amples synclinaux complexe où convergent conséquemment eaux, routes, commerces et intérêts divers.

Genève et Lausanne, en outre que par la conque lacustre du Léman, devinrent florissantes parce qu'elles se trouvaient presque dans l'axe du Plateau miocène de la Suisse, se développant en vaste synclinal entre les Alpes et le Jura et par conséquent en de très bonnes conditions de viabilité, de commerce, de cultivation agricole, etc., rappelant par cela un peu la position d'Asti dans le fertile Bassin tertiaire du Piémont et, en moindre degré, celui de Aix dans son Bassin éo-oligocénique.

Lyon, Valence, etc. doivent leur grande importance à la position spéciale de l'ample, commode et fertile plaine du Rhône, entre le Massif central et les Alpes dont elles reçoivent et concentrent le commerce occidental.

Briançon, Gap, Embrun, Sisteron, Digne, Castellane, etc. sont en rapport avec des nœuds géotectoniques importants et par conséquent routiers, commerciaux, etc., sans compter que certains de ces centres présentent vers l'Est des artères de communication relativement facile avec l'Italie.

Dans les régions à orographie douce, par le développement des schistes argileux, marneux, ou autres, nous voyons s'épanouir de notables centres habités, comme Barcelonnette, Pontedecimo, Varese ligure, etc. bien que la facile mobilité des terrains de ces régions contrecarre souvent la bonne influence du caractère orographique.

Au long du littoral de la Mer Tyrrhénienne rappelons les grands centres portuaires de Marseille, Toulon, etc. dûs à des dérangements tectoniques spéciaux et par conséquent à des fortes articulations côtières, correspondant parfois à des fractures étendues avec glissement (comme pour l'admirable port de la Spezia) et dont l'importance s'accroît parfois encore par le fait de bas passages de communication avec l'intérieur de l'arc alpin; ce qui est le cas de Gênes appuyée sur les bancs calcaires relevés et tordus de l'Eocène, qui constituent un très opportun genou portuaire, et situé à peu de distance du bas Pas des Giovi, tandis que Porto Maurizio ne se présentant pas dans des conditions aussi favorables resta toujours à un état secondaire de développement.

C'est par un motif analogue, c'est-à-dire le Col déprimé d'Altare ou de Cadibone, que se développa tant Savone, presque le port naturel du haut Piémont et bâtie contre un éperon gneissique. De même l'importance de Voltri est due spécialement au Pas du Turchino et à la relative zone d'accès assez commode, comme étant creusée dans les schistes du Mésozoïque métamorphique.

Chiavari surgit près de la confluence de deux vallées appenniniques importantes, Sturla et Lavagna, cette dernière d'anticlinal intéressant subparallèle à la proche *Riviera*.

Nice, ainsi qu'à un degré moindre Albenga, doivent une bonne partie de leur importance au grand développement de terrains pliocéniques et quaternaires qui forment des amples plaines très fertiles, en plus de se trouver au débouché de vallées importantes des Alpes Maritimes, ainsi que le sont celles du Var et, bien moins, de l'Arroscia.

Rappelons enfin que des causes spéciales géo-hydrologiques, comme p. ex. sources minérales ou thermo-minérales, pûrent donner naissance à des centres importants de vie, comme par exemple Aix-les-Bains en Savoie, St. Vincent dans la Vallée d'Aoste, Acqui dans le Monferrat, etc., bien que ces causes originaires soient parfois passées ensuite en deuxième ligne.

La **Géo-odologie** se présente dans les Alpes Occidentales avec des caractères très marqués; nous voyons par exemple que dans l'ensemble les Massifs cristallins fonctionnent naturellement comme régions difficiles (noble champ matériel et moral aux exploits des Alpinistes) et autour desquels, comme les cours d'eaux, tournent les principaux réseaux de routes. Celles-ci sont au contraire spécialement favorisées par les dépressions auxquelles donnent naissance les formations micaphyllitiques du Paléozoïque, les schistes métamorphiques du Mésozoïque, les terrains marneux-argileux et spécialement le Flysch du Crétacé et de l'Eocène, ainsi que naturellement de même les zones à marnes, argiles et grès plus ou moins tendres de l'Oligo-mio-pliocène.

Quand aux formations mésozoïques métamorphiques surindiquées on y voit souvent d'une façon très claire les routes, comme du reste les cours d'eaux en général, suivre les zones des schistes évitant naturellement celles des Pierres vertes compactes qui en émergent. Il suffit p. ex. de considérer l'importante artère routière de Voltri-Campoligure-Ovada dans l'âpre Groupe de Voltri.

À cause de la forme arquée des Alpes Occidentales les vallées qui descendent vers la plaine du Pô doivent couper généralement plus ou moins orthogonalement les zones géologiques en grande partie cristallines et, au point de vue tectonique, entassées sous forme de forts plis concentriques. Par conséquent les vallées alpines piémontaises en résultèrent étroites, encaissées et convergentes, dans l'ensemble presque en rayonnement étendu, vers la plaine du Pô, et naturellement le réseau routier dut se plaser sur cette disposition orographique. Petit est au contraire le nombre des grandes routes qui réussissent à se développer dans les zones de synclinal ou de schistes tendres, suivant les lignes longitudinales selon l'arc alpin, comme dans la Valtellina, dans la vallée de Bregaglia, dans les vallées Cento Valli-Vigezzo, dans les deux hautes vallées de la Doire au-dessus de Courmayeur, dans la vallée de Chamounix, etc.

Du côté extérieur de l'arc alpin au contraire, si entre la zone gneissico-micaschisteuse axiale et la zone des Massifs hercyniens les conditions géo-odologiques sont un peu analogues à celles surindiquées, au delà de la ceinture des Massifs hercyniens nous voyons se développer nombre de lignes routières subparallèles à l'allure de l'arc alpin, correspondant généralement à des lignes de synclinal ou de fracture ou bien à des zones relativement tendres (même si dans l'ensemble à anticlinal), etc., comme p. ex. dans toute la vallée du Rhône au-dessus de Martigny, dans la haute vallée de l'Isère entre Grenoble et Albertville, dans la haute vallée du Var, dans la haute vallée de la Tinée, etc., et dans une quantité de longs synclinaux crétaciques ou cénozoïques des régions subalpines; sans parler des grands Bassins tertiaires circumalpines, qui sont en général dans de très bonnes conditions géo-odologiques.

La **Géo-agrologie** dans les Alpes Occidentales plasse en grande partie naturellement ses caractères sur ceux déjà indiqués dans les chapitres précédents, étant si étroitement reliée à l'Orohydrographie et aux conséquences relatives de genre varié; l'Agriculture alpine a par conséquent un développement très limité.

La nature lithologique et correspondamment chimique a certainement une notable influence sur l'Agriculture dans les Alpes, d'autant plus que le rapport entre la roche mère et le dépôt cultivable qui en dérive est en général direct et presque immédiat. Par exemple il est évident que la plus grande partie des Pierres vertes par l'âpreté orographique et leur nature préféremment magnésienne se prêtent en général moins bien à la cultivation que non les roches feldspathiques et par conséquent plus facilement altérables en roches argileuses et souvent argilo-sableuses. Mais dans les régions alpines la forme orographique, l'exposition des versants, l'altimétrie, la climatologie et, disons la vérité, le mode de cultivation, ont ordinairement une telle influence, que l'influence chi-

mique du terrain passe parfois en seconde ligne; il suffit de comparer la cultivation et la richesse agricole qu'on observe dans les terrains les plus différents et même rocheux de la *Riviera* de la Ligurie avec celle des mêmes terrains à quelques kilomètres du littoral.

Une notable importance ont au contraire les propriétés physiques des terrains, comme compacité, différent état d'altération, etc., car les plus facilement altérables et les plus incohérents se prêtent naturellement mieux aux cultivations, même très variées; ainsi que l'indiquent certains schistes (Micaschistes, Calcschistes et autres) riches en pâturages, labourages, bois, etc., et certaines zones marneuses ou gréseuses-sableuses ou argilo-sableuses du Mésozoïque moyen et supérieur (souvent à pâturages, forêts, etc.), mais spécialement celles très fertiles (en céréales, vignes, etc.) du Cénozoïque (p. ex. les Langhe, le Monferrat, l'Astésan, etc.); comme aussi les oasis cultivées des plaques oligocéniques de S. Giustina, Sasso, Tiglieto, etc. dans l'aride et désert Groupe de Voltri; et encore plus nettement les dépôts morainiques qui forment souvent, même à l'intérieur des Alpes, un doux paysage caractéristique, vraies oasis verdoyantes au milieu de l'aridité et de la nudité générale des régions rocheuses environnantes.

Dans les régions subalpines et circumalpines les collines morainiques forment, sur les deux versants des Alpes, des régions spéciales ondulées avec grand développement des vignes, des vergers, etc.; sans parler des régions alluvio-diluviales, des cônes de déjection, des lambeaux extrêmes de zones détritiques de pente et autres qui constituent vraiment les endroits les plus cultivés et habités des régions alpines.

Il faut remarquer que la profonde altération des roches gneissico-micaschisteuses donne naissance à un terrain agricole assez fertile (soit pour les pâturages, soit pour la cultivation des céréales), bien meilleur que ceux qui dérivent de la décomposition des Talcschistes, des Chloritischistes et des Roches vertes en général (spécialement Serpentine et Lherzolites difficilement altérables et pauvres de chaux) comme aussi des Argiloschistes et autres terrains argileux, qui ajoutent au défaut du facile éboulement celui de la relative imperméabilité, humidité, etc., ce qui les rend néanmoins aptes à la cultivation fourragère.

Dans les montagnes en examen nous voyons que les schistes plus ou moins gréseux des formations carbonifères sont généralement à pentes assez douces et souvent couverts de forêts ou même de vastes prairies; au contraire les régions calcaires, si elles se présentent aussi souvent couvertes en partie de forêts (spécialement de Conifères) sont néanmoins plus fréquemment arides et stériles.

Passant enfin à la **Géologie économique** des Alpes Occidentales nous pouvons avant tout rappeler la quantité des matériaux de construction et d'ornementation qu'on en extrait sur plusieurs points, spécialement où il y a une plus grande commodité de routes et de chemins de fer pour le transport. Si bien que souvent ces matériaux donnent un cachet spécial à l'architecture, au mode de construction, de pavage, etc. des différentes régions. Qu'il suffise de rappeler l'influence des gneiss, des granites, etc. dans le Piémont; des marbres, des ardoises et des grès dans la Ligurie; des calcaires dans les régions préalpines et subalpines spécialement occidentales, dans le Jura, etc.; des argiles dans la plaine du Pô (la *Contrée des briques*), etc. Pour la région italienne je renvoie à la partie IV<sup>e</sup> (*Geologia economica*) de l'œuvre de Jervis sur « *I Tesori sotterranei dell'Italia - 1889* ».

J'indique simplement entre les matériaux à plus large usage:

Les *Gneiss* de la formation alpine axiale, spécialement quand ils sont dans des régions commodées et en beaux bancs ou dalles, ainsi qu'on les extrait p. ex. dans les vallées de Pignerol (*Pietra di Luserna*) dans la basse vallée de la Doire Ripaire, dans la vallée de l'Ossola (*Bevole*), dans les vallées qui coupent le Massif du Tessin, etc.

Une quantité de *Schistes cristallins* les plus variés, comme les Quartzites micacées (*Bargioline*), certains Micaschistes phylladiques, certains Prasinitoschistes, Serpentinoshistes, Chloritoschistes, etc., d'un usage souvent presque uniquement local comme dalles pour toitures, pavages, marches, recouvrement des murs, etc.

Du Mésozoïque métamorphique on tire des lastres de *Calcschistes* (p. ex. dans la basse vallée de la Varaita) qui remplacent les gneissiques comme étant d'un travail plus facile, bien qu'à bien moindre résistance; ça et là les *Prasinites* sont utilisées aussi.

Les *Quartzites*, soit intercalées dans les Gneiss (comme dans la basse vallée de Suse) soit constituant plus souvent le Trias inférieur, peuvent être utilisées variablement pour l'empierrement des routes, comme matériel réfractaire, pour les verreries, les sciéries de Marbres, etc.

Les Schistes plus ou moins durcis offrent aussi d'importantes lastres à utilisation variée, en commençant par les susdits *Schistes cristallins* et les Schistes bariolés très métamorphiques et compacts du Permo-Trias (comme la *Royaite* ou *Pietra della Roia*), les *Ardoises* bariolées triasiques de Villarly, les ardoises très résistantes (comme étant un peu silicifères) du Carbonifère (p. ex. dans la Tarantaise) et du Lias introalpin, jusqu'aux ardoises ou *Lavagne* moins résistantes, mais néanmoins à si grand usage, de l'Eocène.

Centres importants d'exploitation sont plusieurs zones granitiques, comme les fameux *Granites* blancs et rosés du Lac Majeur et du Lac d'Orta, les *Siénites* du Biellais, etc. Rappelons aussi certaines *Granulites* de la Savoie utilisées pour dalles, etc.

Les *Pierres vertes* aussi offrent des matériaux utilisés non seulement pour l'empierrement des routes, usage très répandu, mais aussi comme matériel ornemental, p. ex. les *Ophicalces* ou *Marbres verts* des Alpes, la *Pietralavezzara*, le *Verde di Polcevera*, le *Marbre rouge* de Levanto, etc.

Je rappelle en outre les *Pietre ollari* ainsi que le *Talc* ou *Stéatite* (*Craie de Briançon*) dont on se sert en poudre dans nombre d'industries et qui sont exploités spécialement dans les vallées de Pignerol, où on les trouve en lentilles parmi les schistes du Paléozoïque supérieur passant au Mésozoïque métamorphique ainsi que de même dans cette dernière formation.

Les *Anhydrites* et les *Gypses* du Trias alpin, ainsi que les *Gypses* du Mio-pliocène, sont exploités dans certains endroits pour les usages connus de plâtre, stuc, engrais, etc. Il y a aussi de l'Albâtre gypseux blanc utilisé pour sculptures.

Mais d'une importance bien plus grande sont les *Calcaires*, soit plus ou moins micacés (Cipolins) du Paléozoïque supérieur, soit les Calcaires et les *Dolomies* (se transformant souvent en Marbres cristallins à couleur variée) des différents étages de Mésozoïque et de l'Eocène; soit les *Calcschistes* (dits *Serizzo* dans la province de Coni) du Mésozoïque métamorphique, etc. Ces Calcaires constituent un matériel exploité et utilisé sur vaste échelle pour les constructions (pierres de taille), pour ornementation (*Marbres* en général), pour empierrement, pour pierre à chaux, pour ciment (spécialement les calcaires argileux liasiques et éocéniques), etc., selon la structure, la constitution chimique, comme aussi selon qu'ils sont plus purs ou gréseux, ou marneux ou argileux, etc.

Accidentalités de même très recherchées des régions calcaires sont les *Albâtres* (comme le splendide de Busca), les *Brèches* ou *Marbres-Brèches*, particulièrement fréquents dans certains horizons du Trias et du Jura-Lias, comme près de Casotto dans les Alpes Maritimes, près de Arzo dans les préalpes lombardes, près de la Spezia où l'Infralias présente le fameux *Portoro* (qu'on trouve aussi analogue dans la Savoie), etc.

Les *Grès*, soit calcaires soit siliceux, à grain plus ou moins gros, qui comparaisent dans certaines formations houillères (p. ex. en Savoie) et crétaciques (p. ex. *Pietra di Sarnico*, *Pietra di*

*Vigand*, etc.), mais qui sont spécialement développés dans le Cénozoïque, sont exploités çà et là sous forme de parallélépipèdes ou autres (souvent en dalles) comme pierre de construction ou de décoration (leur taille étant relativement facile), pour pavage, meules, matériaux réfractaires, (comme certaines *Molasses* ou *Grès siliceux* à ciment calcaire, certaines *sables* siderolithiques ou autres), etc. Mais, sauf le *Macigno* de l'Eocène, ce sont des roches peu résistantes; rappelons, p. ex. la *Pietra di Finale* du Miocène ligure, la *Pietra Cantone* du Miocène de Casal-Tortone, etc.

Les matériaux caillouteux, soit peu cohérents soit cimentés en conglomérats (connus sous les noms de *Nagelfluh*, *Gompholites*, *Pietra Bissara*, *Ceppo*, etc.), du Cénozoïque et du Néozoïque, sont ordinairement usités comme matériaux de construction un peu grossiers, pour pavage et plus souvent pour l'empierrement, d'autant plus en certaines régions tertiaires étendues, où manquent complètement les matériaux rocheux; parfois les cailloux calcaires sont recherchés comme pierre à chaux, p. ex. pour la *chaux* dite de *Superga* dans la Colline de Turin.

Les *Argiles* plus ou moins pures, qui sont exploitées en nombre d'endroits, spécialement des régions subalpines, avec différent but (pour poteries, céramiques, briques, etc.), appartiennent en petite partie au Trias ou à quelques étages du Mésozoïque, mais pour la plus grande partie aux zones plus élevées du Cénozoïque (spécialement au Pliocène marin ou lacustre), en outre qu'au Néozoïque plus ou moins lacustre ou fluvio-lacustre ou même morainique, sans parler des ocres qu'on trouve çà et là en de spéciales poches, particulièrement dans les calcaires dolomitiques.

Quant aux *matériaux terreux-argileux*, *lehms* impurs, jaunâtres, dépôts quaternaires presque de ruissellement des matériaux d'altération superficielle des montagnes et des collines, souvent étendus dans les sinuosités ou aux abords des préalpes et dans la plaine, ils sont largement usités pour briques, tuiles, etc.

Pour les dépôts argileux de la Suisse voir l'importante « *Monographie d. Schw. Tonlager* » publiée en 1907 par E. Letsch, B. Zschokke et R. Moser avec carte relative au 500.000<sup>e</sup>.

Quant au *Kaolin* on le trouve çà et là dans les Alpes Occidentales, spécialement dans les régions subalpines en rapport directe avec des roches très feldspathiques, profondément altérées, comme p. ex. le Granite ou Pegmatite de Belmonte, certaines zones de Gneiss du Pignerolais, certains Porphyres de la province de Novara, etc.

Les Alpes Occidentales, malgré l'ample développement des terrains anthracolitiques, sont plutôt pauvres en *Charbons fossiles*, bien que présentent de fréquentes zonules ou lentilles *graphiteuses* parmi les Schistes cristallins du Paléozoïque, spécialement dans le Pignerolais, et de très fréquentes zones ou mieux lentilles irrégulières *anthracitifères* (souvent un peu graphiteuses) exploitées sur nombre de points dans les Alpes françaises et italiennes. Pour la partie italienne voir l'ouvrage sur « *I giacimenti di Antracite nelle Alpi Occidentali italiane* » publié par l'Office géologique italien en 1904.

En correspondance d'anciens bassins lacustres on rencontre çà et là, en plusieurs horizons, des dépôts soit de bonne *Lignite*, spécialement de l'Oligocène (Bagnasco, Nuceto, Cadibona), soit de médiocre Lignite pliocénique, soit de *Tourbe* des anciens et très nombreux petits lacs subalpins intermorainiques ou introalpines; voir à ce propos, pour la Suisse, le grand ouvrage de J. Früh et C. Schröter « *Monographie der Schweizer. Torfmoore*, 1904 » avec carte relative au 500.000<sup>e</sup>.

Quant aux *Minéraux* ils ne sont pas rares dans plusieurs formations et sur beaucoup de points des Alpes, mais généralement un peu trop épars pour constituer des vrais centres miniers importants. Je rappelle à ce propos que pour la partie italienne on peut avoir des données utiles dans l'ouvrage compilé par Jervis sur « *I Tesori sotterranei dell'Italia* » et des idées générales dans la « *Métallogénie de l'Italie*, 1906 » de L. De Launay, qui a écrit aussi sur les « *Gîtes Métallifères*

*des Alpes françaises, 1895-1896* »; des intéressantes notices spéciales récentes pour les Alpes italiennes on peut trouver dans les ouvrages de Colomba, Franchi, Lotti, Novarese, Stella, etc.

Généralement dans les formations gneissiques et micaschisteuses, pourtant pas trop riches en minéraux, on rencontre spécialement des cristaux épars ou des imprégnations ou bien des filons de Pyrite (parfois un peu aurifère), de Chalcopyrite, d'Hématite, de Sidérite, de Mispikel, de Baritine, de Pyrrhotine nickelifère, de Blende et spécialement de Galène plus ou moins argentifère.

Dans les Schistes permien comparaisent parfois des filons ou imprégnations de Galène même argentifère, de Blende, de Pyrite, etc.

Dans les zones de superposition, souvent un peu transgressive, des Schistes permo-triasiques sur les Gneiss on rencontre souvent des dépôts minéraux assez importants, comme p. ex. ceux de Galène, Blende, etc. du Vallon de la Miniera (Alpes Maritimes).

La formation compliquée du Mésozoïque métamorphique se présente souvent minéralisée dans les zones ophitifères et spécialement dans les zones de contact entre les Roches vertes (*Saxum metaliferum*) de nature diverse, ou bien entre celles-ci et les terrains environnants. Y prédominent les ségrégations de minéraux de cuivre (Chalcopyrite) et de Fer (Magnétite, Chromite, Pyrite, Pyrrhotine), de Nickel, de Cobalt; on y voit parfois aussi des filonnets de Quartz aurifère, comme en certains points du groupe de Voltri.

Dans les Calcaires triasiques aussi on trouve 'ça et là des filons ou des intercalations de Galène ou Plomb argentifère, de minéraux cuprifères, etc., dans les Calcaires jurassiques parfois des filons de Carbonate de zinc.

Je rappelle enfin l'Asbeste amiantoïde ou l'Amiante qui en belles fibres est parfois associé aux roches serpentineuses et qui est exploité dans quelques localités p. ex. dans les Vallées de Lanzo.



---

---

## RESUMÉ GÉO-HISTORIQUE

---

Si nous cherchons à donner un coup d'œil synthétique rétrospectif sur l'évolution géologique que dut présenter la région alpine occidentale des temps archaïques jusqu'aujourd'hui, nous pouvons l'imaginer premièrement comme une région dans l'ensemble déprimée de ample géo-synclinal, dans laquelle se déposèrent peu à peu des puissantes séries sédimentaires marines de nature variée; celles-ci par les phénomènes complexes, dirais-je, de profondeur, indiqués dans le chapitre du Métamorphisme, en connexion aussi avec les mouvements calédoniens, se métamorphosèrent, en général d'autant plus intensément que leur relative position stratigraphique fut plus profonde et par conséquent que furent plus fortes les actions thermiques, hydro-chimiques ou hydro-plutoniques, pneumatolitiques, de pression, etc. auxquelles elles furent assujéties, comme aussi d'autant plus longue que fut la période où durèrent ces actions de polymétamorphisme ou Métamorphisme régional, général. Il en résulta des formations cristallines variées qui, du type plus profondément métamorphosé, granitoïde et gneissique, passent au micaschisteux et à celui de plusieurs autres schistes cristallins, acides et basiques, avec des intercalations lithologiques variées en rapport avec les spéciales constitutions chimiques d'origine et les phénomènes métamorphiques spéciaux successifs.

Vers la fin de l'Ere paléozoïque, pendant la longue période anthracolitique (Carbonifère et Permien), s'accrochèrent les phénomènes orogénétiques (*hercyniens* l. s.) de dislocation et de plissement des formations déjà alors plus ou moins métamorphosées et cristallines de la région alpine en examen, qui peu à peu devint en partie une région de basse mer, souvent de littoral, même avec passages à des zones marécageuses-lacustres, où par conséquent se déposèrent non seulement des vases plus ou moins sableuses, mais çà et là aussi des graviers et cailloutis de fluitation deltoïde grossière, tandis que sur les régions émergées se développait la luxuriante Flore tropicale à Fougères, Calamitacées, etc. dont les restes se trouvent renfermés dans les dépôts de l'Anthracolitique.

C'est spécialement à cette grandiose phase orogénétique (*hercynienne* l. s.) de la caractéristique période anthracolitique, phase d'ensemble qui peut se subdiviser en moments successifs (*ségalaunien*, *allobrogiens*, etc.), qu'on doit, soit une première émergence importante et une partielle exondation de la Chaîne alpine, soit (en corrélation avec les énormes pressions orogénétiques et les conséquents plis et factures) nombre de phénomènes de plutonisme et de protusions variées, des granitiques, syénitiques, etc. avec le cortège des intrusions ou différenciations aplitiques, granulitiques, etc., jusqu'enfin aux émergences ou éruptions nettement porphyriques (l. s.) qui caractérisèrent presque la fin du Paléozoïque.

Après cette grandiose phase orogénétique, généralement positive, laquelle fut naturellement accompagnée par des notables érosions des formations cristallines déjà émergées, dans une bonne partie des régions aujourd'hui alpines s'accrocha à nouveau la disposition à forts géosynclinaux, ou profonds

affaissements, continuations presque de ceux s'étant déjà vérifiés pendant l'Ere paléozoïque, si bien que pendant le Mésozoïque y prirent naissance des dépôts spéciaux argileux-calcaires avec des intercalations variées plus ou moins magnésiennes.

La région alpine se présentait alors peut-être un peu analogue à celle de certaines régions actuelles (p. ex. du compliqué Archipel de la Sonde-Moluques qui, renversé, reproduit même assez bien le caractéristique arc alpin) où près et autour de reliefs insulaires, linéaires ou arqués, constitués en partie par des terrains cristallins avec revêtements variés, il y a des dépressions marines (*fosses*) qui s'effondrent rapidement à plusieurs milliers de mètres, de manière que des dépôts variés, vaseux, etc. s'accumulent dans des géosynclinaux spéciaux, qui pourront se transformer dans l'avenir en géoanticlinaux et émerger à former même des montagnes dans un mouvement orogénétique futur, ainsi que je l'ai esquissé dans mon « *Essai de l'Orogénie de la Terre, 1895* ».

La puissante autant que complexe série sédimentaire mésozoïque surindiquée, par un métamorphisme intense, dû à des phénomènes thermiques, hydro-chimiques, hydro-plutoniques, pneumatolitiques, de pression, etc. reliés en partie à la profondeur des géosynclinaux comme aussi à l'intensité et au mode d'action des phénomènes orogénétiques, se transforma peu à peu en Schistes plus ou moins cristallins, micacés, etc., comme Phyllades, Calcschistes, Schistes lustrés, *Bundnerschiefer*, etc. avec incluses les caractéristiques, souvent nombreuses et même très puissantes, Pierres vertes de nature et structure variées et par endroits aussi avec des petites zones jaspoïdes (parfois à Radiolaires) de type abyssal.

Ce complexe phénomène de métamorphisme mésozoïque, qui dans les Alpes débuta avec les terrains du Trias et se vérifia spécialement en rapport avec ceux du Jura-Lias, dans l'Appennin septentrional et ailleurs se développa au contraire spécialement dans ceux du Crétacé (sous forme d'Argiloschistes ophitifères, etc.) arrivant jusqu'au commencement de l'Éocène.

Ces phénomènes d'Endomorphisme, qui se vérifièrent avec une si notable intensité et grandiosité dans les formations paléozoïques et mésozoïques des Alpes Occidentales, ne s'y manifestèrent plus par la suite, soit à cause de l'émergence de la région, soit peut-être aussi en général parce que peu à peu augmentait l'épaisseur de la croûte terrestre solide et par conséquent s'abaissait relativement la zone, dirais-je, plutonique active, qui est le siège principal de cet intense et général Métamorphisme.

Tandis que dans les zones aujourd'hui alpines (pr. d.) se vérifiaient ces dépôts spéciaux qui prirent le faciès métamorphique dit *piémontais* ou *lépontin* ou *penнинique* ou des *Pierres vertes*, dans les zones actuellement en général circumalpines purent se déposer et se conserver des formations à type plus *normal* en grande partie marines et même de mer assez profonde.

En effet, quand à l'énorme et grandiose effort et mouvement orogénétique et plutonique, qui caractérisa presque généralement la période anthracolitique, succéda en général une longue phase de calme et de mouvement négatif et de graduel effondrement, l'entière région alpine (l. s.) y prit part.

Si bien que si au commencement de l'Ere mésozoïque (pendant la première période de l'époque triasique) la région alpine était encore en grande partie à l'état, soit subcontinental ou insulaire, soit de basse mer et de littoral, où se déposèrent les formations sableuses et caillouteuses qui se changèrent ensuite en Grès bigarrés, Quartzites, Quartzoschistes, Anagénites, etc., bientôt dans une bonne partie de la région alpine, par une graduelle immersion, quoique encore peu accentuée, se développa et dura à travers l'époque triasique, avec plusieurs alternances, soit une phase préférentiellement marécageuse, à laquelle correspondent les dépôts d'Anhydrite, Gypse, Salgemme, Argiles bariolées, etc., soit une phase préférentiellement marine-organogénique (à Gyroporelles, Crinoïdes, Brachiopodes, Mollusques, etc.) qui donna naissance à de puissants dépôts

calcaires ou calcaires-dolomitiques à faciès *normal* ou *briançonnais* ou *monrégalais* ou *helvétique* ou bien à faciès *méditerranéen* ou *austro-alpin* selon les régions.

Au début de la période infraliasique ou rhétique, la région en examen prit à s'abaisser graduellement si bien qu'elle devint une zone marine plus ou moins profonde, où se déposèrent des vases soit spécialement calcaires, soit spécialement argileuses, d'où (par une ultérieure cimentation ou Scléromorphisme) résulta la splendide et puissante série de calcaires et de marnes grisâtres qui caractérisent presque le Jura-Lias et une grande partie du Crétacé des Alpes, dites justement calcaires, soit septentrionales soit méridionales, comme aussi des Préalpes, du Jura, etc.

C'est dans ces mers plus ou moins profondes, du Jura-Lias et ensuite aussi parfois du Crétacé, que se développa si merveilleusement l'intense et variée vie plus ou moins pélagique, spécialement à Corallaires, Bivalves, Gastéropodes, Ammonites, Belemnites, etc. (comme aussi à Poissons, Lariosaures, etc.), dont les restes extraordinairement nombreux caractérisent les relatifs dépôts marneux-calcaires.

Mais si l'affaissement, spécialement postriasique, conduisit dans l'ensemble et peu à peu les régions en examen à l'état pélagal avec dépôt tranquille de vases (à riche faune à Céphalopodes) comme la grande fosse vocontienne à faciès bathyal, ou même abyssal, avec les phénomènes annexes surindiqués, néanmoins ensuite, déjà à partir de l'époque jurassique et encore plus dans celle crétacée, commencèrent à s'ébaucher des émerisions partielles (soit par plissements en géoantichlinal, soit par soulèvements marginaux des synclinaux), y prenant naissance plusieurs faciès sédimentaires-biogéniques, comme celui à Laminaires (à Fucoïdes), celui coralligène (à Dicératides, Nérinées, etc. avec passages aux récifs coralliens) et enfin localement se vérifiant des faciès côtiers, parfois bréchoïdes (à *Mytilus*) et même (p. ex. dans le Jura par des exondations notables) des régions marécageuses ou lacustres (*Pourbeckien*) à Physides, Planorbides, etc.

Ces phénomènes continuèrent dans les régions circumalpines même pendant l'époque crétacique, y prédominant les zones à mer assez profonde (type pélagique), et par conséquent les puissants dépôts vaseux, vers l'axe cristallin de la Chaîne alpine; tandis qu'ailleurs prédominait le faciès organogénique (*Urgonien* l. s.) ou le faciès littoral ou de basse mer (à dépôts un peu sableux) avec plusieurs oscillations et çà et là, spécialement vers le Jura, se vérifiant des soulèvements et par conséquent des émerisions telles d'y constituer des zones lagunaires, lacustres (*Valdonnien*, *Bégudien*, *Fuvélien*, *Rognacien*, etc.) et même complètement émergées, si bien que put y prendre naissance le phénomène *sidérolithique*.

Si l'Ere mésozoïque correspondit dans l'ensemble à une phase de dépôt marin plutôt tranquille et assez profond, bien que très variée dans les différentes parties de la région alpine, néanmoins s'y vérifièrent aussi des mouvements orogénétiques successifs, si bien que dans la période crétacique la mer fut excluse d'une grande partie de la région alpine principale, y revenant pourtant encore partiellement par une notable accentuation de certaines zones de géosynclinal. Dans celles-ci, entre plusieurs reliefs alpins façonnés à îlots (*Argentera*, *Pelvoux*, etc.), se déposèrent sous différente forme (argileuse, sableuse et calcaire, spécialement dans la partie inférieure et moyenne, et parfois même caillouteuse dans la partie supérieure) avec puissance variable (souvent très grande) les formations bien connues, très puissantes et variées, du *Flysch* éocénique, souvent nummulitifère et variablement fossilifère vers la base; formation que nous voyons en effet si bien s'insinuer dans le cœur des Alpes, p. ex. avec la fameuse zone des Aiguilles d'Arves, qui de l'ample golfe triangulaire de Porto Maurizio pouvait probablement à l'origine se pousser à N. N. E. jusqu'à se relier aux formations contemporaines du Valais.

Au contraire dès l'Eocène le mouvement orogénétique ascensionnel de la grande région ondulée

du Jura la transforma en région partiellement lacustre (avec Planorbides, Limnées, Paludines, Cyrènes, etc.) ou émergée avec grand développement du phénomène sidérolithique, c'est-à-dire corrosions, dissolutions et localement dépôts argileux-ferrugineux, etc., tandis qu'y prospéraient les Lophodontes, les Paléothériums, les Anoplothériums, etc.

Mais à la fin de la période éocénique les efforts orogénétiques, qui avaient successivement fait plisser peu à peu la région alpine, s'y accentuèrent avec une puissance et une violence si extraordinaires (plissement *alpin*, analogue au précédent *hercynien* qui clôtura l'Ere mésozoïque) que ses anciennes ondulations se serrèrent, de nouveaux et forts plis se formèrent spécialement dans les régions géosynclinales, qui, comprises et comprimées entre les Massifs demi-rigides (obligés à se rapprocher comme les mâchoires d'une tenaille gigantesque), se transformèrent généralement en régions géoantyclinales, dont surgirent plusieurs plis plus ou moins accentués; p. ex. dans la zone du Briançonnais, dans une grande partie des zones mésozoïques, spécialement métamorphiques, etc.

En outre par cette poussée orogénétique alpine très intense les plis anciens et nouveaux, pris et comprimés comme dans un énorme étau, non seulement se rapprochèrent, s'entassèrent, se fracturant çà et là, mais ils se soulevèrent plus ou moins subverticalement produisant des amplex et notables émergences des régions alpines. De plus plusieurs des anticlinaux plus élevés commencèrent à fléchir, à se voûter et à s'abattre dans leur partie haute, d'un côté ou de l'autre, selon la direction de la poussée plus grande ou de l'obstacle plus rigide, formant ainsi des plis couchés qui ensuite, se prolongeant toujours plus (avec l'accompagnement relatif de fractures, de glissements plus ou moins étendus, de chevauchements plus ou moins compliqués, etc.), se superposèrent à d'autres terrains d'âge différent et de tectonique différente de façon à provoquer la formation des *nappes de charriage*.

De cette manière, s'esquissant une fois mieux, la Chaîne alpine émergea finalement de la mer, touchant ainsi alors avec la partie supérieure des anticlinaux, des altitudes très remarquables. Si la région des Alpes Occidentales, après des périodes de soulèvement plus accentué, fut soumise à des phases importantes d'érosions intenses, ainsi que p. ex. vers la fin de l'Ere paléozoïque et (bien moins) de l'Ere mésozoïque, néanmoins c'est spécialement après le gigantesque mouvement orogénétique qui ferma la période éocénique que la région alpine passa définitivement de la phase plus ou moins lithogénique, sédimentaire, positive, dirais-je, de constitution, à la phase négative, dirais-je, c'est-à-dire essentiellement d'érosion, de destruction.

Depuis lors à travers les millions d'années correspondants aux époques oligocénique, miocénique, pliocénique et quaternaire la Chaîne alpine, qui petit à petit émergeait et s'exhaussait, fut continuellement altérée, désagrégée à la surface par les agents chimiques et physiques, conséquemment peu à peu dénudée, décapée, abrasée, érodée et creusée de la façon la plus grandiose, variée et presque labyrinthe, mais dans l'ensemble premièrement et plus profondément en sens transversal (spécialement à l'intérieur de l'arc alpin qui présenta en conséquence ses vallées incisées presque sous forme de rayons concentriques vers la Plaine du Piémont) qu'en sens longitudinal (avec la décapitation relative de nombreuses vallées transversales), à cause de la plus forte action des eaux descendant directement et sous forme torrentielle de la ligne de partage alpin aux amples régions déprimées circumalpines.

Par conséquent dans les dépressions correspondantes actuellement au Plateau molassique suisse, au Bassin du Rhône et au Bassin du Pô prit à s'accumuler (sous forme de cailloutis, graviers, sables et vases) l'immense quantité de matériaux qui étaient continuellement arrachés à la région alpine et charriés dans les régions plus ou moins géosynclinales, ou simplement déprimées, ma-

rines-lacustres environnantes, les remplissant ainsi par des dépôts plus ou moins grossiers terrigènes. Ainsi quelques milliers de mètres de couverture alpine furent successivement peu à peu abrasés à partir de l'époque éocénique jusqu'aujourd'hui (Voir les Coupes géologiques); tandis que, presque comme compensation, cette Chaîne subissait des mouvements orogénétiques lents ou rythmiquement brusques, spécialement positifs ou de soulèvement, alternés pourtant avec des périodes de pause et peut-être même de relative dépression ou de tassement, au moins partiel.

Intéressant en égard aux transgressions est p. ex. le Groupe de Voltri qui dans sa partie centrale montre la superposition absolument transgressive des couches oligocéniques subhorizontales aux Schistes cristallins subverticaux, nous y indiquant une longue phase de profondes et grandioses abrasions pendant les périodes crétaciques et éocéniques.

La région alpine pr. d. étant passée, après l'Eocène en général, de la phase lithogénique (diagénétique, souvent avec métamorphisme) à la phase orogénique (diastrophique ou endodynamique) et d'érosion (ésogénétique et glyptogénique) qui, reprenant le cycle, donne naissance ensuite à de nouvelles sédimentations, il semblerait que de cette région on ne puisse plus suivre l'histoire géologique, sauf qu'en indiquant en général le processus d'abrasion intense auquel elle a été essentiellement assujettie.

Mais heureusement nous pouvons trouver dans la nature des sédiments très puissants qui se sont formés dans les Bassins circumalpains une série de données qui servent à éclairer quelques phénomènes s'étant vérifiés dans la Chaîne alpine à partir de l'époque éocénique.

Avant tout en effet nous remarquons qu'en général les dépôts oligo-mio-pliocéniques des Bassins extérieurs à l'arc alpin (celui dit *molassique*, en grande partie suisse, entre les Alpes et le Jura, et celui très ample *rhodanien* entre les Alpes Occidentales et le Plateau central, avec la vaste appendice ou sinuosité de la Vallée de la Durance jusqu'à Digne, etc.) sont à type plus néritico-littoral, souvent même marécageux-lacustre, que non les dépôts contemporains du fameux Bassin tertiaire du Piémont, ce qui nous indique que la Chaîne arquée des Alpes Occidentales n'émergea pas uniformément, mais avec une intensité plus grande (dans l'ensemble) sur le côté extérieur que non sur l'intérieur de l'arc alpin.

Bien mieux dans la partie intérieure de l'arc alpin occidental dut se vérifier, jusqu'à la fin du Tertiaire, un mouvement rythmique plutôt descendant, ce qui nous explique soit la nature essentiellement marine de la série tertiaire piémontaise, soit la puissance énorme (plusieurs milliers de mètres) de cette série, soit l'effondrement qu'a subi sur une si vaste étendue la Chaîne alpine dans sa partie marginale intérieure, ainsi que l'indique assez bien la disparition (sous la Plaine du Biellais-Canavais) des zones cristallines insubriennes avec le vaste manteau relatif paléo-mésozoïque, comme aussi le manque de presque la moitié du Massif de Dora-Maira, etc., ainsi que j'ai cherché à l'esquisser soit, dès 1890, dans la petite carte annexe à une note sur « *La Géotectonique de la Haute Italie Occidentale* » soit dans la carte géologico-tectonique annexe à cet ouvrage, avec la reconstruction idéale du littoral subalpin Arona-Turin-Fossano et Coni, selon qu'il devait être à peu près pendant l'époque oligo-miocénique; ce qui est aussi clairement indiqué par la direction de la Colline de Turin-Casal et par la nature lithologique des cailloux de ses formations oligo-miocéniques, de même que par la grossièreté de ces dépôts à type littoral.

C'est-à-dire que la région arquée alpine occidentale aurait dans l'ensemble subi pendant l'Ere tertiaire presque une sorte de mouvement à bascule avec émergence graduelle prédominante à l'extérieur (suisse-français), pourtant avec des périodes d'arrêt relatif et même de dépression, et au contraire de graduelle immersion prévalente à l'intérieur (piémontais); mouvement qui du reste est très naturel pour la zone intérieure ou concave d'un relief arqué qui s'accroît, comme c'est

précisément le cas pour le grand relief alpino-occidental courbé, ouvert vers l'Est, et par conséquent se déprimant du côté oriental, ou du Piémont, pendant sa surrection général à la suite des mouvements orogénétiques successifs.

En outre le classique Bassin tertiaire de Piémont avec sa très puissante série sédimentaire, constituée par une alternance assez régulière de dépôts marins assez profonds et tranquilles, correspondants aux étages préféremment marneux du *Bartonien*, *Etampien*, *Langhien* (où le Géosynclinal du Bassin néogénique du Pô toucha sa plus grande profondeur), *Tortonien*, *Plaisancien*, et de dépôts de basse mer ou littoraux ou même deltoïdes, correspondants aux étages gréseux-sableux, souvent aussi avec intercalations caillouteuses, du *Tongrien*, *Aquitainien*, *Helvétien*, *Messinien* et *Astien*, je crois puisse constituer un instrument précieux (un *Orogénomètre*, dirais-je) pour registrer les palpitations successives ou mouvements orogéniques, assez rythmiques, subis par la Chaîne alpine pendant le Cénozoïque ce que j'ai déjà esquissé dans une note spéciale sur la « *Classification des terrains tertiaires conforme à leurs faciès - 1887* » (1).

Il est probable en effet qu'à chaque période d'effondrement, plus ou moins grand, des synclinaux cénozoïques circum ou subalpins et de celui piémontais en particulier, correspondit d'abord une sédimentation de profondeur plus grande, par conséquent plutôt vaseuse (représentée aujourd'hui par une prévalence de marnes), passant néanmoins peu à peu à une sédimentation plus grossière, à galets, de basse mer, etc. avec tendance graduelle au remplissage du Bassin, jusqu'à ce qu'une nouvelle période d'effondrement de ce Bassin y ramenait la phase de sédimentation vaseuse et ainsi de suite, se vérifiant des oscillations répétées et par conséquent plusieurs cycles sédimentaires successifs.

Mais dans la proche Chaîne alpine il devait arriver qu'à chaque soulèvement plus intense ou rajeunissement orographique, succédait naturellement une phase de plus grande érosion générale (avec la progressive dénudation, décapitation des hautes parties des anticlinaux de façon à en faire apparaître les zones plus profondes granitiques, gneissiques, etc. selon la constitution des anticlinaux), de plus un grand creusement vallif, en corrélation même probablement avec des précipitations plus abondantes de pluies et de neiges (que nous savons être si intimement reliées avec l'altitude des montagnes) et conséquemment une période de fluitations plus abondantes, plus grossières, sablonneuses, même à graviers et galets, spécialement dans les régions marginales des Bassins tertiaires circumalpins.

C'est-à-dire que nous avons ici un exemple splendide de la loi de la recourance ou alternance des phases de pénéplanation et de rajeunissement des continents, en corrélation avec les périodes de lente accumulation de tension de la croûte terrestre jusqu'à une certaine limite, après quoi se vérifient plus ou moins rapidement des déformations, un diastrophisme et un relatif rajeunissement orographique, auquel succède ensuite une autre phase de repos ou pause orogénique qui permet une nouvelle pénéplanation et ainsi de suite. En effet de ce que je viens d'exposer nous pouvons déduire que les phases les plus grandioses d'abrasions (avec tendance à la pénéplanation) de la Chaîne alpine, phases qui sont en partie reliées et successives aux efforts orogénétiques plus intenses qui tourmentèrent les Alpes Occidentales, y produisant des périodes de rajeunissement pendant l'Ere cénozoïque, se vérifièrent presque rythmiquement, d'une manière spéciale aussitôt

---

(1) Du reste ces oscillations orogéniques ou analogues représentent des phénomènes assez généraux, comme il résulte par exemple de la Note de Stille « *Senkungs-Sedimentations-und Faltungsraume -1912* » et, pour l'Amérique Septentrionale, du récent ouvrage de Schuchert sur « *The delimitation of the Geol. Periods - 1913* ».

après la fin de l'époque éocénique (c'est-à-dire dans la période *tongrienne* de l'Oligocène), au début (*Aquitainien*) et à la moitié environ (*Helvétien*) de l'époque miocénique, pendant l'époque mio-pliocénique (*Messinien* l. s.) et à la fin (*astien-villafranchien*) de la pliocénique.

Naturellement dans ces moments successifs d'Orogénèse plus intense les plis alpins durent toujours plus se rapprocher, se comprimer et se soulever; souvent les géosynclinaux se changèrent en anticlinaux et les anticlinaux anciens ou nouveaux se renversèrent dans leur partie élevée, s'affaissant de différente façon et étant déjetés plus ou moins, parfois au point d'étendre les nappes anciennes et d'en former des nouvelles, même superposées aux premières, avec les phénomènes relatifs et connexes d'étirements, fractures, décollements, glissements, etc.

Il faut aussi noter qu'une partie des Bassins circumalpains, façonnés plus ou moins régulièrement à géosynclinal, à la suite de l'accentuation des compressions transversales dut forcément se changer en région de géoanticlinal, ainsi que nous l'indiquent les bombements ou plis embryonnaires ou axes anticlinaux de la Molasse suisse (parmi lesquels prédomine un *pli anticlinal molassique* submédián) comme aussi le presque correspondant et complexe anticlinal des Collines de Turin-Casal-Valence, surgies peu à peu à la fin de l'époque miocénique du Bassin marin où il y avait encore vers la moitié de cette époque (dans la période langhienne) un profond géosynclinal.

Ce phénomène d'un géosynclinal cénozoïque s'étant changé seulement à la fin du Miocène en géoanticlinal formant une colline élevée plusieurs centaines de mètres, est très intéressant; soit comme un exemple relativement récent de ce qui dut se vérifier plusieurs fois sur une plus vaste échelle et bien plus puissamment dans les anciens géosynclinaux alpins changés (dans le renferment des Massifs cristallins) en grandioses, complexes et puissants géoanticlinaux, ceux justement qui constituèrent la Chaîne des Alpes; soit parce que ce phénomène géo-tectonique prélude à d'autres analogues successifs, auxquels est due en quelque partie l'origine des grands Bassins lacustres subalpins s'étant constitués, comme tels, spécialement à la fin de l'Ere cénozoïque.

Néanmoins ces mouvements orogénétiques intenses qui se sont vérifiés pendant l'Ere cénozoïque, comme déjà avant et même après, ne se manifestèrent pas toujours avec des plissements, mais parfois aussi avec des fractures, çà et là de vrais réseaux de fractures, comme dans le Jura, sur de vastes régions de la Provence, etc., spécialement où les efforts tangentiels se combinèrent parfois avec des phénomènes de tassement et où il y avait des gros bancs rigides.

Une des plus importantes lignes de faille fut celle qui engendra une grandiose et complexe ligne de contacts anormaux, de chevauchements, etc., dans la Zone des Aiguilles d'Arves-Col de Tende, etc. La *Zone des Cols*, entre les Hautes Alpes calcaires et les Préalpes septentrionales, correspond aussi à une ligne complexe de failles et de conséquents chevauchements variés et gigantesques.

Qu'on remarque que pendant l'époque miocénique, par un notable mouvement d'affaissement et de submersion sur des régions étendues du Jura méridional, de la Savoie, du Dauphiné et de la Provence, la mer envahit une partie notable de ces régions, spécialement disposées à synclinal pénétrant soit dans des sinuosités multiples, soit spécialement dans des bras longs et étroits entre les reliefs (dans l'ensemble d'anticlinaux) crétaciques, à peu près selon que se présente aujourd'hui la côte dalmatique; s'y vérifiant ainsi la formation plus ou moins transgressive de longs et étroits dépôts oligocéniques et miocéniques sur les dépressions (préféremment synclinales) de terrains crétaciques.

Mais enfin les puissants mouvements épéirogéniques produisirent la surrection complexivité et définitive de la Chaîne du Jura, qui dans la partie méridionale fut un peu déviée à Sud à cause du Môle souterrain cristallin que représente le prolongement oriental du Massif central de la France.

En outre il est notable que la Molasse miocénique s'appuie doucement aux chaînons du Jura, tandis qu'au contraire elle prend part tout à fait aux dislocations, même aux renversements, des formations alpines; fait très intéressant aussi parce qu'il prouve l'âge relativement récent, post-miocénique, des grandioses dislocations (accompagnées de deversements, de chevauchements, etc.), qui déformèrent une grande partie des terrains des Alpes Occidentales.

En attendant dans les grands Bassins marins circumalpins de la Suisse, du Rhône et du Pô, pendant l'Ere cénozoïque médio-supérieure se développait une très riche Faune à climat relativement chaud ou assez doux, or de mer basse or de littoral ou de marécage selon les différents moments géologiques et les différentes régions; en même temps, mais essentiellement dans la partie extérieure de la Chaîne alpine, sur les régions émergentes, en phase deltoïde, lagunaire ou lacustre, ou émergées en forme continentale, vivait une Faune caractéristique soit d'Invertébrés soit de Vertébrés, en premier lieu (dans l'Oligocène) à Antracotheriums, Acératheriums, Crocodiliens, Trionycides, etc., ensuite à Dinotheriums, Mastodontes, etc., tandis que se développait aussi une abondante Flore de climat premièrement tropical et luxuriant dans l'Oligocène (avec Fougères, Palmiers, Canneliers, Camphriers, etc.) et ensuite de climat doux-tempéré.

Déjà pendant la seconde moitié de l'époque miocénique, c'est-à-dire après l'Helvétien, par le double phénomène du soulèvement et du remplissement, la mer avait dû se retirer du Bassin molassique de la Suisse et d'une bonne partie de celui du Rhône, s'y succédant des phases lacustres ou fluvio-lacustres avec flores et faunes correspondantes, c'est-à-dire celles typiques de l'*Oeninghien*.

Peu après, pendant la période du Miopliocène, la phase émergitive devint plus intense et presque générale, s'étendant le faciès sarmatique ou pontique ou arabo-caspien ou méotique, avec une riche flore et la caractéristique faune marécageuse à Dreissènes (Congéries), Cardiums, Néritines, Mélanopsides, Mélanies, Cerithides et les dépôts connexes gypseux, salins, etc., en outre de puissantes fluitations deltoïdes de matériel grossier.

Ensuite pendant l'époque pliocénique, tandis que le Bassin du Pô avait subi un nouvel affaissement au point de redevenir assez profond et d'accueillir la très riche et bien connue Faune des vases *plaisanciennes* et des sables *astiens*, le Bassin suisse, malgré les affaissements finals qui préparèrent un peu les grandes dépressions lacustres, était passé en très grande partie à la phase continentale, et presque tout le Bassin rhodanien s'était changé aussi en une ample région lacustre (p. ex. le Lac bressan) ou fluvio-lacustre (faciès *levantinien*) avec la typique faune à Paludines, Planorbides, Limnées, Unionides, etc., ainsi que Mastodontes, Eléphants, Tapirs, Rhinocéros, etc. et y commençaient en certaines régions les phénomènes de creusements et de remblayements fluviaux.

Mais finalement avec la clôture de l'Ere cénozoïque le mouvement orogénétique et celui épéirogénétiq ue ou d'élévation générale arrivèrent à une telle intensité dans toute la Chaîne alpine et dans la région circumalpine environnante que même le Bassin du Pô, colmaté peu à peu pendant le Cénozoïque par une série sédimentaire de l'épaisseur de plusieurs milliers de mètres, après être passé à travers une rapide phase marécageuse (*Fossanien*) se changea en région de deltas et fluvio-lacustre (*Villafanchien*) habitée par des Eléphants, Mastodontes, Rhinocéros, Cervidés, Bovidés, etc. et relative faune invertébrée (à Helix, Triptychies, Vivipares, etc.), et riche flore encore à type tempéré chaud.

La mer fut ainsi repoussée jusqu'à peu près dans ses limites actuelles, tandis que la Chaîne alpine se soulevait de presque un millier de mètres, car dans les régions subalpines et préalpines nous trouvons des dépôts pliocéniques de mer assez profonde (*plaisanciens*) à plus que 550 m. s. l. m. (Mondovi, San Bartolomeo de Salò, etc.).

Remarquons, quant à l'intensité du mouvement orogénétique s'étant accompli dans la Chaîne alpine de l'Oligocène au Néozoïque, qu'en certains points de cette Chaîne se trouvent les dépôts marins de l'Eocène supérieur portés à presque 3000 m. (M. Enchastraye dans les Alpes Maritimes) et même au-dessus de 3500 mètres, comme aux Aiguilles d'Arves, ce qui, en tenant compte de l'énorme abrasion post-éocénique, nous prouve la grandeur du soulèvement s'étant vérifié dans la région alpine de l'Oligocène jusqu'aujourd'hui, en général plus intensément dans la partie subcentrale qu'à la périphérie.

En même temps naturellement si les Massifs anciens cristallins en général jouèrent alors un rôle un peu passif, ou au moins de parties rigides des étaux orogénétiques qui se resserraient toujours plus, nombre des précédents plis alpins, non encore complètement roidis et spécialement les méso-cénozoïques, sous l'action combinée de l'effort tangentiel et de la surcharge, subirent, à cause spécialement des compressions accentuées de ces tenailles gigantesques, des nouveaux rapprochements, des soulèvements en général, des déformations, des affaissements dans leur partie supérieure (d'où résultèrent des disharmonies entre les plis superficiels et les plis profonds), des fractures avec glissements, etc.; se vérifiant aussi des nouveaux plissements, de même que des développements ultérieurs et des glissements subhorizontaux de certaines nappes. En outre se dessinèrent aussi parfois des ondulations, des sortes de vallées transversales, presque perpendiculaires au plissement général de la Chaîne alpine.

En corrélation avec le mouvement orogénétique très intense surindiqué qui clôtura l'Ere cénozoïque, tout en se continuant encore à rythmes dans le Néozoïque (mouvement qui dut aussi influencer beaucoup en général sur la forme, l'ampleur et la relative évaporation des Bassins marins et lacustres, sur la répartition des terres, des lacs et des mers, sur la direction et la nature des courants marins et atmosphériques, par conséquent sur la Climatologie, faisant augmenter les précipitations atmosphériques sur les montagnes, etc.), s'étant peu à peu soulevé l'ensemble de la Chaîne alpine d'environ un millier de mètres, naturellement les précipitations neigeuses y devinrent plus abondantes, la ligne des neiges persistantes, avec des oscillations répétées pseudorythmiques, descendit beaucoup plus bas et devint naturellement bien plus étendue qu'avant.

Conséquemment, tandis qu'au cours de certaines périodes (*Tongrien, Aquitainien, Helvétien, Messinien*) de l'Ere cénozoïque déjà probablement s'étaient constituées dans les Alpes des formations glaciaires plus ou moins importantes (peut-être d'abord encore un peu à type scandinave, à cause aussi de l'incomplet creusement vallif de la Chaîne alpine, à l'origine plus uniforme au point de vue orographique), à la fin de cette Ere au contraire les Glaciers, alimentés par des grands et puissants névés et par des abondantes et imposantes avalanches de neige, canalisés et encaissés dans les profondes vallées protectrices, purent constituer des vrais fleuves de glace, qui, limant et arrondissant le flanc et le fond des vallées et les nettoyant des débris qu'ils transportaient vers le bas, descendirent en grande partie jusqu'à déboucher hors de la région alpine, s'élargissant plus ou moins amplement sur les régions de plaine subalpines.

Ainsi en quelque corrélation avec des successifs et plus ou moins rythmiques mouvements orogénétiques, alternés avec des mouvements d'arrêt et même de tassement relatif, se développa le phénomène glaciaire qui, ayant débuté même sur une vaste étendue, mais essentiellement comme fluvio-glaciaire, à la fin de l'époque pliocénique (*stade gunzien* et peut-être aussi *mindélien*, auxquels correspond le dépôt d'une grande partie des *Deckenschotter*, des *Ceppo* et des *Alluvions anciennes* en général), s'accrut ensuite d'une façon extraordinaire dans la suivante époque plistocénique, dite par conséquent justement aussi *Epoque diluvio-glaciaire*, avec plusieurs périodes d'avancement, comme spécialement: 1°) le *stade rissien* à faciès essentiellement fluvio-glaciaire, correspondant dans

l'ensemble aux dépôts diluvio-morainiques plus extérieurs (le *Drift extramorainic* des Anglais), déprimés, altérés, passant souvent au *Diluvium ancien*, aujourd'hui ferrettisé, et plus ou moins aux alluvions des plateaux ou hautes terrasses, souvent avec des dépôts de *loess-lehm*, et 2°) le *stade wurmien*, correspondant au dépôt typique à hautes et grandioses moraines bien conservées, presque sans manteau de loess, des *Amphithéâtres morainiques* (le *Drift intramorainic* des Anglais) et des relatives alluvions des terrasses hautes et moyennes.

De cette manière, pendant les phases de plus grande glaciation de l'époque pliocénique, les Alpes Occidentales furent dans leur région intérieure ou axiale en grand partie couvertes par le manteau glaciaire, d'où émergeaient les dos intervallifs. Les fleuves de glace qui en dérivèrent et descendaient encaissés dans les vallées alpines du côté intérieur de l'arc alpin touchèrent en partie la plaine du Pô, y déposant les Amphithéâtres morainiques compliqués de Rivoli (Doire R.), de Ivree (Doire B.), des lacs d'Orte et Majeur (Toce et Tessin), du lac de Côme (Adda), etc.; tandis que du côté extérieur ils s'élargissaient immensément se poussant jusqu'aux alentours de Gap (Durance), de Grenoble (Isère), de Genève, de Lyon (avec une énorme expansion spéciale), etc. Le glacier du Rhône avait en effet occupé amplement toute la grande conque genevoise, comme un immense lac glaciaire de regonflement des glaciers du Groupe de l'Aar, etc., s'étendant vers N. O. au delà de Solothurn, et vers le Sud et S. O. jusqu'au Lyonnais, malgré l'haut barrage calcaire formé par le Jura; de plus dans une période de plus grande expansion (*rissienne*) ce glacier gigantesque descendant des Alpes réussit (s'élevant à plus de 1400 m.) à recouvrir et surpasser même une partie du Jura méridional, qui eut du reste aussi quelque formation glaciaire propre, avec moraines spéciales à éléments calcaires, jurassiens, qui restèrent mélangés pourtant parfois à ceux charriés par les glaciers alpins.

Naturellement en corrélation avec ces grandioses expansions glaciaires se vérifièrent alors (soit par des pluies très abondantes, soit par une extraordinaire fonte des neiges et des glaciers) des immenses fleuves qui, s'élargissant d'une façon grandiose sur les régions de plaine circumalpines, y déposèrent des formations diluvio-glaciaires et diluvio-alluviales, des plus anciennes, pliocéniques (*Deckenschotter*, *Ceppo*, etc. p. p.), aux pliocéniques (*Diluvium*, *Alluvions des Plateaux et des Terrasses supérieures et moyennes*).

C'est pendant cette importante période diluvio-glaciaire, tandis que les grands fleuves débouchant des vallées alpines alluvionnaient et par conséquent remplissaient et nivellaient les grands Bassins circumalpines (les transformant en des régions de plaine fertiles qui devaient ensuite devenir des centres très importants de l'activité humaine), que dans les régions alpines les gigantesques masses de glace en mouvement, lissant, érodant, nettoyant certaines zones des débris, etc., modelaient et plasmaient d'une façon spéciale et sur des vastes zones l'orographie superficielle alpine, en adoucissant les aspérités, spécialement aussi au moyen des dépôts morainiques, qui, avec les alluviaux du fond de vallée, transformèrent une partie des âpres et rocheuses régions alpines en zones douces et aptes au développement humain.

Non seulement l'Hydrographie superficielle mais aussi celle souterraine présentèrent alors un accroissement extraordinaire d'activité d'où dérivèrent plusieurs phénomènes comme: à la surface terrestre, des grandioses et profondes érosions, incisions, creusements, etc. et, sous terre, une intense corrosion physico-chimique qui engendra ou amplia une grande partie des grottes et accentua le carsisme en général.

En outre des nombreuses moindres oscillations qui se vérifièrent dans le développement glaciaire, spécialement (même plusieurs dizaines) pendant la période des Amphithéâtres morainiques, il y eut entre les grandes périodes glaciaires (c'est-à-dire de plus intense glaciation, à climat

arctique) des périodes dites interglaciaires, caractérisées par un climat plus doux, un peu steppique, moins humide, etc., pendant lesquelles la ligne des neiges s'exhaussa et la glaciation alpine se réduisit un peu. Par conséquent les fronts des glaciers se retirèrent d'une façon plus ou moins notable de la périphérie des Alpes, tandis qu'en attendant se vérifiaient des érosions étendues, des creusements, des remblayements et des dépôts plus ou moins tranquilles fluvio-lacustres, souvent de *loess*, de *lehm*, etc.

Pendant l'Ere quaternaire la plus importante des périodes interglaciaires fut celle dite *riss-wurmienne*, qui se vérifia entre la première ou ancienne grande fluvio-glaciation (*rissienne*) et la seconde ou jeune grande glaciation (*wurmienne*) du Plistocène; ce qui eut une influence notable soit sur la nature des dépôts (ça et là fluvio-lacustres et éluviens, avec *loess*, *lehm*, etc.), soit sur le développement des Faunes (avec Eléphants et Rhinocéros) et des Flores (parfois à forêts d'arbres à feuilles caduques, un peu analogues à ceux de l'actuelle *Flore du Chêne* de l'Europe septentrionale), soit aussi sur l'évolution humaine.

Déjà à la fin de l'époque pliocénique la Climatologie qui devenait toujours moins douce en Europe avait fait disparaître une grande quantité de plantes et d'animaux cénozoïques, y comparissant beaucoup des éléments quaternaires, parmi lesquels commençait peut-être à se développer l'*Homme éolithique* ou *préchéelléen*.

Mais pendant l'ancienne période fluvio-glaciaire (*rissienne*) du Plistocène, par le climat devenu à type arctique, humide, avec la ligne des neiges basse et les glaciers et les grands fleuves relatifs très développés, on vérifia un très fort appauvrissement de la Flore et de la Faune par la destruction et l'émigration d'une grande partie des formes cénozoïques repoussées des régions alpines et circumalpines par ce fort et défavorable changement hydrographique et climatologique; y restant seulement plus une Flore et une Faune à type arctique-alpin avec l'Eléphant primigène ou Mammouth, le Rhinocéros thychorin ou lanigère, etc. Néanmoins quelque retour plus ou moins long et important (comme spécialement le susdit *riss-wurmien*) se vérifiait de plantes et animaux à climat plus doux, steppique ou forestal ou même océanico-tempéré, selon les temps et les lieux, quand survenaient les périodes interglaciaires.

Et cependant à l'*Homme éolithique* du Pliocène succédait l'*Homme paléolithique*, primigène, paléanthropoïde ou protanthropoïde, pithécoïde ou négroïde, qui, de la vie qu'il conduisait premièrement à l'air libre, le long des fleuves (quand le climat plus doux permettait aussi le développement de l'Eléphant ancien, du Rhinocéros de Merck, etc.), commença à devoir chercher un abri contre les intempéries dans les grottes, sous les roches et dans des cabanes primitives.

Après l'importante phase interglaciaire *riss-wurmienne*, avec le début de la seconde ou jeune grande Période glaciaire (*wurmienne* l. s.) du Plistocène, les régions alpines ou mieux circumalpines retournèrent à la climatologie arctique-humide tandis que se constituaient les fameux Amphithéâtres morainiques subalpines, contemporains de la grandiose autant que complexe *Moraine de la Baltique* dans l'Europe centro-septentrionale et de la *Great Kettle Moraine* (de la période *Wisconsin* l. s.) dans l'Amérique du Nord.

Sur le bord des Alpes se constituèrent des zones étendues analogues aux tundres actuelles (spécialement sur le versant septentrional), labourées par des fleuves même imposants et habitées par l'Eléphant primigène ou Mammouth, le Rhinocéros lanigère, le Renne, plusieurs Cervides, Bisons, Aurochs, Chamois, Chevaux, Marmottes, Lemnings, etc., c'est-à-dire par une faune de climat froid-humide essentiellement arctico-alpin ou glaciaire-arctique; ou bien autour des fronts des grands Glaciers descendants des Alpes s'étendaient de vastes régions forestières analogues aux actuelles de l'Alaska, avec des marécages, etc.

C'est spécialement pendant ces périodes diluvio-glaciaires qu'une partie de la Faune alpine et circumalpine chercha un abri dans les cavernes contre les rudes conditions climatologiques, se constituant ainsi des formes spéciales, spéléennes, d'Ours, Hyènes, Lions, Loups, etc.

L'Homme paléolithique aussi ressentit fortement l'influence de la Climatologie diluvio-glaciaire, devenant d'une façon étendue l'habitant des cavernes (p. ex. des très nombreuses de la Ligurie), des abris sous-roche et de misérables huttes. Mais, malgré les habitudes troglodytiques ou analogues et la constitution préféremment négroïde de la plus grande partie des races humaines vivant alors autour des Alpes (bien qu'à une plus ou moins grande distance d'elles), les conditions matériellement défavorables du milieu en développèrent l'énergie et la volonté, en favorisèrent et aiguïsèrent la progressive évolution mentale, ainsi que nous l'indique l'usage du feu, le perfectionnement des armes de chasse et de pêche, de plusieurs instruments et ustensiles et spécialement les aptitudes artistiques révélées par les nombreux ouvrages de sculpture, peinture, etc., caractérisant cette phase *glyptique* du Paléolithique supérieur, qui dut avoir plusieurs points de contact avec l'état actuel des Esquimaux.

En attendant, soit par l'érosion intense et variée s'étant vérifiée pendant la longue époque plistocénique de manière à abaisser un peu le relief général des Alpes, soit par une sorte d'affaissement ou de relâchement (peut-être aussi par le surcroît de pression produit par la masse alpine si fortement élevée) ayant succédé graduellement au gigantesque effort orogénique qui ouvrit l'Ere anthropozoïque, soit spécialement par des phénomènes oro-hydrographiques et climatologiques généraux indépendants de la Chaîne alpine, il arriva que sur celle-ci, un peu abaissée, devinrent peu à peu moins abondantes les précipitations atmosphériques, la zone des neiges persistentes s'étreignit et sa ligne s'exhaussa beaucoup; phénomène qui du reste se vérifia même récemment, p. ex. de quelques centaines de mètres pendant ces dernières quarante années.

Par conséquent dans la période holocénique les Glaciers *postwurmiens* commencèrent à se retirer assez rapidement dans leurs respectives vallées alpines, bien qu'avec des périodes successives d'arrêt (stades *buhlien*, *gschnitzien* et *daunien*, un peu analogues à celles des *Ra-Moraines* de l'Europe septentrionale), déposant ainsi des cordons morainiques et abandonnant de nombreuses dépressions, transformées bientôt en les mille lacs, devenus souvent ensuite des tourbières ou plaines fertiles de toutes formes et dimensions, disséminés aujourd'hui dans la région alpine et subalpine.

À la caractéristique phase diluvio-glaciaire ou de grandes crues du Plistocène suivit ainsi graduellement celle, assez moins pluvieuse ou de relative décrue, de l'Holocène. Les grands fleuves qui, débouchant des vallées alpines, s'étendaient auparavant impétueux et très amples sur les basses régions circumalpines, les remplissant d'alluvions grossières et ainsi souvent les nivellant, commencèrent à diminuer de volume et de force et par conséquent, après avoir déposé en général un voile de limon (*lehm*) sur les amples plaines avant de les abandonner, commencèrent à mieux dessiner leur cours et à affouiller leur lit, le terrassant souvent de différente façon (d'où le nom d'époque des Terrasses ou *Terrassien* qui fut aussi donné à cette seconde période, holocénique, de l'Ere anthropozoïque), tandis qu'ils déposaient des alluvions à cailloux, graviers et sables sur les divers étages du terrassement successif.

C'est alors que, dans cet espèce d'arrangement ou accommodement des cours d'eaux, se vérifièrent non seulement les individualisations des fleuves dans les plaines subalpines mais souvent aussi des captations, p. ex. du Gesso par la Stura près de Coni, des deviations, p. ex. celle très notable du Tanaro près de Bra, etc. En même temps se formaient çà et là des éboulis de pente, de cônes de déjection, des dépôts littoraux, de la tourbe, des travertins, etc., etc.

C'est peut-être en partie au tassement alpin surindiqué et aux relatives contrepentes subalpines, et peut-être aussi par un exhaussement de certaines régions circumalpines s'étant accentué à la fin de l'Ere cénozoïque, que, avec d'autres phénomènes importants, soit géo-tectoniques, soit de précédente érosion fluviale, soit ensuite de conservation (non pas de creusement) glaciaire, soit d'accumulations morainiques frontales du Wurmien, etc., est due la constitution des grands Lacs subalpins marginaux suisses et lombards. On peut admettre que à la suite de ces intenses efforts orogénétiques qui clôturèrent l'Ere cénozoïque et ouvrirent le Néozoïque, les grandes dépressions circumalpines, spécialement du Plateau suisse et du Bassin du Pô, continuèrent à mieux accentuer la transformation de leur géosynclinal en un géoanticlinal complexe, comme déjà l'indiqua clairement la formation des anticlinaux de la Molasse suisse, la naissance de la Colline de Turin à la fin du Miocène et plusieurs autres faits oro-hydrographiques.

Tandis que se vérifiaient ces phénomènes, sur une partie de la Chaîne des Alpes se développait une riche Flore forestière à type actuel et la Faune mammalogique (ayant disparu les Eléphants, les Rhinocéros, etc.) acquérait aussi graduellement la physionomie moderne avec les espèces actuelles de Bovides, Cervides, Chamois, Equides, Ursides, Sangliers, Suides, Marmottes, etc.

En attendant, l'amélioration climatique qui s'était vérifiée avec la fin du Plistocène avait eu aussi une notable influence sur l'évolution des races humaines, spécialement en favorisant les migrations vers les régions abandonnées peu à peu par les glaciers et par les fleuves s'étant retirés en des limites plus modestes.

Conséquemment par des successives invasions, provenant soit du Bassin méditerranéen soit de l'Asie et de l'Europe orientale, aux races primitives ou autochtones, plus ou moins pythécoides et négroïdes, en partie troglodytiques, du Paléolithique, prirent à se superposer, il y a plusieurs milliers d'années, des autres races plus élevées par caractères somatiques et par habitudes, constituant dans l'ensemble l'*Homme néolithique*, encore çà et là cavernicole et sylvicole, mais préféremment plutôt agriculteur et berger que non simplement chasseur comme auparavant, polisseur et travailleur soigné des pierres (Silex, Jaspe, Serpentine, Amphibolite, Euphotide, Jadéte, etc.) et plus tard des métaux, inventeur de plusieurs industries (spécialement de Céramique grossière), constructeur de forteresses primitives (comme les enceintes préhistoriques ou Castelars des Préalpes maritimes), avec des usages funéraires rituels plus ou moins compliqués, etc.

Ainsi l'Homme néolithique et ensuite des métaux, favorisé par l'amélioration climatique et hydrographique, non seulement étendait son domaine sur les plaines circumalpines en voie d'exondation et dans les régions subalpines à mesure qu'elles devenaient habitables, y établissant de nombreuses et caractéristiques stations ou villages lacustres et autres habitations primitives (comme huttes, cabanes, refuges variés), mais peu à peu il pénétrait aussi dans les vallées alpines comme chasseur de gibier ou chercheur de pierres et métaux, s'y établissant ensuite et s'y répandant comme berger et agriculteur, les remontant jusqu'à l'origine et amorçant ainsi, à travers les dépressions les plus marquées, les premières communications ethnographiques, commerciales, etc. entre l'un et l'autre des deux versants de la Chaîne alpine, qui entra ainsi dans le domaine de l'Histoire humaine.

Dès lors les Alpes prirent elles aussi à faire partie et même assez spéciale et importante du théâtre admirable où se joua une partie du rôle de la variée activité humaine, de ses formes les plus humbles de chasseur, berger, agriculteur, mineur, etc. jusqu'aux plus élevées de savant, d'artiste et de philosophe.

---

## OBSERVATIONS SUR LES CARTES ET LES COUPES GÉOLOGIQUES

---

### OBSERVATIONS SUR LA CARTE GÉOLOGICO-TECTONIQUE.

Il faut remarquer avant tout qu'il s'agit d'une petite Carte schématique dont l'échelle n'a pas permis des détails et des subdivisions minutieuses, qu'on peut trouver du reste dans les cartes géologiques officielles à 1 : 80.000<sup>e</sup> ou à 1 : 100.000<sup>e</sup> ainsi qu'en plusieurs cartes spéciales de différents auteurs.

C'est essentiellement une Carte démonstrative soit du développement soit de l'allure tectonique des formations principales dont quelques-unes durent parfois être exagérées pour qu'elles devinssent visibles.

Avec le *rouge pointillé* sont indiquées les formations essentiellement gneissiques, parfois même granitiques, d'âge un peu varié, mais à type le plus ancien et le plus intensément cristallin, au moins relativement aux formations environnantes.

Avec la *teinte rosée* est indiquée essentiellement la très puissante autant que complexe série des Schistes cristallins les plus variés (des Gneiss menus à toute sorte de Schistes micacés, chloritiques, talqueux, etc.) avec les connexes intercalations ou protrusions de roches massives de diverse nature et constitution qui semblent à rapporter spécialement au Paléozoïque moyen, bien que se reliant d'une façon assez étroite (au moyen de passages, entrecroisements, alternances, etc.) avec le Paléozoïque inférieur et d'une façon analogue remontant plus ou moins vers le haut au Paléozoïque supérieur; car ces Schistes (Casannaschiefer l. s.) parfois semblent correspondre à l'Anthracolithique (l. s.) puissamment métamorphosé, ce qui produit souvent des grandes incertitudes dans les déterminations chronologiques.

Certains Schistes cristallins supérieurs englobants des Calcaires cristallins et proches aux zones graphitiques (p. ex. dans le Massif Dora-Maira) on serait tenté de rapporter au Devonien par analogie avec quelques formations devoniennes un peu analogues d'autres régions; mais aujourd'hui trop de doute plane encore à ce sujet.

Les *zones rosées avec points bruns* (comme dans le Pignerolais) indiquent des formations profondément métamorphiques qui, par intercalations graphitiques, position stratigraphique et liaisons lithologiques, semblent à rapporter à l'Anthracolithique.

Avec la *couleur brune pleine* sont indiquées les formations anthracolitiques en général, de celles typiques fossilifères à celles plus ou moins métamorphiques qui pourtant dans l'ensemble se distinguent assez bien des Schistes cristallins du Paléozoïque moyen.

Qu'on note que dans la couleur de l'Anthracolithique sont inclus aussi, dans l'ensemble, les formations werfénienues du Trias inférieur, mais qui ont généralement le faciès détritique de l'Anthracolithique, dont en réalité elles représentent la continuation naturelle et la terminaison supérieure.

Quant à la série mésozoïque on a cherché de séparer les formations typiques normales, signalées avec les teints pleins (*violet, bleu et vert*) des métamorphiques indiqués avec les teints correspondants pointillés, bien que souvent il y ait dans le Trias-Jura des zones à type mixte et par conséquent de délimitation incertaine, incertitude qu'on rencontre souvent aussi dans la série argiloschisteuse-calcaire entre le Crétacé et l'Eocène de l'Appennin septentrional.

La distinction, faite sur la Carte géologique, du Trias du Jura-Lias dans les séries métamorphiques alpines est seulement tout à fait approximative, schématique et en partie même hypothétique, les fossiles manquant généralement dans cette série assez uniforme; parmi les critères directifs lithologiques pour cette distinction, qui représente actuellement une simple tentative de séparation chronologique, on a tenu compte soit de la tectonique soit du fait lithologique que les formations amphiboliques, prasinitiques et analogues semblent dominer dans la partie inférieure, triasique (où d'ailleurs comparaissent aussi souvent çà et là des

zones calcaires-dolomitiques à type triasique), que les formations serpentineuses prédominent dans la partie supérieure jurassico-crétacique de la série (métamorphique mésozoïque. Les formations amphiboliques et autres semblables déjà rares dans le Jurassique métamorphique des Alpes viennent presque à manquer dans le Crétacique métamorphique de l'Appennin septentrional.

Pour les terrains indiqués avec la *teinte jaune*, de l'Eocène, quelques incertitudes existent quant à certaines zones p. ex. dans le Gapençais, entre Gap et Digne, et en général entre le Dauphiné et la Provence, zones qui montrent des passages entre l'Eocène supérieur et l'Oligocène souvent à type demi-continental; qu'on remarque en outre que sont indiquées comme éocéniques des séries étendues et puissantes de grès et de Flysch supérieur que plusieurs auteurs considèrent déjà comme oligocéniques.

On a terminé à Nord la zone éocénique des Aiguilles d'Arves près de Moûtiers bien que dans les cartes géologiques officielles récentes soient indiquées des zones éocéniques jusqu'à l'extrémité méridionale du Mont Blanc. Il s'agit essentiellement de schistes plus ou moins gréseux et de couches bréchoïdes qui sont peut-être à rapporter plutôt au Jura-Lias que non à l'Eocène, sans qu'on puisse encore absolument exclure le manque total de résidus éocéniques. Il est du reste bien probable qu'à l'origine il existait des dépôts éocéniques dans le géosynclinal de Moûtiers-Sion, mais ils furent généralement emportés par la puissante abrasion postéocénique.

Avec la *teinte verte foncée rayée* on a indiqué toute la série oligo-miocénique par simplicité, bien qu'il aurait été intéressant de séparer l'Oligocène du Miocène ainsi que, pour le versant italien, je l'ai fait dans la *Carte géologique de l'Appennin septentrional et central, 1904*, où j'ai même marqué à part le Miopliocène.

En *bleu rayé* on a indiqué le Pliocène soit marin que lacustre et continental.

On a laissé en *blanc* seulement les aires néozoïques plus étendues et importantes négligeant les moindres, infiniment nombreuses, zones fluviales, morainiques, détritiques, etc. qui auraient enlevé de la clarté à la Carte géologique démonstrative; comme aussi on a laissé de côté des formations fluvio-glaciaires et morainiques éparses même sur une vaste étendue, p. ex. dans le Dauphiné occidental, sur le Plateau molassique suisse, etc. afin qu'apparût mieux le développement des terrains cénozoïques, spécialement miocéniques.

Dans certaines régions de la Plaine du Pô ou de la Mer tyrrhénienne on a marqué schématiquement avec des *couleurs atténuées* les développements probables des terrains plus ou moins anciens au-dessous de la couverture néogénique ou marine; il s'agit naturellement d'indications seulement théoriques (bien qu'appuyées sur des faits constatables de nature lithologique et d'allure tectonique des régions subalpines plus ou moins voisines, par la nature des cailloux englobés dans les terrains tertiaires, comme dans les Collines de Turin-Casal, etc.) mais qui, malgré leur valeur hypothétique, permettent de faire mieux comprendre la constitution géologique probable des Alpes Occidentales. Ainsi l'asymétrie des deux versants de la Chaîne alpine occidentale en réalité apparaît beaucoup moins marquée de ce qu'on a retenu jusqu'aujourd'hui. Du reste elle dépend en grande partie simplement du fait qu'une série de plis (comme celle des Alpes Occidentales) façonnée dans l'ensemble en arc, doit, dans l'accentuation du plissement, tandis qu'elle s'exhausse du côté extérieur, naturellement se déprimer dans sa partie intérieure. Cela a été précisément le cas pour la zone intérieure (piémontaise) du grand arc alpin en examen, zone qui dut s'abaisser dans les mouvements orogénétiques successifs, venant ainsi peu à peu à s'effondrer au-dessous de la puissante couverture néogénique qui la recouvrit en grande partie dans la vaste région de la Plaine piémontaise du Pô.

Quant aux *signes tectoniques* ils sont souvent un peu schématiquement, ayant été seulement indiqués les pentes prédominantes; elles varient en effet souvent beaucoup, même sur un court espace; ni du reste l'échelle de la Carte permettait de noter les variations moindres, souvent reliées simplement à des contorsions, ondulations, etc. plus ou moins locales.

De même on a dû omettre les indications de fractures, glissements, déversements, transgressions, etc. qui auraient trop compliqué la Carte déjà bien remplie de signes variés, quoique ces phénomènes soient très intéressants et parfois assez fréquents et d'une grande importance pour comprendre la géologie des régions les plus tourmentées des Alpes au point de vue tectonique.

Néanmoins les principaux signes tectoniques indiqués, d'autant plus si on les met en regard avec les coupes géologiques, suffisent généralement à donner une idée d'ensemble du mouvement ou de l'allure tectonique des formations géologiques principales qui constituent les Alpes Occidentales, permettant généralement aussi d'en tirer des coupes schématiques à travers n'importe quelle zone de cette Chaîne alpine.

Quant à la valeur des inclinaisons indiquées par les signes tectoniques, en tenant toujours compte de leur schématisité et des variations faciles même en des endroits rapprochés, elle est environ de 0°-10° pour les couches signées comme *subhorizontales*, de 10°-25° pour les inclinaisons *douces*, de 25°-45° pour les inclinaisons *moyennes*, de 45°-60° pour les inclinaisons *fortes* et de 60° au-dessus pour les inclinaisons *subverticales*.

## OBSERVATIONS SUR LA CARTE TECTONIQUE OU DES ANTICLINAUX.

C'est une Carte où sont signés, d'une façon plus ou moins schématique, les principales lignes de plissement positif, anticlinal, entre lesquelles gisent naturellement les relatives lignes de dépression synclinale.

Ce sont des plissements très variables, soit d'un pli à l'autre soit dans le développement d'un même pli; des très doux, simples ondulations (comme p. ex. dans la Drôme-Vercors) à ceux fortement soulevés, entassés et parfois même renversés, accompagnés souvent par des fractures et par des glissements même compliqués et très importants (comme p. ex. dans la fameuse zone des Cols, dans les classiques groupes à recouvrements de Doldenhorn, de Wildhorn, des Tours Sallières et du M. Joly, dans les amples zones de l'Embrunais, etc.); des simples monoclinaux aux plis compliqués, dédoublés, triplés, etc. vrais faisceaux de plis, comme ils apparaissent, bien que schématisés, dans quelques-unes des coupes géologiques.

Mais la petitesse de la Carte a obligé une simplification graphique générale de ces phénomènes, laissant aussi de côté l'indication des fractures et distinguant seulement (avec des lignes de croix) les plis des terrains cristallins anciens de ceux (signés en lignes pleines) qui intéressent, au moins superficiellement, les terrains plus jeunes, c'est-à-dire les vraies lignes directrices des Alpes Occidentales.

Le dédoublement ou la réunion des plis (ainsi qu'on peut le voir spécialement bien dans l'Appennin ligure, en Provence, etc.), leur allure variée ondulée et semblables phénomènes qui résultent même seulement à un simple regard jeté sur la Carte géo-tectonique et sur les coupes, montrent clairement que le plissement de la Chaîne alpine, bien que simple dans son ensemble, est au contraire merveilleusement et infiniment varié dans ses détails, en rapport avec les différentes périodes où se vérifia le plissement, avec la position des plis, la nature des roches plissées, le voisinage ou l'éloignement et la forme des anciens noyaux cristallins roidis, contre lesquels furent ensuite plissés les terrains plus jeunes, etc.

Il y a parfois incertitude dans l'indication des lignes de plissement, d'autant plus quand la granitisation est extraordinairement étendue, comme p. ex. dans les groupes du Pelvoux, du M. Blanc, etc. et quand manquent les caractères lithologiques ou paléontologiques bien distinctifs, comme p. ex. dans les zones cristallines insubriennes.

Naturellement dans les régions sous la mer et sous les terrains néogéniques de la Plaine du Pô (zone qui s'est approfondie graduellement dans le Piémont, comme se trouvant dans la partie intérieure d'une grande aire arquée, l'alpine occidentale, qui se plisse, ce qui produit l'apparente asymétrie géologique de cette Chaîne alpine) les indications tectoniques sont essentiellement théoriques, hypothétiques (signées par conséquent avec des lignes pointillées), bien que basées sur la constitution géologique et sur l'allure tectonique des régions littorales plus proches (pour la Ligurie) ou des régions subalpines, parmi lesquelles plus importantes, comme vraies directrices, sont les régions de Rivara-Lanzo, de Almese-Cumiana, de Saluces-Costigliole, etc. ainsi que la caractéristique émergence, ondulée au point de vue tectonique et granitico-gneissique (avec couverture graphitifère) au point de vue lithologique, qui constitue la Rocca de Cavour.

Il faut noter la déviation nette du pli complexe du Monferrat (soit de celui, en partie souterrain, de Voghera-Casale-Brusasco, soit spécialement de celui, plus visible, de Tortone-S. Salvatore-Turin); pli multiple qui dans sa partie orientale, libre, est dirigé (comme tout l'Appennin) de S. E. à N. O. et dévie ensuite à S. O. en butant en profondeur (dans les régions de Crescentino et de Chivasso) contre les contreforts supposés des Alpes.

Il faut considérer aussi que la nature lithologique des cailloux de l'Oligo-miocène des Collines de Turin-Casal-Valence, avec la surabondance des matériaux porphyriques et granitiques rappelant tout-à-fait la zone de Biella-Lac Majeur, nous indique le très notable développement souterrain de cette zone et des respectives lignes tectoniques vers S. O. jusqu'au delà de la région de Turin. Laquelle région en profondeur doit par conséquent être très compliquée par l'entassement de plusieurs plissements presque convergents et s'accumulant, selon que j'ai essayé de l'esquisser schématiquement aussi bien que théoriquement dans la Carte géo-tectonique et dans les Coupes géologiques.

J'ai indiqué par une ligne pointillée le supposé anticlinal des Préalpes lombardes à Turin, car il semble logique de relier les deux régions de Comabbio et des Collines de Turin, qui ont position, tectonique et constitution analogues et qui je crois représentent presque une dernière vague grandiose de plissement anticlinal s'étant formée contre le pied de la compacte Chaîne alpine.

De signification analogue est la ligne pointillée d'anticlinal supposé, probablement complexe, que j'ai signé théoriquement comme s'étendant au-dessous de la puissante couverture néo-cénozoïque à partir de la Colline de Turin (comme prolongement méridional de cet anticlinal) vers Sud-Sud-Est; ligne qui s'enfoncé ensuite au-dessous des Langhe septentrionales tendant vers le complexe anticlinal qui (provenant de E. S. E.) traverse la Vallée de la Scrivia entre Ronco et Arquata.

Quelque peu incertaine est la façon selon laquelle se vérifie la liaison (qui selon moi existe assez étroite) du Groupe de Voltri avec les formations analogues, soit de la ceinture du Massif Dora-Maira (p. ex. du Groupe du Mont Viso) soit spécialement des régions de Almesse-Vallées de Lanzo-Rocca Canavese. La très puissante couverture quaternaire de la haute Plaine du Pô, celle oligo-miocénique des Langhe, etc. masquent cette liaison très intéressante que j'ai par conséquent esquissé hypothétiquement en base, soit à la déviation (vers Ouest) de la direction des forts plis du Groupe de Voltri, soit à l'allure des dépôts cénozoïques des Langhe, soit aux saltuaires affleurements mésozoïques entre ces terrains oligo-miocéniques, soit à la sismicité de Alba, soit au fait des sources thermales de Acqui qui (rappelant un peu celles de Valdieri et Vinadio dans le Groupe gneissico-granitique de l'Argentera et celles de Acqua Santa débouchant de la formation mésozoïque métamorphique avec Pierres vertes au-dessus de Voltri) laissent planer le doute qu'il existe au-dessus de la région de Acqui (ainsi que je l'ai indiqué par une ligne pointillée hypothétique) un anticlinal, peut-être un pli-faille de Mésozoïque métamorphique, n'étant pas même impossible la présence souterraine d'un profond Massif cristallin, acquense, qui ferait presque le pendant, dans le Groupe de Voltri, au Massif savonais.

La liaison des anticlinaux du Groupe de Voltri à la ceinture orientale (masquée par les terrains de la Haute Plaine du Pô) du Massif de Dora-Maira pourrait s'accomplir, soit par dédoublement ou multiplication des plissements, soit par une forte et tortueuse déviation des plis, soit par des monoclinaux devenant anticlinaux vers Est (d'une façon un peu analogue p. ex. à ce qu'on observe dans les terrains crétacé-oligocéniques de Comabbio), peut-être même par une forte émerision (qui engendra justement le Groupe de Voltri) des formations métamorphiques en question après leur profonde dépression ou leur effondrement dans l'ample région de Coni-Langhe.

Mais malheureusement manquent et manqueront peut-être toujours les données pour résoudre avec surêté la question de cette liaison que je suppose exister plus ou moins étroite, ainsi que je l'ai indiqué plus haut et selon que je l'ai esquissé graphiquement, dès 1890, dans la Note sur la « *Géo-tectonique de la Haute Italie Occidentale* ».

Quant à l'allure tectonique que j'ai, en partie théoriquement, esquissé pour le Groupe de Voltri, bien que elle puisse paraître un peu étrange, elle est néanmoins tout à fait admissible en rappelant les analogues (parfois avec l'adjonction de renversements et de glissements) qu'on observe dans la Provence, dans la zone sigmoïdale de Zermatt-Antrona, dans la région de Berisal-Simplon-Iselle, etc., comme aussi, sur bien plus vaste échelle, dans l'allure de l'Atlas-Gibraltar-Sierra Nevada, des guirlandes insulaires des Antilles, des Moluques, des îles autour du grand Bassin mélanésien ou de Nares, de la Patagonie-Iles Sandwich du Sud, Terre d'Alexandre, etc., comme je l'ai esquissé dans un « *Essai sur l'Orogénie de la Terre, 1895* ».

De toute manière ainsi que, en partie hypothétiquement, je l'ai interprété, le Groupe de Voltri, qui a constitué jusqu'aujourd'hui un inconnu géologico-tectonique, représenterait la terminaison sud-orientale assez naturelle du grand arc cristallin des Alpes Occidentales, contre laquelle terminaison alpine s'entassent un peu transgressivement et concentriquement (comme autant de vagues arquées concentriques, concaves à ouest, butant contre un obstacle rigide) les plissements multiples de l'Appennin ligure oriental, qu'on voit au contraire un peu plus à Est reprendre leur allure normale de N. O. à S. E.

## OBSERVATIONS SUR LES COUPES GÉOLOGIQUES.

(Voir l'explication de chacune dans les pages 142-166).

Les coupes ont été faites premièrement à l'échelle de 1:100.000<sup>e</sup> et réduites ensuite, au moyen de la photographie, au 500.000<sup>e</sup>; mais étant donnée la petitesse de l'échelle, d'autant plus qu'on a conservé égale celle des hauteurs à celle des longueurs pour mieux se rapprocher de la vérité, on a dû naturellement parfois exagérer (afin qu'elles apparussent) certaines formations trop minces ou bien les négliger complètement; comme aussi pour le même motif on a dû renoncer à distinguer les formations mésozoïques métamorphiques des normales, car les teintes pointillées n'en restaient souvent plus visibles. On a dû, par le même motif, supprimer souvent des détails, des plissements compliqués, des fractures et des glissements, schématiser des anticlinaux et des synclinaux compliqués, des failles complexes, etc.

Les coupes ont été dirigées de façon à anatomiser la Chaîne des Alpes Occidentales dans tous les points principaux de façon qu'en fussent éclairées les particularités géo-tectoniques essentielles, si bien que (sauf dans les points plus compliqués qui exigeraient des explications spéciales avec des cartes et des coupes en grande échelle) le lecteur géologue, avec l'aide des coupes et des signes indiqués sur la Carte géologique, peut reconstruire l'allure géo-tectonique principale de toutes les régions de cette Chaîne alpine.

Naturellement quand les coupes s'enfoncent au-dessous des plaines ou des mers elles deviennent tout à fait hypothétiques, mais j'ai cru utile de les dessiner bien qu'en voie théorique, en suivant les conceptions

déjà exposées en parlant des Cartes, géologique et tectonique, afin qu'apparût mieux la probable allure géo-tectonique souterraine de l'entière région.

Il faut remarquer que les coupes, bien que dans l'ensemble rectilignes, dévient parfois quelque peu de la ligne droite pour pouvoir y faire apparaître quelque phénomène géo-tectonique un peu important. Il faut noter aussi que, par brièveté, on a simplement signé sur les coupes les noms de villes, de montagnes, etc. tandis qu'il aurait fallu y ajouter : environs de..... groupe de..... etc., car en réalité les coupes presque jamais ne tranchent précisément une ville, la sommité d'une montagne, etc.

Dans les coupes (comme dans la petite Carte géo-tectonique) un plus grand mouvement tectonique est en général signé pour les terrains mésozoïques fossilifères que non pour les paléo-mésozoïques cristallins, et cela non tant parce que réellement les premiers soient plus compliqués des seconds au point de vue stratigraphique, mais parce que le manque, dans ceux-ci, de données paléontologiques ne permet pas (comme dans les terrains fossilifères) l'analyse stratigraphique qui précise l'entité des plissements, d'autant plus si isoclinaux et entassés. C'est pourquoi on doit parfois dans les terrains cristallins indiquer d'une façon provisoire comme à tectonique simple certaines zones qui, par des données ultérieures, pourront résulter comme plus ou moins compliquées.

Même d'un simple coup d'œil sur les coupes géologiques qui s'enfoncent à environ 10.000 mètres au-dessous du n. d. m., bien que considérant aussi la surface possible des anticlinaux supposés complets (c'est-à-dire avant d'avoir subi les érosions grandioses qui ont conduit la région alpine à l'actuel état squelettique, ce que j'ai indiqué par un pointillage hypothétique) on saisait de suite clairement la ténuité et par conséquent le peu d'importance relative, dirais-je, de la série sédimentaire par égard à l'extraordinaire importance de la série fondamentale cristalline, paléo-archéozoïque.



## TABLE DES MATIÈRES

<i>Préface</i> . . . . .	<i>Page</i> 3
APERÇU HISTORICO-BIBLIOGRAPHIQUE . . . . .	» 5
ARCHAÏQUE-PALÉOZOÏQUE (13) [Gneiss (14), Schistes cristallins (18), Roches massives (21), Anthracolitique (27)]	
MÉSOZOÏQUE (37), Mésozoïque métamorphique . . . . .	<i>page</i> 37
Mésozoïque normal [Trias (47), Rhétien (53), Lias (54), Jurassique (57), Crétacé (63)]	
CÉNOZOÏQUE (71) [Eocène (72), Oligocène (81), Miocène (85), Miopliocène (93), Pliocène (95)]	
NÉOZOÏQUE (98) [Plistocène (98), Holocène (104)]	
MÉTAMORPHISME . . . . .	<i>page</i> 106
TECTONIQUE (Généralités, p. 127) — Aperçu sommaire des Coupes géologiques . . . . .	» 142
GÉOLOGIE APPLIQUÉE . . . . .	» 167
RÉSUMÉ GÉO-HISTORIQUE . . . . .	» 179
Observations sur les Cartes géologico-tectoniques et les Coupes géologiques . . . . .	» 192
Observations sur la carte tectonique ou des anticlinaux . . . . .	» 194
Observations sur les Coupes géologiques . . . . .	» 195