

L'exploration géologique des Alpes franco-italiennes

© TRANSVALOR - Presses des Mines, 2011

60, boulevard Saint-Michel - 75272 Paris cedex 06

email : presses@ensmp.fr

<http://www.ensmp.fr/Presses>

ISBN : 978-2-911256-36-3

Dépôt légal : 2011

Achévé d'imprimer en 2011 (Paris).

Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et d'exécution réservés pour tous les pays.

L'exploration géologique des Alpes franco-italiennes¹

Jacques Debelmas

Pierre Antoine, Hubert Arnaud, Maurice Gidon,

Claude Kerckhove (université Joseph Fourier, Grenoble)

Jacqueline Desmons, CNRS (Grenoble-Nancy)

Serge Fudral (université de Chambéry)

Philippe Grandchamp (lycée Hoche, Versailles
et Comité français d'Histoire de la Géologie)

¹ Comme tout travail scientifique, cet essai a été revu par un rapporteur extérieur, le **professeur Henri Masson**, de l'université de Lausanne. Le rapport qui en est résulté, particulièrement détaillé et constructif, a permis de nombreuses retouches et l'ajout de divers compléments. Nous exprimons donc à notre collègue lausannois nos remerciements et nos félicitations pour une analyse aussi fine, traduisant une connaissance approfondie de la chaîne et des géologues alpins.

Collection Histoire, sciences et sociétés

Dans la même collection :

Michel Durand-Delga

Marcel Bertrand (1847-1907), génie de la tectonique

Ouvrage coordonné par Jean Gaudant

L'essor de la géologie française

Essais

Jean Gaudant

Johann Jakob Scheuchzer

Les fossiles témoins du déluge

Ouvrage coordonné par Jean Gaudant

Géologues et Paléontologues

De la passion à la profession

Michel Toyer

Quand les poètes chantent la science

Madeleine Durand-Charre

Les Aciers damassés

Ouvrage coordonné par Jean Gaudant

Dolomieu et la géologie de son temps

René Lesclous

Histoire des sites producteurs d'aluminium

Les choix stratégiques de Péchiney (1892-1992)

Emmanuel Grison

L'étonnant parcours du républicain Jean-Henry Hassenfratz

Du Faubourg Montmartre au corps des Mines

*À tous ceux qui ne sont pas cités dans ce texte mais
ont également participé à ces deux siècles d'efforts*

AVANT-PROPOS

L'Histoire de l'exploration géologique des Alpes franco-italiennes est le premier volume d'une série d'ouvrages dont l'objectif sera de retracer, région par région, *l'Histoire de la Découverte géologique de la France*, depuis les premiers pionniers jusqu'à nos jours. Une douzaine d'autres ouvrages suivront. Cet ensemble aura pour vocation de sauvegarder le souvenir des œuvres, parfois considérables et toutes dignes d'intérêt, des géologues des siècles précédents, sans qui la connaissance de nos montagnes, de nos plaines et plus généralement de nos paysages ne serait pas ce qu'elle est aujourd'hui, mais qui ont été précipitées dans l'oubli par la frivolité de notre temps. Nous avons ainsi conçu comme un devoir impérieux d'avoir à susciter sans délai une recherche historique propre à perpétuer la mémoire de ceux qui ont contribué à révéler la constitution géologique de notre pays. En effet, il n'existe pas à ce jour de livre retraçant les étapes de cette exploration. C'est cette lacune qu'il nous appartient de combler car, si nous disposons d'ouvrages de référence pour les temps anciens, c'est-à-dire jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, avec en particulier les deux tomes de *l'Histoire de la Géologie* de François Ellenberger (1988, 1994) et *Les sciences de la Terre aux XVII^e et XVIII^e siècles* de Gabriel Gohau (1990), l'histoire des XIX^e et XX^e siècles reste à écrire puisque, jusqu'à présent, seules des études ponctuelles ont porté sur ces deux siècles, si l'on excepte la *Naissance de la géologie historique* (2003) et la toute récente *Histoire de la tectonique* (2010) de Gabriel Gohau.

Nous vivons dans une société qui a la mémoire courte, et dans laquelle les modes scientifiques déferlent par vagues successives, ce qui a pour effet néfaste de rejeter dans l'oubli les travaux du siècle précédent, quand ce n'est pas même ceux de la décennie précédente. C'est évidemment la conséquence directe d'un progrès scientifique et technologique accéléré qui a fait des hommes et des femmes nés au XX^e siècle les témoins des révolutions successives qui ont affecté positivement leur mode de vie, à un rythme beaucoup plus rapide que l'ensemble des changements survenus entre le Moyen-Âge et la fin du XIX^e siècle. Et le rythme des inventions s'est manifestement encore accru au cours des dernières décennies.

Le résultat prévisible de ce processus est que les théories et les techniques qui avaient cours dans un passé récent tomberont rapidement dans l'oubli ou que, si leur souvenir persiste, cela risque d'être avec une connotation archaïque qui engendre une condescendance certaine à l'égard de ces idées aujourd'hui dépassées. Ainsi, pour en venir aux sciences de la Terre, que signifient aujourd'hui, pour un jeune chercheur, la

théorie du géosynclinal ou celle de la dérive des continents, sinon de vieilles lunes dont le souvenir est destiné à sombrer rapidement dans les oubliettes de l'histoire ?

Une autre cause de ce phénomène est la spécialisation de plus en plus poussée qui caractérise la géologie contemporaine, dans laquelle les méthodes physico-chimiques jouent naturellement un rôle accru pour faire progresser les connaissances. Ce glissement méthodologique a pour conséquence d'affaiblir la culture naturaliste des géologues et leur perception historique qui découlait du fait qu'étant confrontés aux mêmes difficultés d'observation et d'interprétation du terrain que leurs prédécesseurs, ils acquéraient souvent, au fur et à mesure que croissait leur expérience personnelle, un certaine forme de respect pour le travail de ceux-ci.

Enfin, la recherche contemporaine s'accompagne d'une lutte féroce pour le contrôle des orientations prioritaires, lutte qui a pour conséquence une sorte de cannibalisme, les disciplines nouvelles se développant aux dépens de celles qui prédominaient précédemment, le déclin inexorable de ces disciplines étant souvent poussé à l'excès, au point de nuire à l'économie de l'ensemble. Ainsi, le développement indispensable de la géophysique conduit-il à un effacement regrettable de la géologie, alors que les interprétations théoriques de la première ont besoin d'être confrontées aux observations de terrain des géologues. De même, la modélisation n'a de sens que si des géologues ont la possibilité de tester librement les modèles qui leur sont soumis.

Le projet dont le présent volume est le premier jalon pouvait apparaître comme un véritable défi car il fallait à la fois définir une méthode et convaincre des auteurs d'expérience susceptibles d'être recrutés dans le vivier des praticiens de la géologie. Il était en effet impensable de venir à bout d'une œuvre aussi considérable en mobilisant des historiens de la géologie qui n'auraient pas la compétence nécessaire pour juger de la pertinence des travaux récents. C'est pourquoi il a été décidé de prévoir une division régionale du travail afin que les auteurs puissent dominer scientifiquement leur sujet, d'où la conception d'une série d'ouvrages consacrés chacun à une région géologique naturelle.

Dans le cas présent, les auteurs de *L'exploration géologique des Alpes franco-italiennes* ont choisi de se concentrer principalement sur l'histoire de l'interprétation structurale des Alpes franco-italiennes, ce qui a pour conséquence appréciable de conférer une grande unité à ce volume dans lequel on montre comment les Alpes franco-italiennes ont joué, depuis l'extrême fin du XVIII^e siècle, un rôle de laboratoire d'idées pour l'étude de la genèse des chaînes de montagnes. De surcroît, ce volume arrive à point nommé, quelques mois après la parution d'une *Histoire de la Tectonique*, puis du livre que Michel Durand-Delga vient de consacrer à *Marcel Bertrand (1847-1907), génie de la Tectonique*.

Dans *L'exploration géologique des Alpes franco-italiennes*, on côtoie de grands noms, à commencer par celui d'**Horace-Bénédict de Saussure**, premier explorateur scientifique du massif du Mont-Blanc. On y retrouve également celui d'un jeune ingénieur des mines, **Léonce Élie de Beaumont** qui, après avoir levé la première carte géologique des Alpes dans le cadre du grand projet de *Carte géologique de la France*, allait exercer pendant plusieurs décennies une influence considérable sur la géologie française. Si la célébrité de **Charles Lory**, professeur à l'université de Grenoble, est loin d'atteindre celle d'Élie de Beaumont qui allait couronner son ascension en se faisant élire Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, c'est à lui que l'on doit d'avoir, le premier, défini les grandes unités structurales des Alpes françaises. Une lignée de géologues éminents lui succéda, contribuant ainsi à la grande renommée de l'université grenobloise : **Wilfrid Kilian**, **Maurice Gignoux** et **Léon Moret**. Le géologue genevois **Alphonse Favre**, et deux géologues parisiens, **Émile Haug** et **Pierre Termier**, furent aussi des acteurs majeurs de l'étude de ce massif.

Les auteurs de ce livre apportent en outre une contribution majeure à l'étude des progrès réalisés au cours du dernier demi-siècle, pendant lequel l'augmentation considérable du nombre de chercheurs a rendu possible un approfondissement notable des connaissances, notamment à la lumière de la théorie des plaques.

Autant de raisons de tourner rapidement cette page et de prendre connaissance de *L'exploration géologique des Alpes franco-italiennes* de **Jacques Debelmas** et ses sept coauteurs.

Jean GAUDANT

Introduction

L'exploration de la chaîne alpine a commencé avec le XIX^e siècle. Elle est ensuite passée par **trois étapes successives**, celle des précurseurs (1840-1900), celle des stratigraphes de plus en plus structuralistes liés à la théorie géosynclinale (1900-1970), et enfin celle des structuralistes dynamiciens liés à la tectonique de plaques.

La pétrographie est toujours restée un peu subordonnée, pour finalement se fondre dans ce qu'on appellera la géologie structurale dès 1970, mais elle a pris alors une place importante dans l'étude des socles anciens et l'analyse du métamorphisme.

Par ailleurs, cette exploration s'est faite plus ou moins rapidement suivant la difficulté du terrain. La chaîne comprend en effet **trois ensembles** de difficultés différentes sur ce plan, à savoir :

- La *zone externe*, la plus simple, représentant en quelque sorte l'avant-chaîne alpine, géologiquement parlant car, géographiquement, elle en porte quelques-uns de ses plus hauts sommets.
- La *zone briançonnaise et ses annexes*, qui correspondent à l'ancienne marge nord-ouest de l'océan alpin disparu.
- La *zone océanique*, longtemps connue sous le nom de « zone des Schistes lustrés », terme qui désignait l'ancien remplissage sédimentaire de l'océan alpin, associé à des écaillés de son fond, les « ophiolites ».

La complexité des structures, liée à leur déformation et leur métamorphisme, croît d'ouest en est, si bien que, dans chacune de ces trois zones, le degré de déchiffrage a varié suivant l'époque des recherches. Celles-ci ont commencé dans la zone externe, moins déformée et à séries fossilifères non métamorphiques, puis elles se sont étendues aux deux autres à mesure que les outils et les concepts le permettaient. La zone océanique a dû attendre la tectonique de plaques pour être comprise.

On pourrait résumer ce qui précède dans le tableau suivant :

	Zone externe	Zone interne W	Zone interne E	cartographie
Le temps des pionniers 1900	stratigraphie en partie déchiffrée, tectonique réduite aux failles et plis	non comprises (analyse lithologique seulement)		cartes départementales, premiers 80 000 ^e
Le temps des géosynclinaux 1960	stratigraphie complétée, tectonique comprise dans ses grandes lignes	stratigraphie et tectonique esquissées, nappes reconnues	nappe des Schistes lustrés (restés indifférenciés)	fin des 80 000 ^e début des 50 000 ^e
1970	perfectionnement général des données		distinction Schistes Lustrés piémontais à Trias, et liguro-piémontais à ophiolites	50 000 ^e
Le temps de la tectonique de plaques	modernisation des données stratigraphiques et tectoniques : notion de marge continentale avec inversion tectonique		océan téthysien disparu par subduction	

Mais il faut aussi ajouter que, du nord au sud, se succèdent quatre grandes régions naturelles dont l'exploration s'est faite de façon plus ou moins autonome : les **Alpes de Savoie**, du **Dauphiné**, de **Haute Provence** et les **Alpes-Maritimes**.

Le plan essaiera de tenir compte de toutes ces subdivisions, thématiques ou géographiques. On lui ajoutera un paragraphe spécial pour le **Quaternaire**.

Par ailleurs, pour soulager le texte et éviter l'abus de notes infrapaginales, les **biographies** des principaux géologues alpins sont reportées à la fin du volume et présentées par ordre alphabétique. Les noms de cette liste sont marqués d'un astérisque (*) dès qu'ils se présentent dans le texte.

Chapitre 1

Schéma structural actuel des Alpes françaises et de leurs confins italiens et suisses

Les pages qui suivent feront constamment appel à des noms de zones structurales. Pour éviter des répétitions et faciliter la lecture, il est utile d'en donner au départ une brève définition en les décrivant de l'extérieur vers l'intérieur de la chaîne, c'est-à-dire d'ouest en est (fig. 1).

La **zone externe** (dite **dauphinoise** en France, **helvétique** en Suisse) groupe les unités extérieures à l'arc alpin.

Son socle apparaît dans les *massifs cristallins externes* (Mont-Blanc/Aiguilles-Rouges, Belledonne, Pelvoux-Écrins, Argentera-Mercantour) où l'on trouve un matériel anté-alpin assez semblable à celui du Massif central, donc antéhouiller. Ces massifs contiennent quelques synclinaux houillers westphalien supérieur à stéphanien. Ils ont généralement conservé leur couverture triasique et jurassique inférieur à moyen.

Le reste de la couverture, plus ou moins décollé, affleure à l'ouest de cet axe cristallin, dans les **chaînes subalpines** françaises qui montrent une série allant du Jurassique au Nummulitique, série dont les terrains sont faciles à déchiffrer car généralement fossilifères et peu ou pas métamorphiques. La présence de nappes reste l'exception sauf dans les chaînes subalpines de Savoie où l'on passe aux **nappes helvétiques** qui vont régner en Suisse.

À l'est des massifs cristallins externes et dans le nord de la chaîne, la couverture jurassique dauphinoise s'épaissit mais ne comprend que le Jurassique inférieur et moyen : les termes sus-jacents ont pu exister mais ont été détruits par un soulèvement précoce accompagné d'érosion. À leur place, on trouve un flysch nummulitique, dit « flysch des Aiguilles d'Arves » transgressif et discordant sur son socle. Cette zone

dauphinoise orientale montre donc des caractères qui commencent à évoquer les perturbations des zones internes qu'elles jouxtent. On la désigne sous le nom de **zone ultradauphinoise** (qui a son équivalent, dit **ultrahelvétique**, en Suisse). Elle est spécifique du nord de la chaîne. Vers le sud, aux approches du Mercantour, la série dauphinoise orientale se régularise, avec un épais nummulitique gréseux (grès d'Annot), non discordant sur la série sous-jacente, à nouveau complète.

La zone interne ou plutôt **les zones internes** (dites **penniques** en Suisse) sont formées d'un ensemble de nappes à matériel plus ou moins métamorphique, représentant la marge du continent européen, les reste de l'océan téthysien et la marge sudalpine.

On y voit, toujours d'ouest en est :

1. La **zone valaisanne**, qui existe seulement dans le nord de la chaîne, de Moûtiers à Courmayeur, puis qui s'élargit en Valais suisse, d'où son nom. C'est un ancien rift, localement océanisé, où le Jurassique montre des faciès bréchiqes fréquents (d'où son vieux nom de « zone des Brèches de Tarentaise ») recouverts en discordance par un épais Crétacé supérieur calcaire, localement à faciès flysch (« flysch de Tarentaise » des anciens auteurs), passant peut-être dans le Paléogène en Suisse.

2. La **zone briançonnaise**, beaucoup plus continue et découpée en nombreuses nappes, est un ancien haut-fond, émergé au Lias, puis progressivement immergé à partir du Jurassique supérieur jusqu'à l'Éocène inférieur. Sur ses deux bordures, ouest et est, ce haut-fond était un véritable escalier de failles, la **zone subbriançonnaise** à l'ouest, et la **zone piémontaise** à l'est. Cette dernière était située en bordure immédiate de l'océan alpin (elle n'est pas distinguée sur la figure 1).

Ces premiers ensembles reposent sur une croûte granito-gneissique qui arrive à l'affleurement dans les « **massifs cristallins internes** » (Vanoise, Ambin, Mont-Rose, Grand-Paradis), parfois aussi dits « **penniques** ».

3. La **zone océanique** ou **liguro-piémontaise**, apparue au Jurassique supérieur par distension intra-plaque, était à fond océanique, un fond dont des fragments ont été conservés sous la forme d'écaillés ophiolitiques. Les granites et gneiss manquent totalement. La sédimentation débute avec le Jurassique supérieur calcaire, reposant sur les ophiolites par l'intermédiaire de radiolarites, mais l'essentiel de la série est formé de calcschistes et de pélites du Crétacé supérieur. Les faciès gréseux existent mais sont moins fréquents.

Avant le plissement, les sédiments liguro-piémontais (Jurassique supérieur à Crétacé supérieur) débordaient sur la partie piémontaise de la marge européenne, où ils venaient recouvrir le Trias et le Lias piémontais, eux-mêmes calcaires. Après plissement et

métamorphisme, toutes ces roches à dominante calcaire, qu'elles soient piémontaises ou liguro-piémontaises, ont été transformées en micaschistes calciques, très monotones, que les anciens auteurs désignaient sous le nom de « **Schistes lustrés** », avec leurs « **roches vertes** » c'est-à-dire leurs ophiolites.

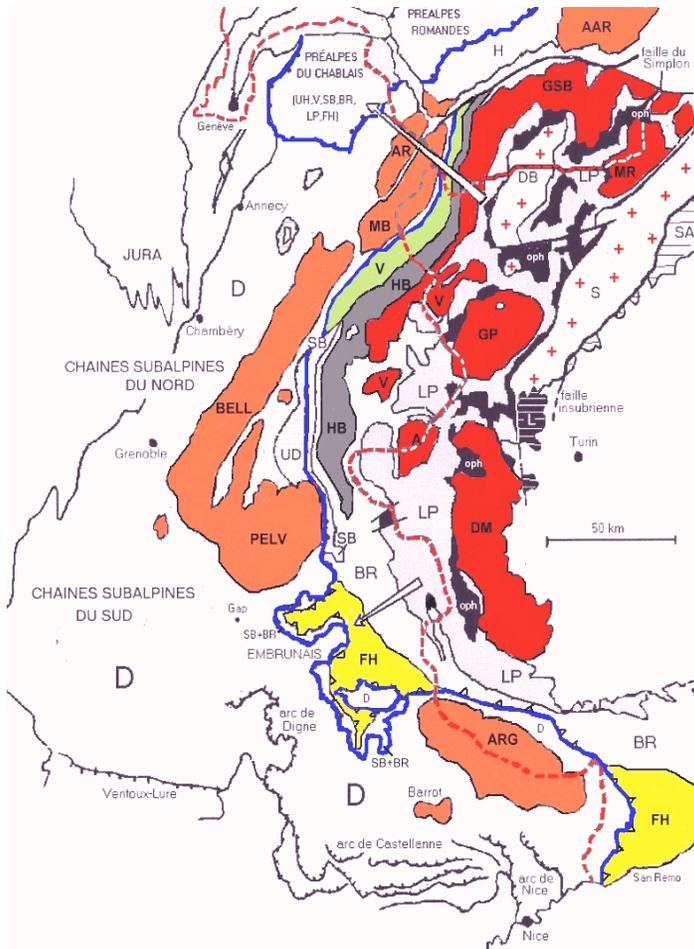


Fig. 1. Schéma structural simplifié des Alpes franco-italiennes et franco-suissees.

A. Ambin, AR. Aiguilles-Rouges, ARG. Argentera, BELL. Belledonne, BR. zone briançonnaise, D. zone dauphinoise, DB. Dent-Blanche, DM. Dora-Maira, FH. flysch à Helminthoïdes, H. Helvétique, HB. zone houillère briançonnaise, GP. Grand-Paradis, GSB. zone du Grand-Saint-Bernard, L. Lanzo, LP. zones piémontaise et liguro-piémontaise (ancienne zone des Schistes lustrés), MB. Mont-Blanc, MR. Mont-Rose, PELV. Pelvoux, S. Sesia, SA. zone sudalpine (= insubrienne), SB. zone subbriançonnaise, UD. zone ultra-dauphinoise, V. zone valaisanne.

Les zones constitutives des Préalpes n'ont pas été détaillées en raison de la complexité de leurs contours.

En tireté rouge, les frontières. En bleu, le chevauchement pennique frontal.

On rattache au domaine liguro-piémontais le « **flysch à helminthoïdes** », d'âge crétacé supérieur, non métamorphique, qui forme une grande partie des nappes de l'Embrunais. On le considère en effet comme le dernier sédiment déposé dans l'océan alpin avant sa fermeture, et qui aurait échappé à la subduction alpine.

Les Schistes lustrés n'existent qu'à l'état de nappes flottant sur les autres zones. Le problème est donc de savoir d'où proviennent ces nappes, c'est-à-dire de fixer la position de l'ancien océan alpin, certainement réduit à une « cicatrice ophiolitique ». La plupart des auteurs la situent immédiatement à l'est de l'axe des massifs cristallins penniques, soit donc à l'est de l'axe Dora-Maira/Grand-Paradis.

4. La **zone Sesia-Lanzo**. Elle forme une longue lanière cristalline bordant la plaine du Pô, surtout gneissique (Sesia), mais péridotitique à son extrémité sud (Lanzo). Cette zone est d'interprétation discutée. Depuis Émile Argand, on la rattache généralement au domaine des Alpes orientales, car cet auteur en faisait la racine de la nappe de la Dent-Blanche, classiquement considérée comme **austroalpine**. Mais certains auteurs, se basant sur le fait que les gneiss Sesia ont subi un métamorphisme alpin de type pennique, les rattachent aux massifs cristallins internes précédents. Dès lors, ils placent la cicatrice océanique à la bordure interne de cet ensemble Sesia-Lanzo. Et c'est seulement au-delà que les affleurements ne montrent plus trace du métamorphisme alpin et constituent la « **zone sudalpine** ».

Pour terminer ce tableau, il faut signaler qu'en Savoie, au sud du Léman, s'observe un ensemble bien délimité d'unités charriées formant les **Préalpes du Chablais**. On y retrouve la plupart des zones internes énumérées plus haut, sous la forme de klipptes séparées de leurs racines par le soulèvement récent du Mont-Blanc. Comme il a fallu un certain temps pour comprendre cette disposition, les nappes chablaisiennes ont reçu des noms locaux, indiqués ci-dessous, à côté desquels on a indiqué leur équivalent en terme de zones structurales classiques, à savoir :

- nappe du **Niesen** = Valaisan
- nappe des **Préalpes médianes plastiques** = Subbriançonnais
- nappe des **Préalpes médianes rigides** = Briançonnais
- nappe de **la Brèche** = Piémontais externe
- nappe **des Voirons** = Piémontais (?)
- nappe des **Gets** = Liguro-piémontais
- nappe de **la Simme** = flysch à helminthoïdes.

Comment est-on arrivé à cette synthèse en deux siècles de recherches ? Ce sera le sujet du chapitre suivant.

Chapitre 2

Les grandes étapes de l'exploration

1. DE 1779 A 1808 : LA DISTINCTION DES TERRAINS PRIMITIFS ET SECONDAIRES

L'exploration géologique des Alpes n'a véritablement débuté que dans le dernier quart du XVIII^e siècle. En 1779, paraissent en effet simultanément deux ouvrages qui témoignent de l'intérêt que le monde savant commence à porter à cette chaîne : les *Mémoires sur la minéralogie du Dauphiné* de **Guettard**, et le premier volume des *Voyages dans les Alpes* de **Saussure**.

Dans son travail sur le Dauphiné, **Jean-Étienne Guettard**² (1715-1786) divise cette province en trois régions, « sablonneuse », « calcaire » et « schisteuse ou graniteuse », dans lesquelles on peut retrouver les grandes divisions naturelles des Alpes françaises (bassin molassique, chaînes subalpines, ensemble formé par les massifs cristallins externes et tout ce qui est plus à l'est), mais les observations de détail que l'auteur donne dans les dix-neuf mémoires composant son ouvrage sont loin d'atteindre le niveau de rigueur et de précision que l'on trouve, à la même époque, dans les écrits de Saussure.

Horace-Bénédict de Saussure^{*} (1740-1799), né et mort à Conches, près de Genève, a consacré toute sa vie à l'étude des Alpes. Il traversa quatorze fois la chaîne par huit passages différents et pénétra ses massifs à seize reprises³. L'essentiel de ses observations est consigné dans les quatre volumes de ses *Voyages*, dont la parution s'échelonne de 1779 à 1796. Concernant la partie des Alpes qui nous intéresse, Saussure ne s'aventura qu'en Savoie : il visita tour à tour le Salève, les Voirons, le Môle, la rive méridionale du Léman, la Perte du Rhône et le Mont Sion, la vallée de l'Arve depuis

² Les astérisques (*) renvoient aux notices biographiques placées en fin de texte.

³ Les ascensions ponctuelles avec des guides, comme celle du mont Blanc (1787), sont rares et dédiées avant tout aux observations de physique atmosphérique.

fond de l'océan primordial, de minéraux qui ont donné les granites ; ces derniers ont été recouverts par d'autres dépôts, également d'origine aqueuse, les gneiss et les schistes micacés, avec lesquels ils constituent les roches « primitives », dépourvues de fossiles ; puis, dans l'océan dont le niveau baisse, s'est produit le dépôt des roches « secondaires », fossilifères, telles que les calcaires, les grès et les schistes. Le système neptuniste ne fait intervenir aucun processus dynamique tel que le plissement ou le dérangement des couches. L'océan, en se retirant progressivement, laisse dans un ordre déterminé les divers types de roches sous la forme d'un gigantesque escalier reposant sur les flancs granitiques de la partie la plus élevée de la chaîne ; les dépôts ne font donc que se modeler sur les irrégularités préexistantes du substratum qu'ils viennent recouvrir et dont ils prennent les pentes et les courbures.

En 1774, la pensée de Saussure a cheminé. Il est arrivé à une conception d'ensemble de la structure des Alpes. Il envisage maintenant un soulèvement de la partie primitive de la chaîne et le redressement corrélatif des couches secondaires sous l'action du « feu » ou de « fluides élastiques » contenus dans l'intérieur du Globe. Cette idée d'exhaussement tranche de façon éclatante avec la vision statique du neptunisme. Cependant, Saussure n'en est pas totalement satisfait. En 1776, sa découverte bien connue du conglomérat de Vallorcine, affleurant en couches verticales, lui apporte la preuve définitive du redressement tectonique des couches, mais la cause de ce redressement reste inconnue à ses yeux car nulle part il ne trouve de trace visible des « feux » souterrains » qui pourraient en être la cause. En outre, il ne sait pas comment expliquer les spectaculaires reploiements « en forme de S ou de C » qu'il a vus en plusieurs points. Mais, en 1780, puis à nouveau en 1784, il observe à Alby-sur-Chéran (au sud-ouest d'Annecy), des couches de molasse qui passent progressivement de la position verticale à la position subhorizontale, ce qui l'amène à penser que ce sédiment a subi l'action d'une force horizontale postérieurement à sa formation. Dans les années qui suivent, il invoque dans ses notes le concept de « refoulement horizontal ». Il réalise même une expérience très simple consistant à étendre une couverture sur une table et à comprimer celle-ci avec les mains de manière à obtenir une série de plis. Il réservait l'explication complète de ce processus de refoulement pour sa *Théorie de la Terre*, mais celle-ci ne verra malheureusement jamais le jour. Il n'en reste pas moins que la notion de dérangement des couches par refoulement latéral, tout comme celle d'une force verticale soulevant les terrains primitifs, sont des idées tout à fait novatrices dont les générations suivantes sauront tirer profit.

Un autre naturaliste genevois, **Guillaume-Antoine De Luc** (1729-1812) s'intéresse tout spécialement à la géologie du Salève, qu'il interprète comme une structure bordée par un réseau de fractures qui l'ont isolé par suite de l'effondrement des parties situées de part et d'autre (on parlerait aujourd'hui de « horst »). Il rejoint ainsi les idées de son frère **Jean-André De Luc*** (1727-1817) qui, à la différence de Saussure, expliquait

toutes les structures des montagnes par des affaissements différentiels de la croûte terrestre. Il partage aussi avec son frère l'idée que les vallées profondes sont des fractures tectoniques qui préexistaient aux cours d'eau, lesquels n'ont fait que débayer les débris superficiels. Ces idées sur l'importance des affaissements en tectonique et sur l'origine des vallées sont exposées en détail par Jean-André De Luc dans ses *Lettres à Blumenbach* (1798) et sont reprises dans son *Traité élémentaire de Géologie* (1809).

Déodat de Dolomieu* (1750-1801) est surtout connu pour ses travaux sur les volcans. C'est à la suite de sa nomination comme ingénieur des mines, en 1795, qu'il en vient à s'intéresser à la géologie des Alpes. Il fait alors plusieurs tournées dans les montagnes de cette chaîne (cinq voyages en Savoie et deux en Dauphiné entre 1794 et 1797, auxquels il faut ajouter son ultime et longue tournée en Suisse en 1801 au terme de laquelle il traversa pour la dernière fois la Savoie et son Dauphiné natal et mourut avant d'atteindre Paris). Il a exposé ses idées sur la structure de la chaîne alpine dans un rapport publié au début de 1798 dans le *Journal des Mines*.

Grand admirateur de Saussure, dont il n'hésite pas à se proclamer l'élève, Dolomieu se réfère aux « feuillets pyramidaux » du Mont-Blanc déjà décrits par son aîné, inclinés en sens inverse contre les deux versants du massif. Il y voit l'effet d'« un choc qui frappant obliquement contre l'écorce consolidée de notre globe l'aurait refoulée, aurait, en les rompant avec violence, déplacé et soulevé les bancs, et aurait forcé les uns à s'arc-bouter et se contrebuter en se soutenant en l'air [...] pendant que d'autres, retombant après la secousse, auraient chevauché les masses inférieures ». Il serait naturellement téméraire de voir dans ces explications peu claires une préfiguration de la tectonique tangentielle moderne.

Reprenant à son compte le schéma neptuniste classique, Dolomieu note que les couches secondaires se sont élevées sur les flancs de la chaîne primitive jusqu'à la hauteur de 2 000 toises (4 000 mètres). Le « manteau » qu'elles formaient a été ensuite « déchiré sur les épaules mêmes qui le portaient » mais, bien que détruit en grande partie, il en est resté des lambeaux isolés comme ceux qui recouvrent les cimes des Aiguilles-Rouges, ou celui qui forme le sommet du Buet. Cette observation (qui sera confirmée quelque cinquante ans plus tard par Alphonse Favre) conduit Dolomieu à envisager une « invasion du calcaire secondaire sur le primitif », qui « dans son mouvement progressif vers la chaîne granitique des Alpes [...] semble s'être élevé contre cet obstacle par l'effort d'une grande force impulsive ». Il ne s'agit, dans son esprit, nullement de charriage (au sens où nous l'entendons aujourd'hui), mais d'un transport en masse par des marées géantes !

On notera cet appel à des phénomènes rapides. « *Ce n'est pas le temps que j'invoquerai, c'est la force* » écrivait Dolomieu en 1791. C'est d'ailleurs ce terme de « force » que Dolomieu va employer pour expliquer, comme Saussure, le soulèvement et la disposition verticale

des dalles de granite du Mont-Blanc. Lui aussi emploie le terme de « refoulement », sans que l'on sache si c'était une intuition personnelle ou si elle lui avait été suggérée par le livre de son confrère de Genève.

Au cours de cette même phase pionnière de la géologie alpine, se font jour les données sur la géologie du Piémont recueillies par **Esprit-Benoît Nicolis de Robilant** (1724-1801) et publiées en 1784 dans les *Mémoires de l'Académie de Turin*. Un extrait de ce travail paraît en France dans le *Journal des Mines* en 1798 (la même année que le rapport de Dolomieu). L'auteur y décrit la succession des terrains telle qu'il l'a observée sur le versant italien des Alpes : granite, couches quartzieuses et talqueuses, couches de « serpentines » contenant fréquemment des grenats, de l'asbeste et de l'amiante (les futures ophiolites), pierres réfractaires et cornées, couches schisteuses et ardoises. On y retrouve, et dans l'ordre, les ensembles lithologiques de la future zone des Schistes lustrés.

2. DE 1808 A 1828 : LES PREMIERES BASES DE LA STRATIGRAPHIE ALPINE

Jusque-là, les terrains alpins avaient été simplement divisés en « primitifs », ne renfermant aucun fossile, et « secondaires », qui en contiennent. Werner et son école avaient bien créé une troisième classe, intermédiaire entre les deux autres, celle des « terrains de transition », mais ceux-ci n'avaient été reconnus dans les Alpes ni par Saussure, ni par Dolomieu.

C'est un jeune ingénieur chargé d'enseigner la géologie aux élèves du Corps des mines, **André Brochant de Villiers***(1772-1840), qui apporta les preuves de l'existence de cette troisième classe de terrains dans la chaîne alpine. Appelé par ses fonctions d'enseignant en Tarentaise – où l'École des mines de Paris avait été transférée de 1802 à 1814⁴ – ce disciple de Werner (dont il avait suivi les cours de 1791 à 1793) et de Dolomieu (qu'il avait accompagné dans ses tournées de 1795 et de 1797), et surtout lecteur assidu de Saussure (dont les *Voyages* étaient considérés par lui comme des guides sûrs et fiables), découvre, en parcourant les Alpes avec ses étudiants, que ses illustres prédécesseurs ont conclu trop hâtivement à l'âge « primitif » de la totalité des terrains intra-alpins, ce qui le conduit à modifier son point de vue sur la constitution géologique des Alpes.

Les idées nouvelles de Brochant de Villiers sont résumées par Verneilh dans la *Statistique du département du Mont-Blanc* (1807), mais elles sont surtout développées dans un mémoire inséré en 1808 dans le *Journal des Mines*. Dans ce travail, Brochant

⁴ Avant l'annexion de 1860, la Savoie fut rattachée à la France révolutionnaire en 1792, puis restituée au roi de Piémont-Sardaigne à la fin du Premier Empire, en 1815.

commence par diviser le sol de la Savoie en deux régions entièrement différentes du point de vue géologique. Les observations sur lesquelles il s'appuie pour établir cette distinction sont récapitulées dans le tableau de la figure 3 où l'on retrouve, en fait, les idées de Guettard.

	Chaîne principale	Chaîne secondaire
<i>Situation générale</i>	Constitue la partie centrale et la plus élevée des Alpes. Forme la ligne de partage des eaux entre France et Italie.	À l'ouest de la chaîne principale, qu'elle borde sur toute sa longueur (depuis la Méditerranée jusqu'au-delà de la Suisse). Forme en quelque sorte le « premier rang des Alpes ».
<i>Litologie</i>	Roches très variées, souvent compactes, faites d'éléments cristallins et ayant de ce fait tous les caractères des roches primitives.	Roches représentées presque uniquement par le calcaire compact souvent mélangé de corps marins, (surtout dans les parties les plus éloignées du terrain primitif).
<i>Métallurgie</i>	Beaucoup de gîtes de minerais métalliques.	À peine quelques traces de gîtes métalliques.
<i>Disposition des couches</i>	Stratification très régulière et s'écartant peu de la verticale. Pas de « contournements en grand », mais certaines roches schisteuses présentent « des ondulations dans leurs feuillettes ». Direction assez constante et presque toujours NE – SW.	Bien que « contournées en grand », les couches sont, dans l'ensemble, horizontales.
<i>Modelé</i>	Sommets hérissés de pointes aiguës très élevées au-dessus de leur base. Escarpements très raides mais jamais absolument verticaux.	La plupart des cimes sont des plateaux parsemés de quelques roches peu proéminentes. Escarpements verticaux.
<i>Zone de contact</i>	Les deux chaînes sont souvent séparées par des vallées ouvertes à leur jonction : vallées de l'Isère (de Grenoble à Conflans, confluent de l'Isère et de l'Arly), du Rhône (dans le Valais) et de l'Inn (en suivant plus loin les Alpes jusqu'en Allemagne).	

Fig. 3. Les « deux chaînes minéralogiques » reconnues par Brochant de Villiers dans les Alpes (1808).

On notera que ce géologue a fort bien perçu les différences qui opposent, tant du point de vue lithologique que tectonique, le domaine alpin externe (plus précisément sa couverture sédimentaire) et le domaine alpin interne (notre actuel domaine pennique, auquel il a ajouté les massifs cristallins externes et leurs bordures).

Brochant s'attache ensuite à montrer que, dans la chaîne principale, les terrains sont tantôt « primitifs », tantôt de l'espèce dite « de transition ». Ses arguments sont d'ordre

lithologique : beaucoup de roches de type cristallin, et donc « primitives », sont associées à des faciès détritiques (comme des poudingues quartzeux et des poudingues calcaires, classés par Werner dans les « terrains de transition »), et à des sédiments fossilifères (découverte d'empreintes végétales dans des couches à anthracite au Petit Saint-Bernard, à Villarlurin et à Landry). Il en conclut que les terrains de transition des Alpes sont les plus anciens de cette classe et reposent sur les termes les plus récents des terrains primitifs, auxquels ils paraissent se lier étroitement. Quelques années plus tard, Brochant reconnaît à Paris, dans une table en marbre de Villette (provenant d'une carrière située entre Moûtiers et Bourg-Saint-Maurice), la coquille d'un nautilus. Cette observation supplémentaire le conforte dans ses conclusions (1817).

Dès lors, les découvertes de fossiles dans les régions alpines internes se multiplient et achèvent de ruiner la conception de l'axe « primitif » des Alpes. En 1814, **Jean de Charpentier*** (1786-1855) trouve des bélemnites dans des calcschistes grenatiformes du col de Nufenen, dans le massif du Saint-Gothard, et en découvrira encore d'autres dans les calcaires « primitifs » du col de la Seigne⁵. Quelques années plus tard, **Étienne Borson** (1758-1832), professeur de minéralogie à Turin, cite de nouvelles empreintes végétales en Tarentaise (1829), au-dessus de Salins, à Montagny, à Servoz et sur les hauteurs qui dominent Aigueblanche. Il signale aussi un pecten et des bélemnites dans le marbre de Villette.

Dans le même temps, la science géologique connaît une véritable révolution. Durant les premières décennies du XIX^e siècle, en effet, ses méthodes se précisent, un langage spécialisé est créé, qui permet aux membres d'une communauté géologique en pleine expansion de mieux s'entendre et se comprendre. Témoins de cet essor, des sociétés géologiques voient le jour : celle de Londres est fondée en 1807, celle de France le sera en 1830. De part et d'autre de la Manche, la stratigraphie paléontologique prend le relais de la lithostratigraphie de l'école saxonne qui a montré ses limites. Née dans les bassins sédimentaires de Paris (avec Georges Cuvier et Alexandre Brongniart) et de Londres (avec William Smith), cette nouvelle discipline s'intéressa aussi et tout naturellement aux formations alpines.

Les premiers à appliquer la stratigraphie paléontologique aux terrains sédimentaires des Alpes et à corrélérer leur âge avec celui des formations secondaires déjà bien caractérisées sont **Alexandre Brongniart*** (1770-1847) et **William Buckland** (1782-1856)⁶. À la suite d'un voyage effectué en 1817 en Suisse et en Savoie, où il a pu étudier la série des

⁵ La découverte des bélemnites du col de la Nufenen semble avoir été mentionnée pour la première fois dans la littérature géologique par **Charles Lard** (1833), et celle des bélemnites du col de la Seigne par **Humboldt** (*Annales de Chimie*, 1823).

⁶ William Buckland fut professeur de géologie à Oxford et correspondant de l'Académie des sciences de Paris.

terrains constituant la montagne des Fiz (dans la chaîne du Buet), Brongniart établit, en 1821, en se basant sur l'examen des fossiles, l'identité d'âge entre le calcaire formant le sommet de cette montagne et la craie de Rouen, formation typique du Crétacé supérieur qui sera baptisé ainsi l'année suivante par Omalius d'Halloy (1822). Cette corrélation lui paraît encore plus nette dans le cas du calcaire de la Perte du Rhône. Ses conclusions sont publiées dans une note mémorable insérée en 1821 dans les *Annales des Mines*. La même année, Buckland fait paraître dans les *Annals of Philosophy* une notice dans laquelle il arrive à peu près aux mêmes conclusions. Tout en conservant encore un « terrain de transition » (représenté essentiellement par les conglomérats de Vallorcine et du Petit Saint-Bernard), il range les roches de la vallée d'Abondance dans les grès bigarrés (la base de l'actuel Trias), il rapporte le calcaire de Bex au Lias et, surtout, il assimile le calcaire qui forme les sommets de l'aiguille de Varan, dans la vallée de l'Arve, ainsi que ceux des Diablerets, dans la vallée du Rhône, au « grès vert » (l'actuel Albien).

En 1823, un autre Anglais, **Robert Bakewell** (1768-1843)⁷, publie un ouvrage dans lequel il relate un séjour qu'il a fait en Tarentaise. L'auteur y affirme que les schistes talqueux de cette région des Alpes sont plus voisins des roches secondaires qu'on ne l'avait pensé jusqu'alors. Puis, après avoir soigneusement exploré le terrain calcaire et schisteux dont les roches cristallines « de transition » forment la base, il se dit convaincu que les schistes renfermant des anthracites et des empreintes végétales, comme ceux de la pente méridionale et septentrionale du mont Blanc, de Mouïtiers et du col de Balme, appartiennent à la formation houillère, tandis que la grande masse calcaire qui repose immédiatement sur ce terrain fait partie du Lias.

En ce début du XIX^e siècle, les Alpes sont aussi parcourues par des amateurs comme **Ami Boué*** (1794-1881), l'un des futurs fondateurs de la Société géologique de France, qui traverse la chaîne par le Mont-Cenis en 1822. Au cours de ce voyage, il s'intéresse particulièrement aux roches « transformées » pour lesquelles il crée le terme de « schistes cristallins ». Ami Boué reconnut aussi l'importance des dislocations, trop souvent négligées par ses contemporains. Dans sa traversée des Alpes, il observe ce que nous appelons maintenant les « Schistes lustrés ». Il y voit une épaisse série sédimentaire monotone, elle aussi « transformée ». Si le terme flysch avait existé à l'époque⁸. Ami Boué l'aurait certainement employé. À défaut, il emploie celui de « macigno » que les Italiens utilisaient pour les séries tout aussi monotones de l'Apennin.

⁷ Géologue anglais très populaire, auteur d'une *Introduction à la géologie* (600 p.) qui connut un grand succès (cinq éditions, de 1813 à 1839). Curieusement, Robert Bakewell ne réussit jamais à se faire admettre comme membre de la Société géologique de Londres.

⁸ Le terme « flysch » apparaît seulement en 1827. Voir note 18, p. 44.

3. DE 1828 A 1861 : LE DEBAT SUR L'AGE DU « TERRAIN ANTHRACIFERE » DES ALPES

Les progrès enregistrés par la géologie alpine connaissent un coup d'arrêt en 1828 à la suite de la publication d'un article de **Léonce Élie de Beaumont*** (1798-1874). Dans ce travail d'à peine quinze pages, le jeune ingénieur des mines – qui fut l'élève de Brochant de Villiers avant de devenir son collaborateur dans le lever de la fameuse carte géologique de France à 1/500 000 – décrit une série de couches qu'il a observées à Petit-Cœur, près de Moûtiers, série dans laquelle un schiste noir à empreintes végétales se trouve intercalé entre deux assises calcaires renfermant des bélemnites. Or la détermination des végétaux, confiée à **Adolphe Brongniart** (1801-1876, fils d'Alexandre Brongniart), révèle qu'ils sont identiques à ceux du terrain houiller (1828), tandis que les bélemnites provenant du même gisement sont rapportées au Lias. En conséquence, Élie de Beaumont estime qu'on ne peut se fier aux fossiles pour dater les terrains.

Cette conclusion radicale, qui remet en cause la validité de l'outil paléontologique en stratigraphie, provoque un vif émoi chez les géologues. Ceux-ci se divisent en deux camps : d'un côté les « géomètres », enrôlés dans le clan d'Élie de Beaumont ; de l'autre les « paléontologues », qui gardent confiance dans la valeur des fossiles, seule base solide de toute stratigraphie. Ainsi naît *l'affaire de Petit-Cœur*, qui mobilisera les esprits pendant plus de trente ans⁹.

La plupart de ceux qui contestent la valeur des fossiles accordent cependant la prééminence aux restes d'animaux plutôt que végétaux et assignent un âge uniformément jurassique à tout ce qui, dans la partie centrale des Alpes, n'est pas réputé cristallin. Ils en font un terrain spécial : le « terrain anthracifère » (ainsi nommé parce qu'il renferme, à plusieurs niveaux, des anthracites) et admettent que les couches de ce terrain forment un immense synclinal « en fond de bateau », leurs tranches monoclinales affleurant symétriquement de chaque côté d'une zone centrale (disposition qui sera à l'origine de la notion d'« éventail Briançonnais »). Ils attribuent l'immense épaisseur des sédiments accumulés (tantôt schisteux et calcaires, tantôt gréseux) à la très grande profondeur que devait avoir la mer jurassique sur l'emplacement des futures montagnes alpines ; ils expliquent les différences de faciès observées entre les deux flancs de leur synclinal par les effets transformateurs du métamorphisme (qui se sont surtout fait sentir dans toute la partie orientale)¹⁰. Cette

⁹ Pour l'historique de l'affaire de Petit-Cœur, voir **A. Gaudry** (1855) : Résumé des travaux qui ont été entrepris sur les terrains anthracifères des Alpes de la France et de la Savoie. *Bulletin de la Société géologique de France*, (2), 12, p. 580-631.

¹⁰ Il y a là une préfiguration de la théorie du géosynclinal.