



HAL
open science

Une percée de la chaîne alpine sur fond de controverse géologique : le tunnel ferroviaire du Fréjus (1857-1871)

Philippe Grandchamp

► To cite this version:

Philippe Grandchamp. Une percée de la chaîne alpine sur fond de controverse géologique : le tunnel ferroviaire du Fréjus (1857-1871). Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie, 1922, 3ème série (tome 36), pp.73-95. <hal-04646163>

HAL Id: hal-04646163

<https://hal.science/hal-04646163v1>

Submitted on 12 Jul 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Une percée de la chaîne alpine sur fond de controverse géologique : le tunnel ferroviaire du Fréjus (1857-1871)

Philippe GRANDCHAMP

Résumé. Le 17 septembre 1871 était inauguré le tunnel ferroviaire du Fréjus. Au-delà de la prouesse technique, cette première grande percée des Alpes présentait un intérêt scientifique car elle intervenait alors que l'interprétation structurale de cette chaîne de montagnes faisait débat. La controverse était née après que Léonce Élie de Beaumont avait affirmé qu'il n'existait qu'une formation d'âge uniformément jurassique dans les zones intra-alpines, le « terrain anthracifère », disposé « en fond de bateau » entre massifs cristallins externes et massifs cristallins internes, ce que la majorité des géologues alpins contestaient. La percée du Fréjus devait susciter une floraison d'études géologiques, les premières dans le but de prédire la nature et l'épaisseur des terrains qui seraient traversés, les secondes pour vérifier que la succession des roches rencontrées lors du creusement de la galerie formaient une série continue confirmant la thèse du fond de bateau, dont le tunnel traversait le relèvement oriental. Mais cette vision, âprement défendue par Léonce Élie de Beaumont et Angelo Sismonda, ne put l'emporter face à l'interprétation alternative, soutenue par Alphonse Favre et Charles Lory, selon laquelle la disposition des terrains stratifiés des zones intra-alpines faisait nécessairement intervenir des accidents tectoniques.

Mots clés : tunnel du Fréjus – terrain anthracifère – Léonce Élie de Beaumont – Angelo Sismonda – structure en fond de bateau – Société géologique de France

Abstract. On 17 September 1871, the Fréjus railway tunnel was inaugurated. As well as being a technical feat, this first major breakthrough in the Alps was of scientific interest because it took place at a time when the structural interpretation of this mountain range was the subject of debate. The controversy had arisen after Léonce Élie de Beaumont had claimed that there was only one formation of uniformly Jurassic age in the intra-Alpine zones, the "terrain anthracifère", arranged "at the bottom of the boat" between the outer and inner crystalline massifs, something that most Alpine geologists disputed. The Fréjus breakthrough was to give rise to a flurry of geological studies, the first aimed at predicting the nature and thickness of the terrain that would be traversed, the second at verifying that the succession of rocks encountered during the excavation of the gallery formed a continuous series confirming the boat-bottom thesis, the tunnel crossing its eastern rise. But this view, fiercely defended by Léonce Élie de Beaumont and Angelo Sismonda, failed to win out against the alternative interpretation, supported by Alphonse Favre and Charles Lory, according to which the layering of the terrain in the intra-Alpine zones necessarily involved tectonic accidents.

Keywords : Fréjus railway tunnel – terrain anthracifère – Léonce Élie de Beaumont – Angelo Sismonda – boat-bottom structure – Société géologique de France

Introduction

Le 17 septembre 1871, un train composé de 22 voitures tractées par une machine à vapeur franchissait pour la première fois les Alpes en emprun-

tant le tunnel ferroviaire du Fréjus (Fig. 1)¹. La traversée des quelque 12 km de galerie, effectuée dans le sens Italie-France, avait duré 38 minutes. L'inauguration de cet ouvrage de génie civil hors norme mettait un point final à un chantier qui avait

¹ Ce tunnel est aussi appelé *tunnel du mont Cenis*, bien qu'il soit situé à plus de 20 km au sud-ouest du col portant ce nom. À l'époque de son creusement, il fut également dénommé *tunnel des Alpes*.

débuté 14 ans plus tôt, en août 1857. Mais le projet de percement des Alpes avait commencé à occuper les esprits bien avant. Il est donc nécessaire de donner d'abord quelques repères chrono-

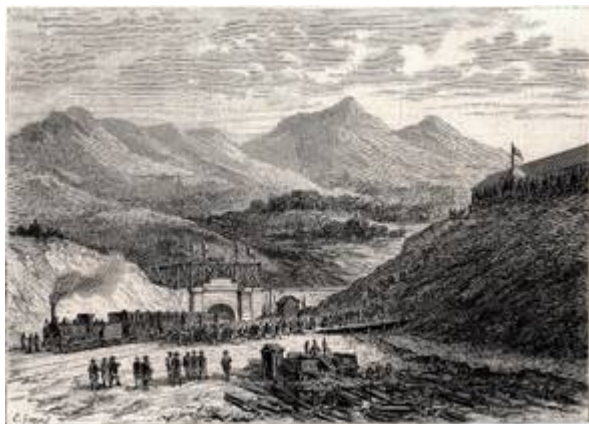


Fig. 1. Arrivée du premier train venant d'Italie par le tunnel du Fréjus, le 17 septembre 1971. Après avoir franchi l'entrée monumentale côté Modane, les invités descendent des voitures pour se rendre au banquet offert à l'occasion de cet événement. Gravure parue dans *Le Monde Illustré* du 23 septembre 1871.

logiques afin de bien comprendre dans quel contexte politico-économique et historique eut lieu le débat géologique qui se déroula en marge du percement du tunnel.

1. Quelques repères chronologiques

Dès 1839, dans un mémoire qu'il soumit au roi Charles-Albert, Jacques-François Médail, ancien commissaire des douanes de Bardonnèche, mettait en évidence que le lieu le plus propice pour percer une galerie de chemin de fer à travers les Alpes occidentales se situerait à proximité du col du mont Cenis, sous le mont Fréjus, entre Modane et Bardonnèche. À cet endroit en effet, la vallée savoyarde de la Maurienne et la vallée piémontaise de la Doire Ripaire ne sont séparées que par une douzaine de kilomètres sous la ligne de crête de la chaîne (Fig. 2). Un tel tunnel permettrait alors au gouvernement sarde de relier la Savoie, l'une de ses provinces les plus considérables, à la capitale du royaume de Piémont-Sardaigne. Mais le projet fut classé sans suite.

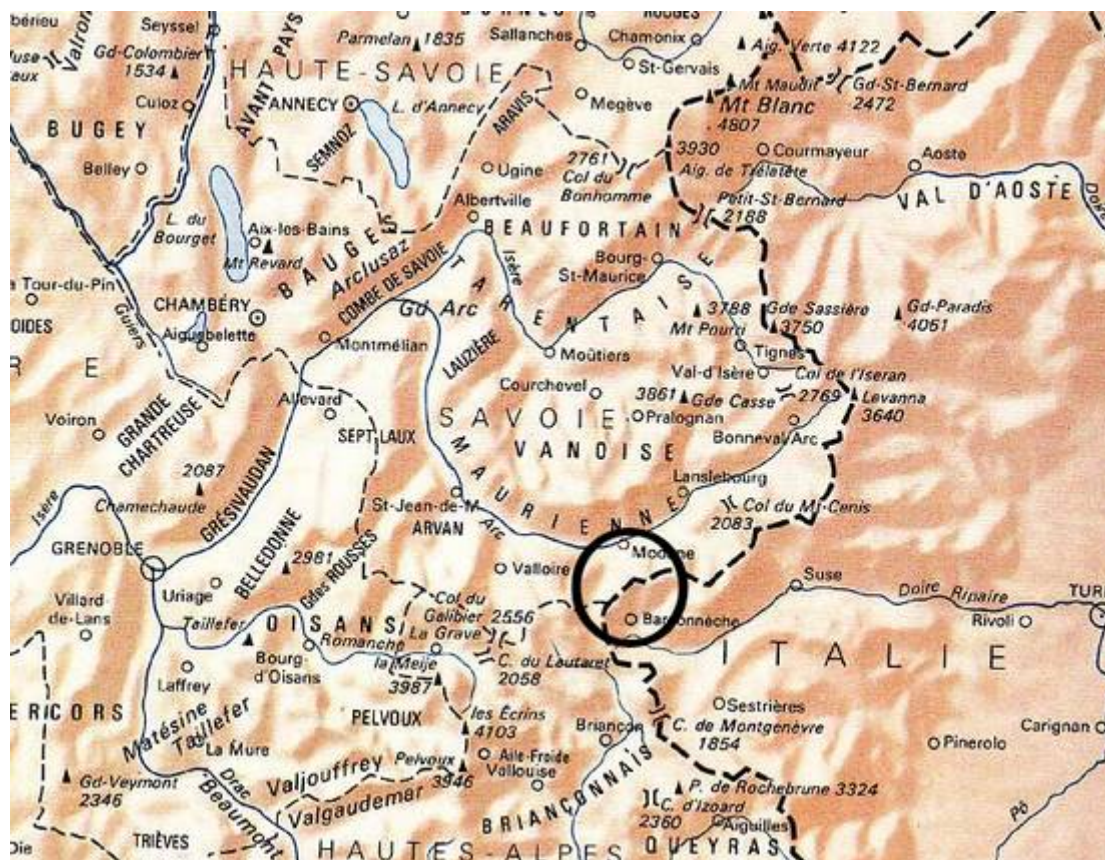


Fig. 2. Sur cet extrait de la carte des Alpes occidentales, on voit clairement que l'emplacement idéal pour percer un tunnel reliant les deux versants de la chaîne se situe entre Modane et Bardonnèche. La ligne pointillée, qui correspond à la frontière actuelle entre la France et l'Italie, sépare jusqu'en 1860 deux provinces du royaume de Piémont-Sardaigne : la Savoie et le Piémont.

En 1845, la donne a changé : la ligne Turin - Gênes était en cours d'achèvement et le gouvernement sarde a compris que le chemin de fer est un moyen qui pourrait permettre de relier, via Turin, Gênes à la Savoie et, au-delà, à la France, à la Suisse et aux états de l'Europe centrale. Avec le tunnel, le royaume de Piémont-Sardaigne posséderait la clef des Alpes car, par lui seul, elles seraient franchies en toutes saisons et à toute vitesse. En juillet 1845, le roi Charles-Albert engagea l'ingénieur belge Michel Henri Joseph Maus (1808-1893), qui dirigeait les travaux de la ligne Gênes-Turin, pour trouver une solution permettant de faire passer le chemin de fer à travers les Alpes. Il lui adjoignit Angelo Sismonda (1807-

1878), professeur de minéralogie et de géologie à l'université de Turin, pour trouver l'emplacement idéal. Après avoir exploré la partie des Alpes comprise entre le mont Genève et le mont Cenis, les deux hommes arrivèrent à la même conclusion que Medail.

En 1846, trois ingénieurs sardes, Sebastiano Grandis (1817-1892), Severino Grattoni (1815-1876) et Germain Sommeiller (1815-1871) entrèrent en lice. Ils mirent au point un marteau perforateur à air comprimé plus perfectionné que la machine inventée par Maus (Fig. 3). Mais en 1848-1849, la guerre et l'épuisement des finances publiques entraînent l'arrêt des recherches.



S. GRANDIS



S. GRATTONI



G. SOMMEILLER

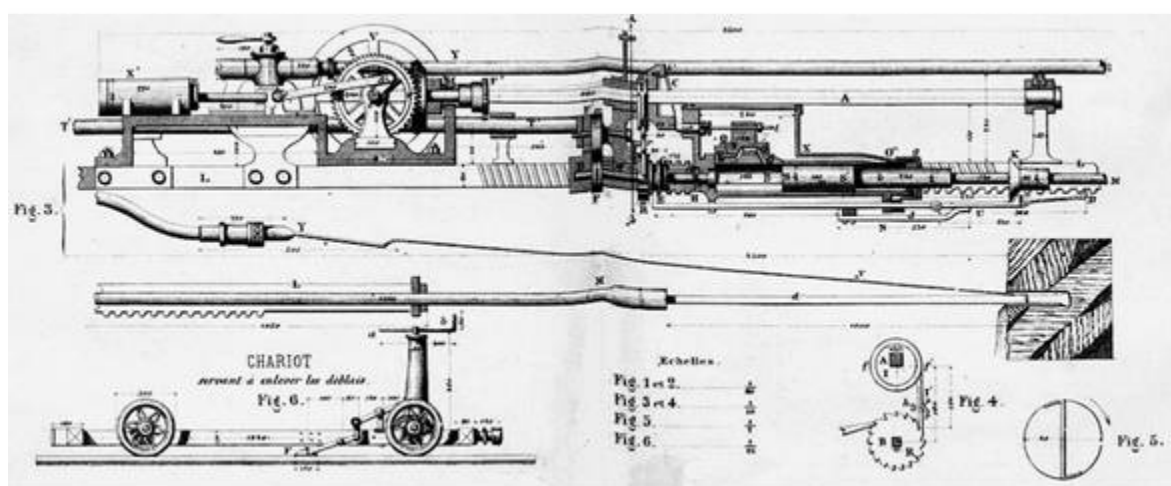


Fig. 3. Les trois ingénieurs sardes et les détails du marteau perforateur à air comprimé pour lequel Germain Sommeiller déposa un brevet en 1849.

Après l'accession au trône de Victor-Emmanuel II et la nomination de Cavour à la tête du gouvernement sarde, l'entreprise fut relancée. En

1854, une commission approuva le projet Grandis Grattoni Sommeiller. Le 15 août 1857, une loi autorisant le gouvernement à construire la section

de chemin de fer Victor-Emmanuel entre Suze et Modane, comprenant le tunnel, était votée. Le 31 août suivant avait lieu le premier tir de mine aux Fourneaux, près de Modane, en présence de Victor-Emmanuel II. Deux galeries furent ouvertes de

part et d'autre du mont Fréjus, l'une du côté de Modane (à 1 202 m d'altitude), l'autre à Bardonnèche (1 335 m d'altitude). Le tunnel une fois terminé devait mesurer 12 233 m de long (Fig. 4).

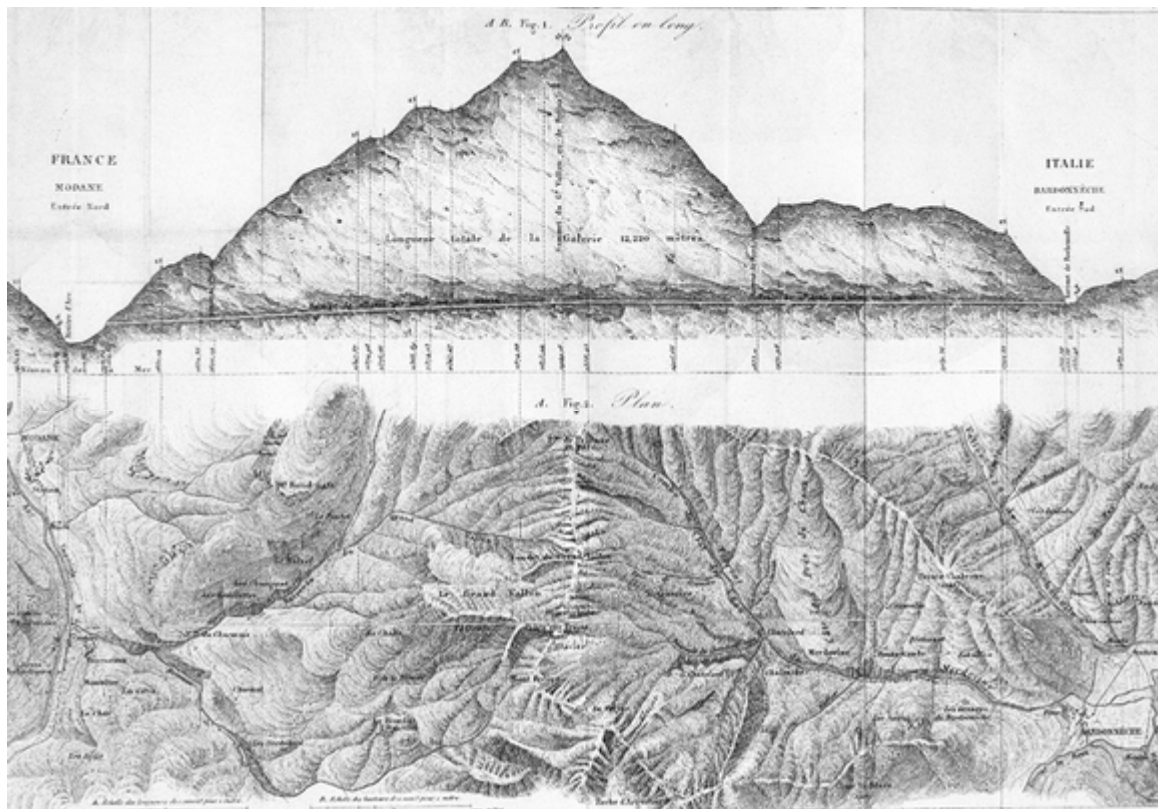


Fig. 4. Profil du « Tunnel des Alpes » entre Modane (à gauche) et Bardonnèche (à droite). Noter la différence d'altitude entre les deux ouvertures de la galerie et légère pente donnée à chacun des deux tronçons pour qu'ils puissent se rencontrer à coup sûr et pour permettre aussi l'évacuation des eaux d'infiltration. Ce document ayant été publié après 1860, la crête sommitale est indiquée comme marquant la frontière entre la France et l'Italie (ce qui n'était pas le cas au moment de l'inauguration des travaux).

Le 13 juin 1860, c'était l'Annexion de la Savoie à la France. La moitié du tunnel passait ainsi en territoire français. Cavour, qui savait la France hostile au projet – car celui-ci risquait de détourner sur Gênes une partie du trafic allant sur Marseille – avait pris la précaution d'inclure dans le traité de Turin du 24 mars une clause obligeant la France à participer financièrement aux travaux, le gouvernement sarde se réservant le droit de terminer le chantier². Le 7 mai 1862, une convention ratifiant toutes les dispositions relatives au tunnel était si-

gnée. Huit ans plus tard, le 25 décembre 1870, la jonction des deux galeries s'opéra enfin (avec un écart d'alignement de 30 cm seulement entre les axes des deux tronçons !). Le 18 août 1871, la dernière pierre de l'entrée monumentale de Modane était posée et le 17 septembre suivant avait lieu l'inauguration de l'ouvrage³.

Au-delà de la prouesse technique et des enjeux politiques et économiques qu'il représentait, le percement du tunnel du Fréjus fut réalisé alors

² L'ingénieur en chef Germain Sommeiller, natif de Saint-Jeoire-en-Faucigny (près de Bonneville), qui supervisait le chantier du tunnel, avait d'ailleurs choisi de garder la nationalité sarde après l'Annexion, ce qui lui permit de conserver son poste jusqu'à l'achèvement des travaux (il devait malheureusement décéder le 11 juillet 1871, quelques semaines seulement avant l'inauguration de « son » tunnel).

³ L'événement fut célébré avec faste à Turin, mais rencontra un écho plus mesuré en France, encore traumatisée par la défaite militaire contre la Prusse.

qu'une controverse portant sur l'interprétation structurale de la chaîne alpine divisait la communauté géologique.

2. Une interprétation structurale qui fait alors débat

2.1. L'origine du litige

Pour bien comprendre les raisons de la controverse, il est nécessaire de se reporter à la carte

géologique de la France publiée en 1841 (ou plutôt au tableau d'assemblage de cette carte) et à la façon dont les Alpes y sont figurées (Fig. 5). Ce secteur a été levé par Léonce Élie de Beaumont en 1827. On y reconnaît sans peine les massifs cristallins externes : Mont-Blanc, Aiguilles Rouges, Belledonne et Pelvoux (notés y) et, plus difficilement, les massifs cristallins internes (également notés y). Entre ces deux alignements ne figurent que des terrains d'âge jurassique (notés j) modifiés par le métamorphisme dans la partie orientale (secteur hachuré).

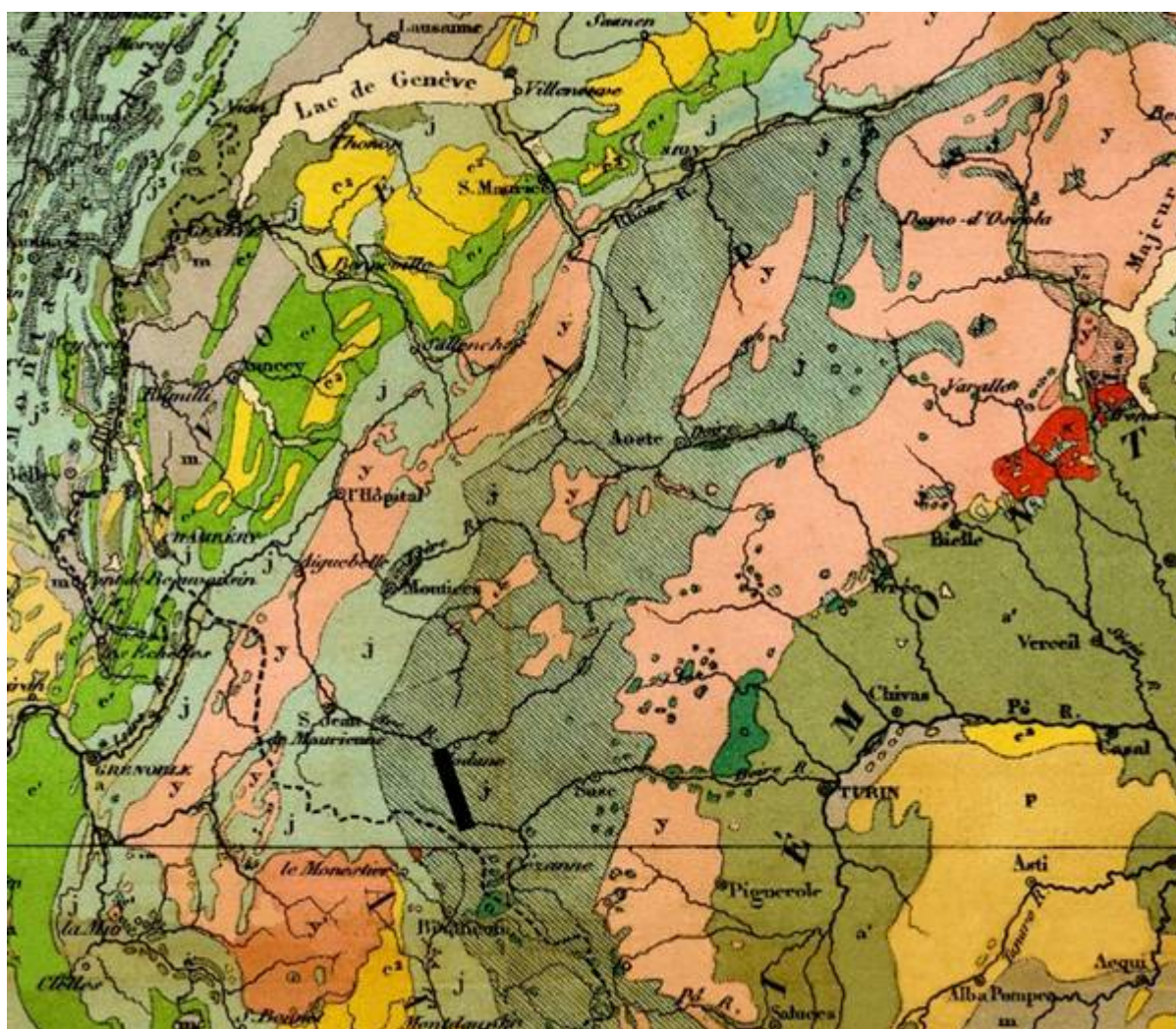


Fig. 5. Extrait du tableau d'assemblage de la carte géologique de la France (1841). Entre les massifs cristallins externes et internes (y), les terrains sont tous rangés dans le Jurassique (j), leur secteur oriental ayant été transformé par le métamorphisme (zone hachurée). Le trait noir épais (ajouté) indique l'emplacement du tunnel.

Il s'agit là, ni plus ni moins, de la traduction cartographique des conceptions que se faisait Élie de Beaumont sur la formation des chaînes de montagnes et qu'il avait exposées dès 1829. Selon lui,

le refroidissement séculaire du Globe a entraîné périodiquement un réajustement de sa croûte solide sur la sphère sous-jacente de matériau pâteux dont le rayon diminuait. Ces réajustements se

sont traduits par des soulèvements rectilignes dont chacun se caractérise par une direction particulière et une discordance de stratification qu'il est possible de dater.

En appliquant ce raisonnement aux Alpes, Élie de Beaumont en déduisit que celles-ci se sont soulevées en deux temps (Fig. 6). Le soulèvement dit des Alpes occidentales a conduit le terrain primitif à crever sa couverture sédimentaire et à former deux alignements parallèles (correspondant aux massifs cristallins externes et internes) entre lesquels les terrains sédimentaires ont pris la forme d'un « fond de bateau ».

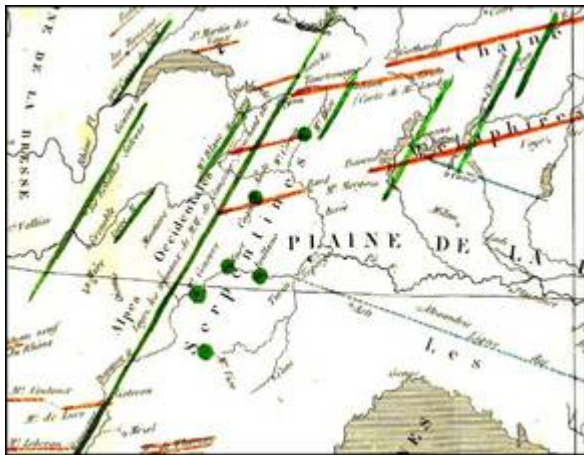


Fig. 6. Interprétation de la structure des Alpes par Élie de Beaumont (1829). Les Alpes sont le résultat de deux soulèvements rectilignes indépendants, de direction et d'âge différents, le système des Alpes occidentales et celui de la Chaîne principale des Alpes, qui se croisent au niveau du Mont-Blanc en faisant entre eux un angle de 45 à 50° (les gros points correspondent à des injections de serpentinite).

Comme l'éminent géologue avait étudié en 1827, à Petit-Cœur, les terrains stratifiés reposant au contact du massif cristallin externe de Belledonne, et avait noté à cette occasion qu'ils formaient une série dans laquelle une couche renfermant des fossiles végétaux houillers était intercalée entre deux niveaux à bélemnites (réputées liasiques)⁴, il avait conclu à l'existence dans les Alpes d'un terrain particulier, d'âge jurassique, présentant des niveaux renfermant de la houille, le « terrain anthracifère ». Ce terrain formait un immense bassin dont les couches affleuraient symétriquement en tranches monoclinales et dont la partie orientale avait été transformée par le

métamorphisme (ce qui expliquait pourquoi on n'y voyait pas se succéder, dans l'ordre inverse, les roches affleurant dans la partie ouest de ce gigantesque synclinal). Selon cette interprétation, le tunnel projeté devait traverser les différentes assises métamorphisées du relèvement sud-est (voir son tracé sur la Fig. 5).

Les conclusions d'Élie de Beaumont, qui revenaient à nier la valeur stratigraphique des fossiles, avaient de quoi semer le trouble dans les rangs de la communauté géologique, laquelle ne tarda pas à se scinder en deux camps.

2.2. Les deux camps en présence

Élie de Beaumont rallia à sa cause Angelo Sismonda, qui sera son indéfectible soutien et son « honorable correspondant » sur place (Fig. 7). On trouve aussi dans son camp, sans surprise, les ingénieurs des mines Armand Dufrénoy (1792-1857) et André Brochant de Villiers (1772-1840), co-auteurs avec lui de la carte géologique de la France (1841). Tous adhéraient à la thèse du « fond de bateau » constitué de terrains d'âge exclusivement jurassique et refusaient d'accorder aux fossiles un rôle prépondérant dans la détermination de l'âge des couches. La stratigraphie qu'ils prônaient était purement géométrique, reposant uniquement sur les rapports tridimensionnels entre les masses minérales du bâti souterrain.

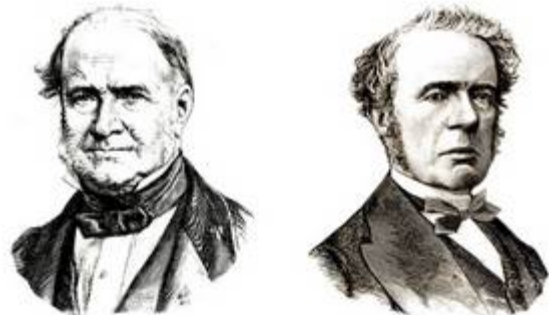


Fig. 7. Léonce Elie de Beaumont (à gauche) et Angelo Sismonda (à droite), partisans de la thèse du « terrain anthracifère » d'âge jurassique disposé « en fond de bateau » entre massifs cristallins externes et internes.

Le premier à réagir contre les idées d'Élie de Beaumont fut l'ingénieur des mines Louis Voltz (1785-1840) qui, dès 1830, expliqua l'imbrication des grès à anthracite et des calcaires liasiques par des redressements ayant affecté des zones séparées par des failles parallèles, produisant ainsi des

⁴ Élie de Beaumont, 1828.

apparences d'alternances (Fig. 8, schéma de gauche)⁵. En 1841, Alphonse Favre (1815-1890), professeur de géologie à l'université de Genève, proposa un autre mécanisme tectonique pour expliquer la position paradoxale des anthracites (comme à Petit-Cœur) : un pli très serré dont la charnière a été arasée et dont il ne subsiste que les flancs (Fig. 8, schéma de droite)⁶.

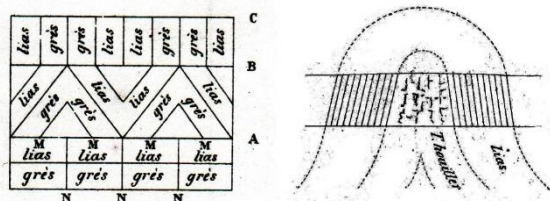


Fig. 8. Interprétations de l'imbrication du Houiller et du Lias par un mécanisme tectonique. À gauche, mécanisme imaginé par Voltz (redressements de zones séparées par des failles parallèles). À droite, mécanisme proposé par Favre (pli serré suivi de l'érosion de sa charnière) (d'après FAVRE, 1867).

2.3. La controverse prend de l'ampleur

La discordance devait gagner progressivement l'ensemble de la communauté des géologues, les uns adhérant aux idées d'Élie de Beaumont, les autres protestant, à la suite de Voltz et de Favre, contre cette interprétation de la structure des Alpes. Certains, comme Bernhard Studer (1894-1887) ou Gabriel de Mortillet (1821-1898), d'abord adeptes de la thèse officielle du terrain anthracifère, rejoignirent les rangs des non conformistes qui refusaient de céder aux apparences trom-

peuses et gardaient leur confiance envers et contre tout dans la valeur des fossiles⁷.

En 1855 (soit deux ans avant le début des travaux du tunnel), la Société géologique de France chargea son secrétaire Albert Gaudry (1827-1908) de faire le point sur la question. Ce dernier ne recensa alors pas moins de 83 mémoires ou notes sur l'âge des couches à anthracite des Alpes, plus particulièrement en Maurienne et en Tarentaise⁸. Et cela ne donne sans doute qu'une faible idée de l'ampleur de la polémique car, si l'on en croit Alphonse Favre, on en parlait bien plus par oral que par écrit⁹.

2.4. La mise en chantier du tunnel ne fait pas progresser le débat

Dans les années qui suivent, la perspective de l'ouverture prochaine du chantier du tunnel suscita la rédaction d'études géologiques destinées à prévoir la nature, l'épaisseur et la succession des terrains que la galerie devait traverser. Ainsi, la Chambre d'agriculture et de commerce de la Savoie commanda à Gabriel de Mortillet une étude géologique *Sur la percée du Mont Cenis*. Rédigé dès 1856, ce travail fut publié deux ans plus tard¹⁰. Une autre étude, confiée par la direction du Service des mines du royaume de Piémont-Sardaigne au jeune ingénieur des mines Hippolyte Lachat (1829-1901), fut insérée dans un rapport daté de 1858 et resté inédit¹¹ (Fig. 9).

La succession des terrains décrite dans ces deux études, extrapolée à partir des affleurements de surface¹², est quasiment la même (Fig. 10)¹³

⁵ VOLTZ, lettre adressée le 6 février 1830 à Émile Gueymard (1786-1869) et publiée par ce dernier en 1844 (GAUDRY, 1855, p. 697 ; FAVRE, 1867, III, p. 597 ; REVIL, 1893, p. 233).

⁶ FAVRE, 1857, *Atlas*, pl. XXVII, Fig. 1 et Fig. 2.

⁷ Dans les rangs de ces derniers figuraient notamment Lory, d'Orbigny, d'Archiac, Murchison, Lyell, ainsi que tous les géologues suisses qui s'occupaient de la question.

⁸ GAUDRY, 1855, p. 636.

⁹ Évoquant le congrès de Turin (1840), Favre note « j'entendis encore discuter la question de l'âge du terrain anthracifère ; c'est ce qui avait lieu à cette époque dans toutes les rencontres où la géologie jouait un rôle » (FAVRE, 1857, III, p. 369).

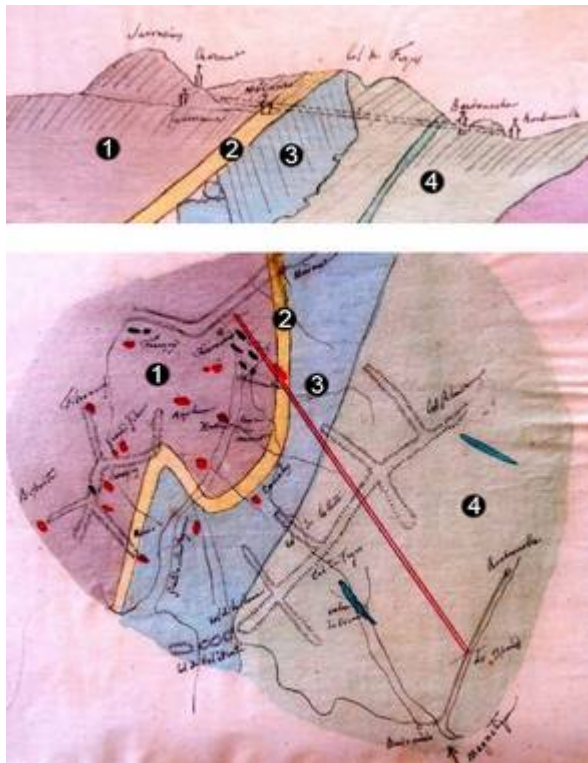
¹⁰ MORTILLET, 1858, p. 397-405.

¹¹ Ce rapport est conservé aujourd'hui aux archives départementales de la Haute-Savoie dans le fonds Despine-Garbillon sous la cote 11 J 797. Les liasses 11 J 634, 689 et 798 contiennent aussi des pièces faisant allusion à ce rapport.

¹² Dans un courrier du 8 octobre 1858, Lachat écrit : « Mon voyage à Fréjus m'a donné la conviction que les observations de la surface y étaient extrêmement faciles et qu'on pouvait faire une coupe géologique presque parfaite du tunnel » (ADHS, 11 J 689).

¹³ Ces prévisions s'avérèrent, en tout cas, bien meilleures que celle faites en 1850 par le général Hyacinthe Provana di Collegno (1794-1856), sollicité à ce sujet par l'Académie des sciences de Turin avant de décider l'exécution du tunnel. « Il doit être possible, et même probable, écrivait alors ce dernier à Élie de Beaumont, que le grand tunnel de 12 kilomètres rencontre, soit des masses de chaux sulfatée, soit des fentes-cheminées, ayant servi de passage aux gaz qui ont modifié les calcaires préexistants. Dans le premier cas, la chaux sulfatée sera-t-elle hydratée ou anhydre ? Si elle est hydratée, ne peut-elle pas avoir été dissoute en tout ou en partie par des eaux souterraines et avoir donné lieu à des réservoirs d'eau intérieurs ? » (COLLEGNO, 1850, p. 70). Élie de Beaumont répondit : « je crois très-fort à cette possibilité, de même qu'à celle de rencontrer des serpentines, des euphotites, des masses de quartzites très-durs, et peut-être un noyau central de gneiss feldspathique, très-dur lui aussi, analogue à celui du Mont-Cenis » (ÉLIE DE BEAUMONT, 1850, p.72). En fait, on ne rencontra ni la serpentine, ni l'euphotite, ni le noyau central de gneiss, non plus que les grandes masses d'eaux souterraines redoutées.

alors que Mortillet combattait la thèse du fond de bateau tandis que Lachat souscrivait à celle-ci¹⁴. Leurs deux travaux, dont ni l'un ni l'autre ne cherchaient à attribuer un âge aux différentes roches qui devaient être rencontrées, n'étaient donc pas de nature à faire avancer le débat. Le mémoire de Mortillet reçut d'ailleurs un avis élogieux de Sismonda (Fig. 11)¹⁵.



Fi-6g. 9. Coupe et carte géologique de la région avoisinant le tunnel, par Hyppolite Lachat (1858). 1 : schistes cristallins ; 2 : quartzites ; 3 : calcaire argileux à rognons de silex ; 4 : phyllades, calcschistes (traversés par un hypothétique filon de serpentine). Noter la curieuse façon dont Lachat a représenté, sur la coupe, le calcaire argileux à rognons de silex pour faire cadrer à tout prix le « désordre de stratification » qu'il a observé sur le terrain avec le schéma de la disposition générale des formations géologiques en fond de bateau (dont le tunnel était censé traverser le relèvement oriental), à laquelle Lachat adhérait (ADHS, 11 J 797).

Mémoire de MORTILLET	Rapport de LACHAT
1° Des grès micacés et talqueux	2 150 m de schistes à anthracite
2° Des quartzites	650 m de quartzite
3° Des masses gypseuses anhydres	1 850 m de calcaire à rognons de silex
4° Des calcaires grenus	7 850 m de calcschistes
5° Des schistes argileux et calcaires	
	TOTAL : 12 500 m

Fig. 10. Successions comparées des roches qui se trouvent entre Fourneaux et Bardonnèche, en partant de Fourneaux, d'après les deux études commandées avant l'ouverture du chantier du tunnel.

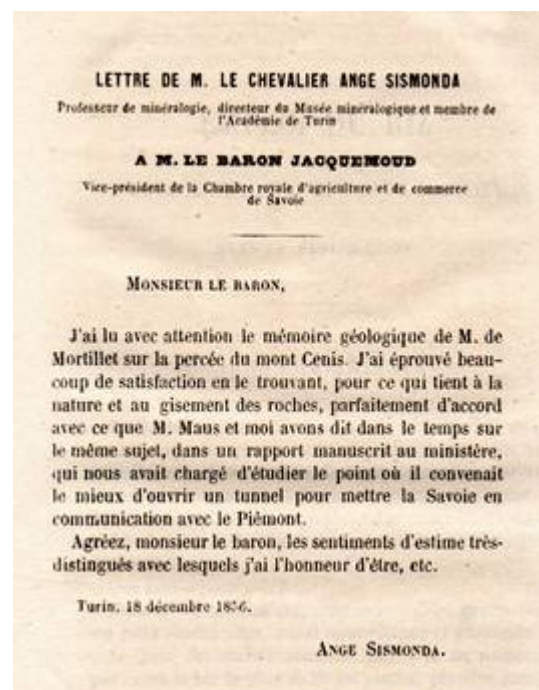


Fig. 11. Bien que ne partageant pas les vues de Gabriel de Mortillet sur la structure géologique des Alpes, Angelo Sismonda approuva son travail sur les terrains qui devaient être traversés par le tunnel, preuve que les recherches suscitées par creusement de cet ouvrage de génie civil se déroulèrent en marge de la controverse qui, à la même époque, divisait la communauté géologique (lettre publiée dans MORTILLET, 1858, p. 405).

¹⁴ Mortillet expliquait la présence d'anthracite par des « trouées » à la faveur desquelles le Houiller véritable réapparaissait. Lachat partageait les vues de Sismonda et d'Élie de Beaumont parce qu'il avait été l'élève du géologue belge André Dumont (1809-1857) qui, lui non plus, ne croyait pas à la valeur des fossiles en stratigraphie et ne se fiait qu'au « principe de direction » des couches.

¹⁵ Ce qui n'empêcha pas une passe d'armes collatérale entre Mortillet et Élie de Beaumont. « Il est à regretter, écrit le premier dans son mémoire, que M. Élie de Beaumont, qui n'est pas venu sur place étudier les points d'observation, et qui n'a pas même visité les lieux, n'ait pu baser ses appréciations que sur des données vagues et des aperçus généraux. Si le savant géologue eût pu parcourir la montagne depuis Fourneau jusqu'à Bardonnèche, un examen sérieux des phénomènes signalés lui eût fait reconnaître l'absence des serpentines, du noyau de gneiss feldspathique et des amas d'eau » (MORTILLET, 1858, p. 401-202). Ce à quoi l'éminent géologue répliqua : « puisque M. de Mortillet veut bien exprimer le regret, très-fondé assurément, que je ne connaisse pas assez bien les montagnes de la Maurienne, je lui témoignerai de mon côté le désir qu'il les visite de nouveau pour examiner attentivement, avant le percement du tunnel, si rien d'essentiel ne lui a échappé touchant l'ordre de superposition des couches qui les constituent » (ÉLIE DE BEAUMONT, 1859, p. 1143).

2.5. La découverte de nouveaux faits de terrain relance la discussion

À partir de 1859, (deux ans après le début du percement du tunnel), trois faits de terrain nouveaux vinrent coup sur coup rebattre les cartes. Ce fut d'abord l'identification du Trias dans les Alpes par Joseph Fournet (1801-1869), confirmée par Alphonse Favre. Ce fut ensuite la découverte d'un gisement de nummulites à Montricher (entre Saint-Jean et Saint-Michel-de-Maurienne) par Louis Pillet (1819-1895), aussitôt validée par Charles Lory (1823-1889), professeur de géologie à l'université de Grenoble. Ce fut enfin l'identification, dans le même secteur (au Pas-du-Roc), d'une couche à *Avicula contorta* (d'âge rhétien, donc antérieure au Lias) par l'abbé Pierre Vallet. Désormais, il devenait difficile d'admettre la présence dans une même formation de fossiles houillers, triasiques, liasiques et tertiaires.

En 1860, Charles Lory publia une note dans laquelle, tout en conservant le schéma général du fond de bateau, il expliquait la position des gisements de fossiles trouvés entre Saint-Jean et Saint-Michel-de-Maurienne par des plissements et des renversements des couches constituant cette partie du relèvement occidental (Fig. 12). Il donnait également une coupe du relèvement oriental passant par le tracé du tunnel et présentant, elle aussi, des replis (Fig. 13). À ce propos, il notait : « *les travaux ultérieurs de la percée pourront seuls nous apprendre si le repli des couches descend à une grande profondeur et si, comme je le présume, le tracé du tunnel se trouve tout entier en dessous du pli des calcaires L et probablement même au-dessous des gypses et des cargneules G. Il ne serait même pas impossible que [...] le tracé ne rencontrât que peu ou pas de quartzites Q.* »¹⁶

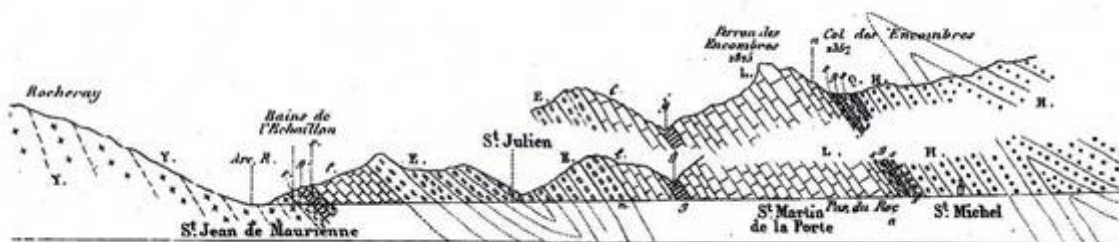


Fig. 12. Coupe des Alpes françaises entre Saint-Jean et Saint-Michel-de-Maurienne, par Charles Lory (1860). Loin de former une série régulière monoclinale d'âge exclusivement jurassique, comme le pensaient Sismonda et Élie de Beaumont, les couches sont renversées et repliées, conduisant ainsi le Houiller H à reposer sur le Lias L des Encombres, et ce dernier à surmonter l'Éocène E renfermant des nummulites n. Ainsi, il n'y a pas d'anomalie aux lois de la distribution des fossiles dans les terrains sédimentaires et la thèse du terrain anthracifère n'apparaît pas fondée (*Bull. Soc. géol. Fr.*, (2), 18, pl. I, Fig. 1, extrait).

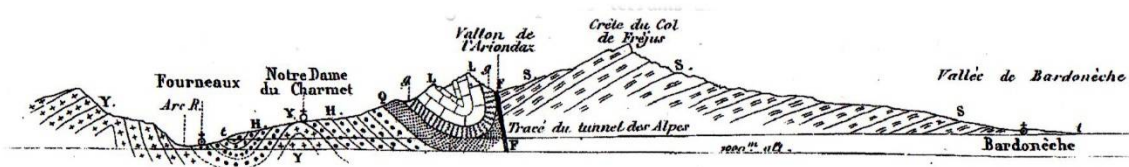


Fig. 13. Coupe des terrains du tunnel des Alpes, par Charles Lory (1860). La disposition générale des couches n'est pas davantage monoclinale qu'entre Saint-Jean et Saint-Michel-de-Maurienne. Les schistes calcaro-talqueux de Bardonnèche S butent sur une faille FF' bordant un relèvement des couches de calcaire L (que Lory assimile au Lias des Encombres) et de l'assise sous-jacente de gypse et de cargneules (comparer avec la façon très personnelle dont Lachat a représenté cette même structure « désordonnée » sur la coupe de la Fig. 9) (*Bull. Soc. géol. Fr.*, (2), 18, pl. I, Fig. 2, extrait).

¹⁶ LORY, 1860, p. 42.

La même année, Alphonse Favre faisait paraître à son tour une note sur le même sujet. La coupe de la Maurienne qu'il propose est assez proche de celle de Lory pour la partie située entre Saint-Jean et Saint-Michel, mais le géologue genevois pense que la disposition stratigraphique des grès anthracifères entre Saint-Michel et

Modane a été mal interprétée jusqu'ici. Pour lui, elle présente une structure, non pas en fond de bateau, mais en éventail car il a remarqué qu'à Orelle, là où devraient se trouver les couches horizontales formant le bas de la courbure de la structure en fond de bateau, les couches sont voisines de la verticale (Fig. 14).

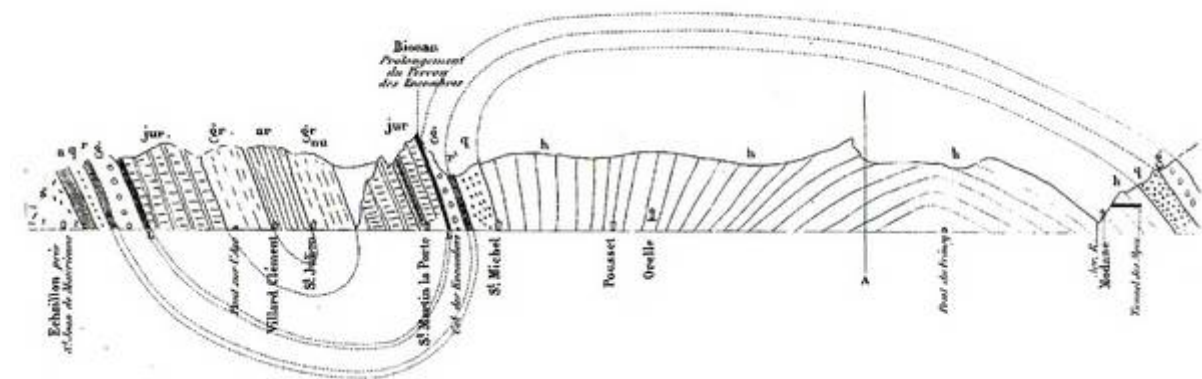


Fig. 14. Coupe géologique d'une partie des montagnes formant le versant nord de la Maurienne, par Alphonse Favre (1860). La partie ouest du terrain houiller présente une structure en éventail bordée par un bassin replié sur lui-même dont les couches situées au voisinage des grès anthracifères sont renversées. La galerie du tunnel des Alpes, alors longue de quelques centaines de mètres seulement, est représentée tout à fait à droite. (*Bull. Soc. géol. Fr.*, (2), 18, pl. II, Fig. 1).

Ces derniers travaux, qui attiraient à nouveau l'attention sur la question encore non résolue du terrain anthracifère, engagèrent la Société géologique de France à tenir sa session extraordinaire pour 1861 à Saint-Jean-de-Maurienne.

3. La Société géologique de France est invitée à venir trancher sur place

Le 1^{er} septembre 1861, une soixantaine de géologues se retrouvaient à Saint-Jean-de-Maurienne pour découvrir la géologie des nouveaux territoires annexés à la France, valider les dernières découvertes faites dans la région et profiter de l'occasion pour visiter le chantier du tunnel. Il est à remarquer que ni Élie de Beaumont, ni Sismonda, ni aucun des partisans du terrain anthracifère n'avaient fait le déplacement.

3.1. L'exploration des sites fossilifères nouvellement découverts

Les courses organisées durant cette session furent dirigées par Pillet, Lory et Vallet. Au programme figuraient notamment la reconnaissance

des terrains qui affleurent entre Saint-Jean et Saint-Michel-de-Maurienne, avec la visite des carrières de Montricher, où Pillet avait découvert les nummulites, et l'examen des gisements d'*Avicula contorta* qui avaient tout récemment permis à Vallet d'identifier l'Infra-Lias. Il était aussi prévu d'étudier les grès anthracifères entre Saint-Michel et Modane afin de déterminer s'ils forment un fond de bateau ou s'ils sont disposés en éventail.¹⁷

À l'issue de ces excursions, qui eurent lieu les 3 et 4 septembre, la Société reconnut la réalité des renversements et des replis et admit la présence de l'Infra-Lias dans les Alpes. En conséquence, elle considéra que la discussion sur l'âge des grès à anthracite était désormais close, mais elle ne réussit pas à décider si ces derniers présentent la structure en forme de fond de bateau ou la structure en éventail car, comme l'écrira plus tard Favre, « les deux dispositions se confondent lorsque la partie supérieure des couches a été emportée, et qu'on ne peut connaître la forme des couches qui sont situées au-dessous de la surface du sol' »¹⁸ (Fig. 11).

¹⁷ MORTILLET, 1861a et 1861b.

¹⁸ FAVRE, 1867, III, p. 253 ;

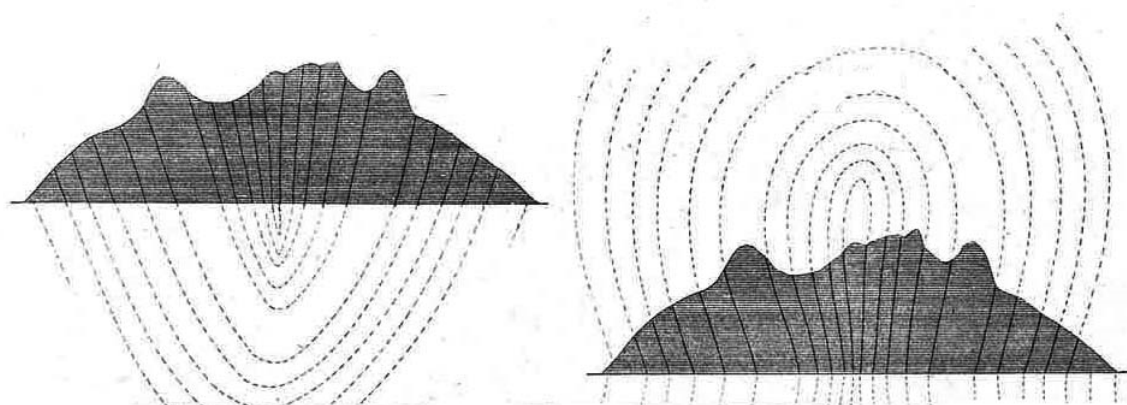


Fig. 15. Deux interprétations alternatives de la structure des Alpes occidentales. À gauche, disposition générale des couches *en fond de bateau*. À droite, disposition des mêmes couches *en éventail*. Dans la première hypothèse, les terrains traversés par le tunnel (localisé dans la moitié droite du schéma) sont de plus en plus anciens en partant de l'W ; dans la seconde hypothèse, ils sont au contraire de plus en plus récents (d'après FAVRE, 1867, *Atlas*, pl. XXV, Fig. 5).

3.2. La visite collatérale du chantier du tunnel

Après avoir discuté les faits observés entre Saint-Jean et Saint-Michel de Maurienne, la Société géologique rendit visite, le 5 septembre, aux ateliers et aux travaux du tunnel des Alpes. Là, nous dit le compte rendu rédigé à cette occasion,

« Elle a reçu le plus gracieux accueil de MM. les ingénieurs Coppello et Ripa di Meana, qui ont eu l'obligeance de montrer et d'expliquer eux-mêmes tous les détails des gigantesques machines à comprimer l'air, que l'on est en train de monter, et le jeu des perforateurs, à l'aide desquels la Société a vu percer rapidement et régulièrement les trous de mines dans les grès quartzeux (dits quartzites) les plus durs des environs de Modane.

La Société a visité ensuite le tunnel, dont l'entrée est au-dessus du village de Fourneaux, à une altitude de 1202 mètres, 150 mètres environ au-dessus de l'Arc. Ce grand travail a été poussé jusqu'ici, par des procédés ordinaires de perforation des roches, à la distance d'environ 700 mètres. Le coteau dans lequel il est ouvert est formé encore de grès houillers [...] ; ces grès sont très bouleversés et ont des directions et des inclinaisons très variables. Dans le tunnel, leur direction moyenne paraît être vers

le nord un peu est, avec une inclinaison vers l'ouest qui serait, en moyenne, d'environ 25 degrés. »¹⁹



Fig. 16. Les compresseurs destinés à alimenter en air comprimé les perforatrices mises au point par Sommeiller, Grandis et Grattoni (*L'illustration*, février 1862). Ces énormes installations étaient en cours de montage lorsque les membres de la Société géologique de France visitèrent des ateliers situés aux Fourneaux, le 5 septembre 1861.

Dans la journée du vendredi 6 septembre, la Société géologique franchit la crête des Alpes au col de la Roue, pour aller de Modane à Bardonnèche en passant à peu près à l'aplomb du tracé du tunnel.

¹⁹ LORY, 1861, p 734-735.

« A Bardonnèche, la Société a reçu l'accueil le plus cordial de la part de M. l'ingénieur en chef Sommeiller [sic] et des ingénieurs qui dirigent, sous ses ordres, les travaux du percement. Le fonctionnement des appareils compresseurs et perforateurs, en pleine activité de ce côté des Alpes, a excité au plus haut degré l'étonnement et l'admiration de la réunion. Après avoir mis la plus grande obligeance à faire visiter les ateliers et les machines, M. l'ingénieur en chef Sommeiller a bien voulu encore offrir à la Société une gracieuse hospitalité, en improvisant une salle de séance dans un des ateliers et en mettant à la disposition de MM. Les membres quarante lits dans les bâtiments de la gare. »²⁰

À huit heures du soir, la Société tint séance dans le local spécialement aménagés à cet effet, en présence de Germain Sommeiller et de plusieurs autres ingénieurs. La parole fut alors donnée à Charles Lory qui, après avoir rendu compte des observations faites dans la journée, concluait à la présence de deux systèmes de couches plongeant, l'un vers le nord-est (ce sont les schistes calcaréo-talqueux formant la totalité du versant de Bardonnèche), l'autre vers le sud-est (ce sont les couches de grès houillers de Fourneaux et celles des quartzites rencontrées au-dessus) ; les deux systèmes devant buter l'un contre l'autre en formant une gouttière avec faille, comme Lory l'indiquait déjà sur la coupe qu'il avait donnée un an plus tôt (Fig. 13) ; ainsi, il y a tout lieu de penser que le tunnel rencontrera la faille en question entre 2 000 et 2 500 m à partir de son entrée nord. Et Lory d'exprimer alors ses craintes :

« Dans cette ligne de faille pourront se rencontrer des roches très bouleversées, très brisées, peut-être très perméables ; et la disposition des terrains en gouttière de part et d'autre pourrait y faire réunir des infiltrations d'eau d'un volume assez considérable. »

Ce qui ne l'empêcha pas de terminer sur une note optimiste :

« Ces difficultés possibles, sinon probables, me paraissent être les chances les plus défavorables que l'étude géologique du pays indique à l'achèvement du magnifique travail que nous venons d'admirer. Il y a tout lieu d'espérer qu'elles ne seront pas plus insurmontables que les autres obstacles dont le talent des ingénieurs a déjà assuré l'aplanissement »²¹.

4. La lumière viendra-t-elle finalement du tunnel ?

4.1. La discussion n'est toujours pas close

Dans le discours de clôture de la réunion de Saint-Jean-de-Maurienne, Bernhard Studer, qui présidait la session, avait déclaré :

« Au point de vue de la science générale, les observations de la Société ont prouvé [...] la parfaite concordance de la paléontologie avec la stratigraphie, une fois qu'on est parvenu à débrouiller toutes les complications que peut présenter celle-ci. »²²

On aurait donc pu penser que le débat sur l'âge des anthracites des Alpes occidentales était définitivement terminé. Or il n'en fut rien. Pour preuve, en 1863, Hippolyte Lachat rédigeait une *Note sur les terrains qui avoisinent le tunnel des Alpes* dans laquelle il reprenait et développait la description qu'il avait déjà donnée dans son rapport de 1858, avant de préciser pour finir :

« Quant à l'âge des terrains traversés, il y a de grandes divergences entre l'école stratigraphique et l'école paléontologique. Suivant la première, les calschistes appartiennent au lias, les calcaires massifs à l'oolite inférieure [= Bajocien] ; les quartzites et le terrain d'anthracite représenteraient les grès, argiles schisteuses et houilles du groupe jurassique du Yorkshire. Suivant la deuxième il faudrait admettre une stratification en éventail pour le terrain à anthracite, et par suite, à droite et à gauche d'Orelle, un renversement des couches et l'existence de deux bassins repliés sur eux-mêmes et appuyés, l'un sur la première ligne des massifs éruptifs ci-dessus, l'autre sur la deuxième. Cela posé, les régions métamorphiques d'anthracite représenteraient le terrain

²⁰ *Ibid.*, p. 756.

²¹ *Ibid.*, p. 762-763.

²² *Ibid.*, p. 822.

primitif ; le terrain à anthracite serait le terrain houiller dont il porte les empreintes végétales ; les quartzites seraient le grès bigarré ; enfin les calcaires massifs tantôt appartiendraient au trias, tantôt (sous le nom de calcaires du Briançonnais) seraient supérieurs au trias. Ce n'est pas ici le lieu de discuter ce dernier système. »²³

De fait, un an auparavant, Sismonda avait fait paraître sa *Carte géologique de la Savoie, du*

Piémont et de la Ligurie (Fig. 17) dans laquelle la Maurienne est cartographiée exactement de la même manière que sur la carte géologique de la France publiée quelque vingt ans plus tôt d'après les levés d'Élie de Beaumont, avec toutefois une différence notable : Sismonda a figuré une étroite bande d'Éocène au milieu de son terrain anthracifère pour tenir compte de la présence des nummulites, qu'il ne contestait pas, contrairement à son maître et mentor qui, lui, avait choisi de s'emurer dans le déni²⁴.

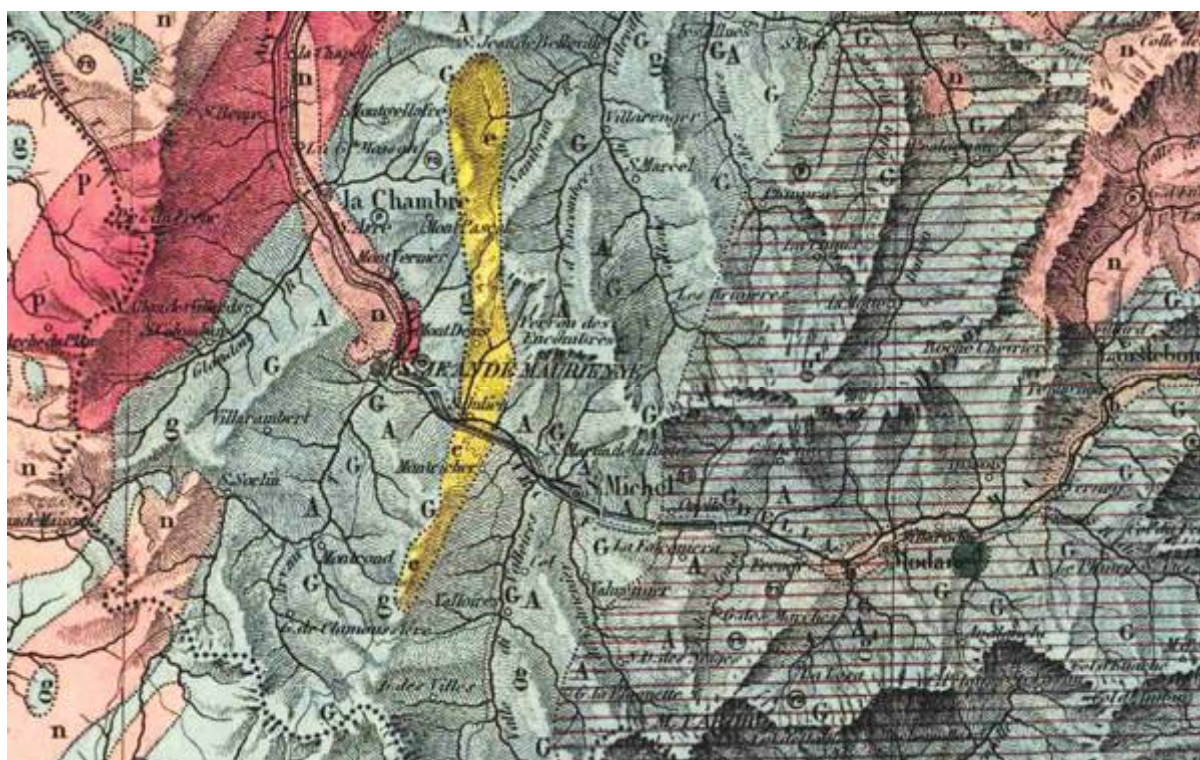


Fig. 17. Extrait de la carte géologique de la Savoie, du Piémont et de la Ligurie publiée par Sismonda en 1862. Si l'auteur a bien figuré une bande jaune de terrain éocène (pour tenir compte de la découverte des nummulites de Montricher), tout le reste de la Haute-Maurienne est toujours cartographié en terrain anthracifère jurassique (bleu), métamorphisé dans sa partie orientale (secteur hachuré).

Le 14 mai 1862, Élie de Beaumont écrit à son confrère piémontais pour accuser réception de sa carte et lui réclamer une note sur cet « *important travail qui sera justement admiré par tous ceux qui en comprendront l'étendue et la difficulté* »²⁵ afin qu'elle soit insérée dans les *Comptes rendus de*

l'Académie des sciences. Il saisit l'occasion pour repartir au combat en manœuvrant adroitement son ami :

« *Il faudra que la lumière se fasse sur tout ce qui a été dit depuis quelque temps touchant les*

²³ LACHAT, 1863, p. 46-47. Cette note est insérée dans un *Rapport sur le percement du grand tunnel des Alpes* publié par l'ingénieur en chef Conte dans les *Annales des Ponts et Chaussées*

²⁴ Dans une note infrapaginale accompagnant la publication d'une lettre que lui avait adressée Sismonda le 8 juillet 1861, Élie de Beaumont écrit : « *Lorsque ces fossiles m'ont été présentés pendant le cours de la séance du 23 janvier 1861, je les ai rendus en disant : ce ne sont pas des Nummulites. Après avoir examiné les échantillons que M. Ange Sismonda m'a envoyés avec son obligeance et sa bonté ordinaires, je persiste dans mon opinion* » (*C. R. Acad. Sc.*, 1861, 53, p. 117-118).

²⁵ ROCCATI, 1922, p. 86.

terrains dont les Alpes sont composées et, ainsi que je vous l'ai écrit plusieurs fois, mon désir est que le fiat-lux vienne de vous, car s'il en était autrement vos concurrents en tireraient parti lorsqu'il s'agira de votre élection comme correspondant. »²⁶

En 1864, Charles Lory propose d'expliquer l'anomalie stratigraphique de Petit-Cœur – observée naguère par Élie de Beaumont et point de départ de toute l'affaire (voir *supra*) – par un jeu de failles ayant conduit à l'imbrication des couches liasiques et houillères²⁷. En 1866, dans un *Essai sur la structure de la chaîne des Alpes entre le Mont-Blanc et le Mont Viso*, le même auteur reproduit, avec quelques modifications, la coupe de Saint-Jean à Saint-Michel qu'il avait déjà donnée

en 1860 et 1661 (Fig. 18A). Sismonda réagit l'année suivante en publiant de *Nouvelles observations terrains anthracifères* assorties d'une coupe du même secteur de la Maurienne, reprenant trait pour trait les profils topographiques de Lory, mais en remplaçant les couches repliées et renversées dessinées par ce dernier par une succession de strates uniformément monoclinales (Fig. 18B). De façon plus significative encore, le géologue piémontais complète son travail par une coupe géologique du tunnel sur laquelle sont figurées les mêmes couches que sur la précédente coupe, mais inclinées en sens inverse, indiquant clairement que le tunnel est creusé dans le relèvement oriental d'un dispositif en fond de bateau ne présentant par plus de déformations dans ce secteur que dans son relèvement occidental (Fig. 19).

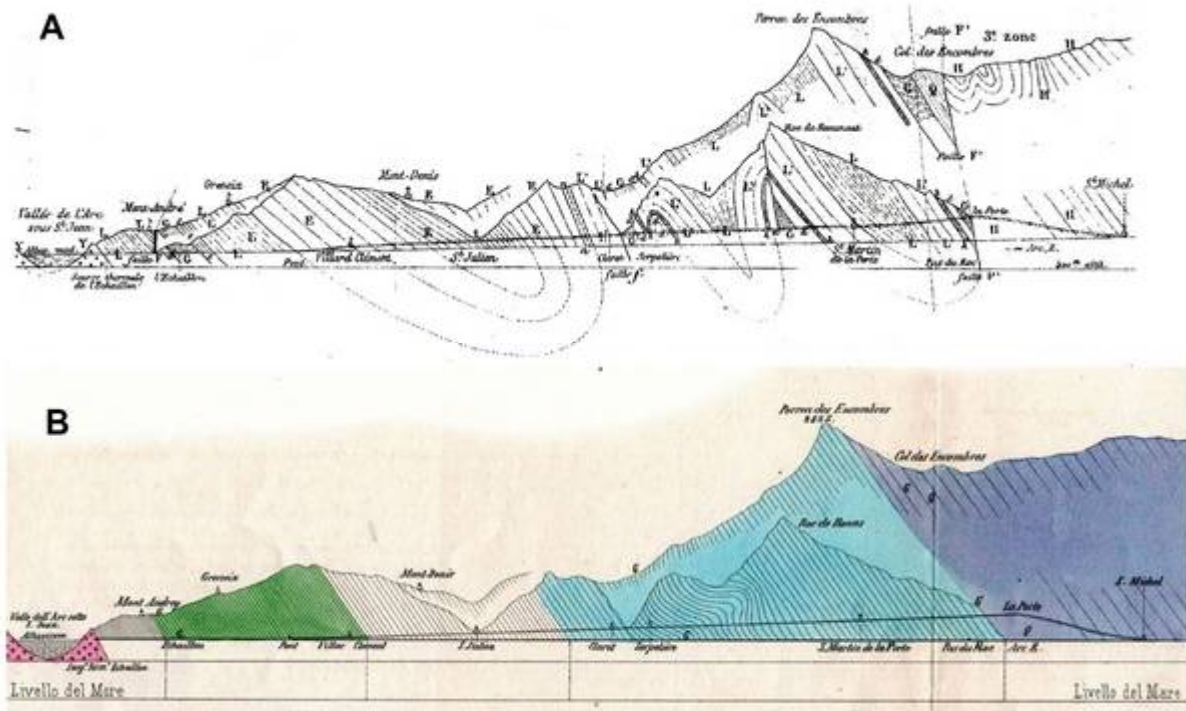


Fig. 18. Deux interprétations alternatives de la structure géologique de la rive droite de l'Arc entre Saint-Jean et Saint-Michel-de-Maurienne.

A. Coupe publiée en 1866 par Charles Lory, reprenant (avec quelques corrections) les replis et renversements déjà figurés en 1860 (voir Fig. 12) et validés lors de la réunion de la Société géologique de France à Saint-Jean-de-Maurienne, en 1861

B. Coupe publiée en 1867 par Angelo Sismonda à partir des mêmes profils topographiques. Tout comme Élie de Beaumont, le géologue piémontais s'obstina à ne voir dans les régions intra-alpines qu'une série continue sans la moindre déformation tectonique (c'est à peine si quelques ondulations sont esquissées). Dans cette optique, les terrains colorés en mauve sont rapportés à l'Oxfordien, les terrains bleus à l'Oolithe inférieure (Bajocien) et les terrains verts au Lias. Les terrains laissés en blanc correspondent au Nummulitique, enchâssé dans la série sans la moindre discordance.

²⁶ *Ibid.*, p. 87.

²⁷ Lory avait déjà proposé une explication de l'anomalie de Petit-Cœur par des processus tectoniques en 1859.

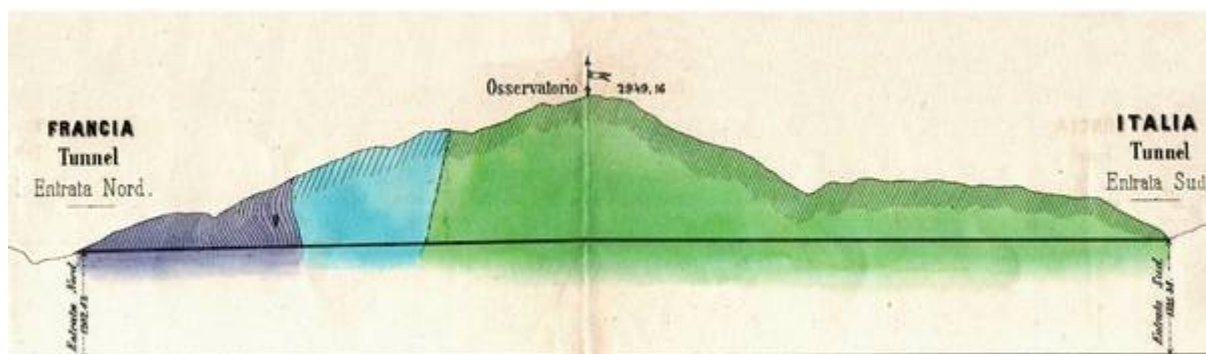


Fig. 19. Coupe géologique des Fourneaux à Bardonnèche, passant à l'aplomb du tunnel, par Angelo Sismonda (1867). On retrouve la même série de terrains que sur la coupe de la Fig. 18B (à l'exception du Nummulitique), mais affectés ici d'un pendage orienté en sens inverse, se succédant d'W en E dans l'ordre inverse (mauve-bleu-vert) et toujours sans aucun accident tectonique (comparer avec la coupe de la Fig. 13).

4.2. Le tunnel s'invite dans le débat

La coupe du tunnel jointe au dernier mémoire de Sismonda provoqua un déclic chez Élie de Beaumont qui réalisa que, grâce à cet ouvrage de génie civil, il devenait possible de vérifier, d'une part que les couches traversées présentent toutes le même pendage, d'autre part que les roches rencontrées le long de la galerie ne se retrouvent jamais deux fois (ou plus) et, partant, de prouver de façon irréfutable qu'il n'y a ni renversement, ni repli des terrains dans le relèvement oriental du fond de bateau. Et si aucun de ces dérangements n'existe dans ce secteur, il en est de même pour le relèvement occidental, qui lui est symétrique. Le tunnel devenait ainsi aux yeux d'Élie de Beaumont un instrument grâce auquel il allait pouvoir réduire définitivement au silence tous ceux qui contestaient l'interprétation structurale des Alpes qu'il défendait avec Sismonda et à laquelle les deux géologues continuaient de s'accrocher envers et contre tout.

Le 7 octobre 1867, Élie de Beaumont écrit à Sismonda pour le remercier de l'envoi de « l'intéressante coupe du tunnel » et pour lui demander une faveur :

« J'aurais souhaité que parmi les directeurs des travaux il se fut trouvé quelqu'un en état de faire couche par couche, avec des échantillons numérotés à l'appui, une coupe des quartzites, des anhydrites et des calcaires traversés depuis l'entrée du Tunnel du côté de Modane²⁸.

C'aurait été un document précieux pour la science ; mais je ne dis pas cela du point de vue des argumentations de Mr. Lory, car depuis que Mr. Lory a écrit sur Petit-Cœur, je crois qu'il est impossible à un géologue véritable de le prendre au sérieux. »²⁹

Manifestement, Élie de Beaumont cherche ici à réfuter l'interprétation de Lory selon laquelle les terrains situés sur le tracé du tunnel du côté de Modane forment une gouttière bordée par une faille (voir Fig. 13), non sans dire au passage tout le mal qu'il pense de l'explication de l'anomalie de Petit-Cœur proposée par le professeur de Grenoble, qui a osé remettre en cause celle qu'il avait avancée trente ans auparavant.

Deux ans plus tard, le 20 septembre 1869, ce sont des échantillons de la totalité des roches traversées à cette date par le tunnel dont le secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences a besoin pour confondre ses adversaires :

« Je vous remercie à l'avance de vouloir bien me réserver une petite collection des roches que traverse le Tunnel. Elle me sera doublement précieuse comme envoyé de vous, mon cher Mr. Sismonda, et comme représentant la grande collection que vous allez compléter et qui sera, j'en suis convaincu, l'une des pièces de conviction principales pour la classification des roches calcaires et anthracifères des Alpes. [...] Je crois comme vous que

²⁸ Élie de Beaumont était obligé de passer par Sismonda car, ainsi qu'on l'a vu, le gouvernement sarde avait gardé la maîtrise de la totalité du chantier du tunnel, même après l'Annexion, de sorte que le géologue français, tout secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences qu'il était, n'avait pas barre sur les ingénieurs sardes qui dirigeaient le chantier du tunnel.

²⁹ ROCCATI, 1922, p. 89.

les couches traversées par le Tunnel n'offrent aucun repli [...]. Je crois comme vous qu'il y a une grande symétrie dans la disposition des couches alpines de part et d'autre du fond de bateau qui passe entre St. Michel et Modane, mais vous savez que certains géologues voyent [sic] à la place de ce fond de bateau du terrain houiller soulevé et renversé en éventail des deux côtés !!!... ce qui mérite bien quelques points d'admiration. »³⁰

Dans un premier temps, Sismonda fit parvenir à son confrère le catalogue des différentes roches traversées dans les parties déjà exécutées du tunnel sur une longueur totale de 10 199 m, en promettant pour plus tard une collection d'échantillons. C'est ce qui ressort d'un courrier d'Élie de Beaumont daté du 8 novembre :

« Je ne saurais assez vous remercier d'avoir bien voulu me réserver une collection de ces roches. Elle sera précieusement déposée à l'École des Mines, comme constituant un des plus précieux documents qu'on possède sur la constitution géologique des Alpes occidentales.

Je pense comme vous que la variété remarquable de ces roches dont aucun groupe ne se répète établit clairement et d'une manière péremptoire que la grande épaisseur des couches traversées par le Tunnel ne provient pas de plis et de contournements de groupes de couches plus minces, mais qu'elles forment une série unique et continue dont l'extrémité nord (Modane) correspond au terrain Anthracifère d'Aime, tandis que l'extrémité sud (Bardonnèche) se rapproche des roches des environs de Petit-Cœur. »³¹

Dans les derniers jours de décembre, Élie de Beaumont recevait deux caisses d'échantillons avec leurs étiquettes. Le 18 janvier suivant, il annonçait à Sismonda son intention de présenter la collection à l'Académie des sciences et de la porter ensuite à l'École des mines « où elle sera mise en évidence de manière à ce que tout le monde puisse l'étudier »³². Il indiquait également à son correspondant qu'il souhaitait faire imprimer dans les *Comptes rendus* de l'Académie le catalogue qu'il lui avait envoyé et « qui est le procès-verbal le plus authentique possible de la composition de la chaîne que traverse le tunnel »³³ en l'accompagnant d'une courte note explicative. Mais pour cela, il avait besoin de connaître l'orientation du tunnel et celle des couches par rapport au méridien astronomique, ainsi que l'inclinaison des couches par rapport à l'horizon. Car il était conscient que « le tunnel qui traverse les couches obliquement donne une mesure exagérée de leur épaisseur et, comme on est toujours porté à s'effrayer de cette grande épaisseur, je voudrais pouvoir dire à quoi elle se réduirait si le tunnel était perpendiculaire aux couches »³⁴.

La note fut lue au cours de la séance du 4 juillet 1870 et « bien que dépassant en étendue les limites réglementaires », elle fut insérée dans le tome 71 des *Comptes rendus*. On y trouve la description minutieuse de 129 échantillons sur les 134 prévus par le catalogue, les 7 numéros laissés en blanc (nos 61 à 75) correspondant aux parties du tunnel traversées depuis le mois de septembre et à celles qui restaient encore à percer. Un tableau récapitulatif des terrains et des roches rencontrés depuis l'entrée de Modane, dressé par Sismonda, clôture la longue série de descriptions des échantillons (Fig. 20)³⁵.

³⁰ ROCCATI, 1922, p. 91-93.

³¹ *Ibid.*, p. 94.

³² *Ibid.*, p. 95.

³³ *Ibid.*

³⁴ *Ibid.*, p. 96. L'épaisseur considérable du terrain anthracifère tel que le concevaient Élie de Beaumont et Sismonda était un des arguments qui avait conduit leurs adversaires à douter fortement de son existence. Tout ce qui pouvait contribuer à la minimiser était donc à mettre en avant.

³⁵ Comme on peut s'y attendre de la part d'un ancien élève de l'École polytechnique, la note débute par cinq pages de considérations pointilleuses sur l'orientation de la galerie du tunnel, les variations de pente de celle-ci (les deux tronçons se situant dans le même plan vertical, mais étant percés en montant faiblement, de façon à ce qu'elles se rencontrent à coup sûr et aussi pour permettre l'évacuation des eaux d'infiltrations), et le pendage des couches traversées. L'ensemble de ces données aboutit à une équation mathématique ainsi formulée :

α étant l'angle formé par la direction des couches et celle du tunnel, i étant l'inclinaison des couches par rapport à l'horizon, et l'épaisseur d'une couche mesurée par la ligne du tunnel et E l'épaisseur normale de cette même couche, on a :

$$E = e \cdot \sin \alpha \cdot \sin i.$$

En appliquant cette formule à l'épaisseur totale des couches traversées par le tunnel, on obtient à l'issue des calculs :

$$E = 7\,066,04 \text{ m.}$$

Cette épaisseur, conclut Élie de Beaumont, est inférieure de 5 154 m à la longueur totale du tunnel, qui est de 12 220 m, et un peu supérieure aux 4/10^e de celle-ci, qui seraient de 4 888 m.

DURÉE DE LA PERCÉE DE CHAQUE ROCHE.	TERRAINS.	ROCHES RENCONTRÉES.	DISTANCE de chaque roche de l'entrée du tunnel.	ÉPAISSEUR propre de chaque roche.	ÉPAISSEUR des terrains.
Du 5 décembre 1857 au 25 avril 1858...	Éboulement.....	Sable, terre, blocs, cailloux, etc..	mètres 0,00 à 128,00	mètres 128,00	mètres 128,00
Du 25 avril 1858 au 15 juin 1865...	Terrain anthracifère supérieur; le même que celui d'Aime en Tarentaise.....	Schiste (ardoise), grès, conglomérats quartzeux, psammites, calcaire schisteux, etc.....	128,00 à 2095,35 (nos 1 à 24 du Catalogue)	1967,35	2318,75
Du 15 juin 1865 au 7 mars 1867...		Quartzite.....	2095,35 à 2476,75 (nos 25 à 41)	381,40	
Du 7 mars 1867 au 4 juin 1867...		Anhydrite.....	2476,75 à 2696,90 (nos 42 à 49)	220,15	
Du 4 juin 1867 au 21 juin 1867...		Calcaire cristallin.....	2696,90 à 2730,90 (nos 50 à 54)	34,00	
Du 21 juin 1867 au 12 juillet 1867...		Schiste talqueux.....	2730,90 à 2780,30 (nos 55 et 56)	49,40	
Du 12 juillet 1867 au 23 juillet 1867...	Grandemasse calcaire; la même que celle de Villette en Tarentaise.....	Calcaire cristallin.....	2780,30 à 2802,02 (no 57)	21,72	858,65
Du 23 juillet 1867 au 3 août 1867...		Anhydrite.....	2802,02 à 2831,75	29,73	
Du 3 août 1867 au 13 août 1867...		Calcaire schisteux.....	2831,75 à 2852,95 (nos 58 et 59)	21,20	
Du 13 août 1867 au 20 août 1867...		Anhydrite.....	2852,95 à 2867,15 (no 60)	14,20	
Du 20 août 1867 au 24 mars 1868...		Calcaire schisteux.....	2867,15 à 3264,00	396,85	
Du 24 mars 1868 au 25 avril 1868...		Anhydrite.....	3264,00 à 3334,80	70,80	
Du 25 avril 1868.....	Terrain de calcaire schisteux inférieur; le même que celui de Naves en Tarentaise.....	Calcaire schisteux.....	3334,80; il continue probablement jusqu'à l'entrée méridionale près de Bardonnèche. (nos 61 à 134)	8885,20

Fig. 20. Tableau résumant les notes prises par les ingénieurs Copello et Borella, chargés de la direction des travaux du tunnel et qui ont relevé avec précision l'épaisseur suivant laquelle chacune des roches a été traversée, en partant de l'entrée située du côté de Modane. Ce tableau a été établi par Sismonda qui, sans surprise, range les couches traversées par le tunnel dans les trois mêmes grands ensembles que ceux qui sont figurés sur la coupe de la Fig. 19 (terrain anthracifère supérieur, grande masse calcaire et terrain de calcaire schisteux). En outre, on note que, conformément à la conception de la structure générale des Alpes qu'il partageait avec Élie de Beaumont, Sismonda établit les équivalences de ces terrains avec ceux qui affleurent symétriquement en Tarentaise, de l'autre côté du fond de bateau (C. R. Ac. Sc., 71, p. 22). En rangeant à part les quartzites formant la partie inférieure du terrain anthracifère supérieur, et en partageant le terrain calcaire schisteux en assises supérieure, moyenne et inférieure, Sismonda répartissait *in fine* les terrains traversés par le tunnel en six zones (lesquelles, mis à part l'âge qu'il leur attribuait, correspondaient peu ou prou à celles qu'avaient définies Mortillet et Lachat) : 1° la zone *anthraciteuse*, 2° la zone *des quartzites*, 3° la zone *calcaire-gypseuse*, 4° la zone *supérieure des calcaires schisteux*, 5° la zone *moyenne des calcaires schisteux*; 6° enfin, la zone *inférieure des calcaires schisteux*.

Après la jonction des deux galeries du tunnel à 5 139,75 m de l'entrée nord (le 25 décembre 1870), Sismonda expédia à Paris une dernière caisse contenant une collection complémentaire de 69 échantillons s'intercalant dans la lacune de la collection décrite en juillet 1870³⁶. Élie de Beaumont ne la reçut qu'à la fin du mois d'août 1871 à cause des « *tristes événements* » qui secouaient la France à cette époque. Aussitôt, l'Académicien rédigea une nouvelle note qu'il lut lors de la séance du 18 septembre 1871.

Dans cette seconde note (plus longue encore que la précédente !), après avoir donné le catalogue des échantillons recueillis depuis le mois d'août 1869 jusqu'à l'achèvement des travaux de forage, Élie de Beaumont développe un certain nombre de considérations « *tirées en partie des lettres et des communications verbales de M. Sismonda* »³⁷. Dans celles-ci, Il s'entête à ne voir dans la coupe du tunnel qu'une série stratigraphique continue sans repli ni faille : « *Il est évident, assure-t-il (p. 704), que toutes les roches tra-*

³⁶ Comme la précédente, cette collection fut recueillie « *avec la coopération de MM. les ingénieurs Copelli et Borelli et le concours bienveillant de M. Grattoni* ». Le nombre des échantillons, qui excédait de beaucoup celui qui avait été initialement prévu, conduisit Élie de Beaumont à ajouter à leurs numéros respectifs les désignations *bis, ter, IV, V, etc.* nécessitées par leur nombre supérieur.

³⁷ ÉLIE DE BEAUMONT, 1871, p. 698. Dans cette note (comme d'ailleurs dans la précédente), Élie de Beaumont met en avant Sismonda chaque fois qu'il le peut afin que le *fiat lux* dont il parle dans une lettre citée plus haut paraisse venir de ce dernier et soit ainsi plus facilement accepté par ses adversaires.

versées par le tunnel, malgré quelques accidents partiels et d'une importance secondaire, constituent un tout unique et appartiennent à une seule et même grande formation ». Plus loin (p. 706), il écrit encore : « Les couches de terrain, formées dans une position horizontale, ont été relevées de manière à prendre l'inclinaison de 50 degrés qu'elles présentent ; cela ne peut être contesté. Ce relèvement des couches a donné lieu à des frottements dont un grand nombre d'échantillons portent des traces évidentes, et à des contournements de couches partiels [...] ; mais on n'y a constaté aucun contournement en grand ». De plus, « les six zones dont le terrain se compose, malgré toutes les ressemblances que présentent leurs éléments, sont cependant assez distinctes l'une de l'autre pour qu'aucune d'elles ne puisse être considérée comme le prolongement replié de l'une des cinq autres ». D'ailleurs « Les brigades d'ouvriers employés pendant plusieurs années à enlever par fragments les roches qui occupaient la place du tunnel, après les avoir perforées par d'innombrables trous de mines, ont fait, avec l'étoffe dont chacune de leurs couches se compose, une connaissance beaucoup plus intime qu'aucun minéralogiste n'aura la patience de le faire ; et ils méritent d'être crus lorsqu'ils déclarent, ainsi qu'ils l'ont fait, qu'aucune ne s'est répétée et n'a été traversée deux fois » (p. 707).

Un problème se pose toutefois : celui de l'épaisseur totale de la série des couches traversées par le tunnel. Élie de Beaumont a refait ses calculs en s'appuyant cette fois sur les épaisseurs des terrains mesurées dans la galerie, et il aboutit (p. 707) au chiffre vertigineux de 7 000 m ! S'agissant d'une seule et même formation, cette valeur a de quoi effrayer. Le géologue s'en tire alors au moyen d'un argument plus spécieux que véritable (p. 707-708) : dans ces contrées, assure-t-il,

« la puissance des grands nombres est l'auxiliaire de la simplicité des procédés d'observation. Si de Saussure a eu raison de dire que la nature a travaillé en grand dans les Alpes, on pourrait ajouter qu'elle y a travaillé

sur une étoffe extrêmement épaisse, sur laquelle elle ne pouvait exercer des effets d'ensemble qu'en opérant sur une grande échelle, et avec laquelle elle n'a pu produire que des ouvrages à larges concours [sic], dans laquelle, quelle que puisse être la complication des détails secondaires, il y a toujours des lignes simples à saisir ».

La fin de ce passage est une attaque à peine voilée contre les replis et les renversements invoqués par Lory et par Favre. L'hypothèse du renversement des couches est à nouveau abordée par Élie de Beaumont dans sa conclusion finale où, après avoir rappelé que le calcaire schisteux de la Maurienne et de la Tarentaise appartient au Lias et que le terrain anthracifère lui est superposé, il ajoute (p. 711) :

*« Cette dernière conclusion ne pourrait être infirmée que par la supposition que les 7 000 mètres de couches traversées par le tunnel seraient toutes dans une situation renversée ; mais cette supposition ne paraît être vraie pour le tunnel sans l'être aussi pour toutes les autres parties de la Maurienne et de la Tarentaise, qui seraient alors des contrées où les couches sédimentaires ne se verraient jamais que dans une situation renversée : hypothèse paradoxale qui, je me hâte de le dire, n'a pas été articulée d'une manière complètement explicite, et qu'il serait prématuré, par conséquent, de réfuter dès à présent ».*³⁸

Aussitôt après la publication de cette seconde note, celle-ci fut réunie avec la précédente dans un tiré à part. Élie de Beaumont se réserva une partie des exemplaires pour les distribuer lui-même et engagea Sismonda « à distribuer les autres plutôt pendant que l'ouverture du Tunnel est encore un fait récent », ajoutant : « je verrais avec plaisir qu'il vous parût opportun d'en envoyer des exemplaires aux géologues de la Suisse et du Dauphiné, qui les recevraient de votre main plus sympathiquement que de la mienne »³⁹.

³⁸ Pour prouver l'absence de renversements, Élie de Beaumont avait cherché un critère de polarité irréfutable qu'il aurait pu appliquer aux couches traversées par le tunnel. Le seul fait de terrain qu'il avait pu trouver était constitué par les troncs pétrifiés dans une position perpendiculaire à la stratification que le chanoine Louis Rendu (1789-1859) avait décrits en 1837 dans les couches anthracifères des environs de Moûtiers et dont la face qui était en dessus au moment de leur dépôt est encore au-dessus (note B, p. 713). Mais cela était une conjecture jugée encore insuffisante pour « réfuter dès à présent » l'hypothèse des renversements.

³⁹ ROCCATI, 1922, p. 100.

En complément de cette opération de propagande, les deux notes furent reproduites, accompagnées de la traduction française du mémoire publié par Sismonda en 1867, dans le journal *Les Mondes* de l'abbé Moigno (Fig. 21), ce qui permit à Élie de Beaumont d'écrire à Sismonda :

« Ainsi dès à présent votre mémoire si digne d'être connu et médité peut être lu par les géologues français qui ne le connaissaient presque pas à cause du petit nombre de personnes qui en France peuvent lire un ouvrage en Italien. Je ne doute pas qu'il ne soit lu par tous les géologues Français et Anglais et que bientôt la vérité que vous démontrez si bien ne soit généralement connue »⁴⁰.

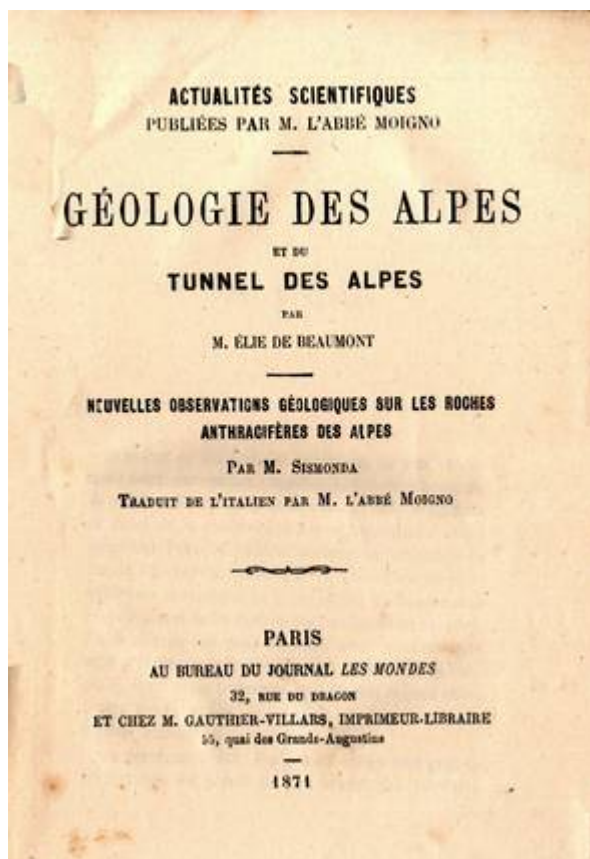


Fig. 21. Pour donner davantage de publicité à l'interprétation géologique de la coupe du tunnel qu'il défendait avec Sismonda, Élie de Beaumont fit paraître le texte des deux notes qu'il avait lues à l'Académie des sciences, ainsi que le mémoire de son confrère sur les terrains de la région, dans le journal *Les Mondes* de l'abbé Moigno (n°23 du 5 octobre 1871).

À la fin de cette même année 1871, dans une note sur le tunnel du mont Cenis, Bartolomeo Gastaldi (1818-1879) soutint que toutes les formations traversées par la galerie étaient d'âge paléozoïque. Il rangeait (en partant de Bardonnèche) les calcaires schisteux dans un groupe dit des roches vertes (en raison de la présence de serpentine), les calcaires, dolomites et quartzites dans le Cambrien et les schistes, grès et conglomérats dans le Silurien supérieur ou le Dévonien.

En réponse à cette note, Gabriel de Mortillet fit paraître l'année suivante une mise au point (Fig. 22) dans laquelle il contestait la thèse du professeur de Turin, qu'il jugeait tout aussi inadmissible que celle soutenue par Sismonda, et renvoyait les deux géologues dos à dos :

« Un fait curieux, c'est qu'à l'Académie de Turin ont apparu les deux théories les plus opposés, concernant les roches du tunnel de Fréjus. Pendant que le professeur Gastaldi voudrait vieillir outre mesure ces roches en les rejetant dans le prépaléozoïque, l'illustre professeur Angelo Sismonda, depuis longtemps, les rajeunit beaucoup trop en faisant remonter les grès talqueux anthracifères dans le jurassique supérieur. La vérité, comme je viens de l'exposer, se trouve entre les deux. »⁴¹

Mortillet saisissait l'occasion pour rappeler qu'en 1856, il avait rendu à la Chambre d'agriculture et de commerce de la Savoie un rapport sur la nature des terrains situés entre Modane et Bardonnèche (voir *supra*). « Depuis, écrit-il, j'ai eu la satisfaction de voir toutes mes prévisions réalisées bien que quelques-unes aient été émises en opposition avec celles de deux maîtres de la science, de Collegno et Elie de Beaumont »⁴². Et de conclure plus loin :

« Ainsi, grâce à une étude exacte des lieux et aux données de la science bien interprétées, j'ai pu, en 1855, avant le commencement des travaux, préciser d'une manière exacte la nature, la puissance et les conditions des roches que devait traverser le tunnel de Fréjus, sur

⁴⁰ *Ibid.*, p. 101.

⁴¹ MORTILLET, 1872, p. 19.

⁴² *Ibid.*, p. 17.

Une longueur de plus de 12 kilomètres, à une profondeur de 1,610 mètres !



Fig. 22. Couverture du tiré à part de la note rédigée par Gabriel de Mortillet en réponse à Gastaldi, qui rangeait les formations traversées par le tunnel dans le Paléozoïque, et pour rappeler par la même occasion que, dès 1855, il avait prédit avec exactitude la nature et la succession des terrains qui seraient rencontrés.

Cette conclusion ne fut pas du goût de Sismonda qui réagit aussitôt aux propos de Mortillet en réclamant pour lui et pour Élie de Beaumont la priorité des études faites sur les roches du tunnel. « *Par cette conclusion, écrit le géologue piémontais, M. de Mortillet pose comme un fait qu'il a prédit quelles roches devait traverser le tunnel projeté, dans quel ordre les roches se seraient présentées, quelle aurait été l'épaisseur de leurs couches, et dans quel gisement on les aurait rencontrées, etc., etc.* » Or à l'époque où Mortillet a présenté son travail à la Chambre d'agriculture et de

commerce de la Savoie, « nous possédions déjà, depuis plusieurs années, les Mémoires de M. Elie de Beaumont sur les Alpes de la Tarentaise et de la Maurienne, etc. » En outre, « Vers ces temps-là j'avais moi-même publié dans le Recueil de l'Académie royale des sciences de Turin (de 1838 à 1856) plusieurs Mémoires sur les Alpes de la Savoie et du Piémont où les faits que M. Gabriel de Mortillet, dans sa récente Géologie du tunnel de Fréjus (Annecy, 1872) sont présentés comme prévus par lui, sont, l'un après l'autre, nettement exposés ». Et pour preuve absolue de la priorité de ses travaux sur ceux de Mortillet, Sismonda reproduit la lettre qu'il avait adressé au baron Jacquemoud le 18 décembre 1856 (voir Fig. 11).

En somme, comme le résume fort bien François Ellenberger,

« Chacun voulut avoir raison a posteriori, pour son propre honneur ou pas esprit de corps. Personne ne comprit vraiment la signification de cette coupe (peu différente en profondeur de ce que l'on voit aisément en surface). Il s'agit encore maintenant d'une des structures majeures les plus énigmatiques des Alpes. »⁴³

Dans la dernière lettre qu'il adressa à Sismonda, le 6 septembre 1874, Élie de Beaumont chercha à calmer les inquiétudes de son ami à propos de l'ouvrage *Géologie de la France* qu'Amédée Burat (1809-1883) venait de faire paraître et dans lequel l'auteur, s'il reproduit fidèlement (Fig. 12, p. 167) la coupe du tunnel établie par Sismonda, donne par ailleurs (Fig. 14, p. 169) un profil géologique des montagnes situées en amont de Saint-Michel-de-Maurienne reprenant les replis proposés par Favre et Lory, ce qui revenait à nier l'existence du terrain anthracifère et à ranger les gisements d'anthracite de cette région des Alpes dans le Houiller. Mais il en fallait davantage pour troubler le secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, qui avait une explication toute trouvée : « [Amédée Burat] a je crois donné des conseils aux exploitants de la Mine de St. Michel en Maurienne et il aurait été embarrassant pour lui de ne pas en faire une mine de houille, car cela lui aurait fait perdre une partie notable de sa

⁴³ ELLENBERGER, 1958, p. 23.

valeur commerciale »⁴⁴. L'interprétation structurale des Alpes défendue par l'éminent géologue tient donc toujours, au point que celui-ci réaffirme avec une belle assurance : « *Je m'en tiens à ce sujet à ce que j'ai dit, de concert avec vous, à l'occasion du Tunnel du Fréjus. Il finira bien par se trouver quelqu'un qui étudiera à fond la structure de ces montagnes et qui ne pourra manquer de nous donner raison.* »⁴⁵

Elie de Beaumont devait décéder le 22 septembre (16 jours plus tard). Sismonda lui survivra jusqu'en 1878, sans que personne n'ait jamais envisagé de réhabiliter l'interprétation défendue avec tant d'obstination par les deux géologues. Et c'est ainsi que le combat cessa faute de combattants.

Épilogue

Que reste-t-il, un siècle et demi après, de l'aventure de la percée du premier grand tunnel de

montagne et des travaux géologiques qui l'accompagnèrent en arrière-plan ?

L'entrée monumentale édiflée du côté de Modane est aujourd'hui désaffectée ; elle a fait l'objet d'un classement et peut se visiter sous certaines conditions. Le musée d'Annecy possède dans ses collections une réplique à l'échelle 1/2 de la machine perforatrice mise au point par Germain Sommeiller, l'enfant du pays. Et si la suite d'échantillons de roches récoltées lors du percement du tunnel que cet établissement avait reçue en 1874 n'est plus exposée au public, non plus que celle déposée à l'École des mines de Paris, on peut toujours admirer celle que conserve précieusement le *Museo Regionale di Scienze Naturali* de Turin, avec des fiches de la main de Sismonda et une numérotation identique à celle qui fut publiée par Élie de Beaumont dans ses deux notes de 1870 et 1871 (Fig. 23).



Fig. 23. Échantillon de calcaire cristallin, gris, schisteux, à feuillets noirs, luisants, avec des veines de quartz hyalin et de calcaire spathique blanc, présentant des parties vertes d'apparence talqueuse, récolté à 10 340 m de Bardonnèche (= 10 888 m de Modane) et conservé dans les collections du Musée des sciences naturelles de Turin.

<http://www.mrsntorino.it/cms/il/museo/cms/il-museo/collezioni/mineralogia>

Quant au débat sur l'âge et la disposition en fond de bateau ou en éventail des terrains stratifiés des zones intra-alpines, il avait perdu de sa pertinence depuis que Charles Lory avait proposé un nouveau schéma de l'organisation des Alpes occidentales dans lequel il distinguait quatre grandes zones parallèles, séparées les unes des autres par de grandes failles d'origine ancienne délimitant, dès l'origine, des domaines sédimentaires différents. Et il n'aura plus aucune raison

d'être lorsque, dans le sillage de Marcel Bertrand, Hans Schardt et Maurice Lugeon établiront que les zones de Lory sont en réalité des unités charriées qui se chevauchent les unes les autres, de sorte que la série stratigraphique continue de 7 000 m d'épaisseur invoquée par Élie de Beaumont et Sismonda n'était qu'une illusion et que les renversements de grande ampleur que leur avaient opposés Favre et Lory n'avaient, de leur côté, jamais eu lieu.

⁴⁴ ROCCATI, 1922, p. 101. Ici, soit Élie de Beaumont est de mauvaise foi, soit il est aveuglé par le déni dans lequel il s'est emmuré, car il ne pouvait ignorer qu'en 1863, Amédée Burat avait écrit dans la *Revue universelle* : « *Autour du Mont-Blanc, le caractère carbonifère de ce terrain pourrait être encore discuté, mais il est évident en Maurienne, et il n'est plus douteux que la période houillère est largement représentée dans la région des Alpes par les dépôts si longtemps isolés sous la dénomination d'anthracifères* » (propos rapportés par FAVRE, 1867, III, p. 423).

⁴⁵ *Ibid.*

Bibliographie

Documents d'archives

Archives départementales de la Haute-Savoie
Sous-série 11 J (Fonds Garbillon-Despine)

- 11 J 634. Résumés des séances du Conseil des mines. Cahier n°12, séance du 9 janvier 1859.
- 11 J 689. Correspondances des ingénieurs en chef des circonscriptions minéralogiques ; district de la Savoie, lettres des ingénieurs Ferrero et Lachat, en résidence à Chambéry (1854-1858).
- 11 J 797. Mines et usines de Savoie : dossiers par provinces ; province de Maurienne (1646 [copie] – 1858).
- 11 J 798. Mines et usines de Savoie. Province de Maurienne.

Articles et ouvrages imprimés

BURAT, A. (1874). *Géologie de la France*. Librairie polytechnique J. Baudry, Paris, 588 p.

Carte géologique de la France exécutée sous la direction de Mr. BROCHANT DE VILLIERS, Inspecteur général des Mines, par MM. DUFRÉNOY et ÉLIE DE BEAUMONT, Ingénieurs des Mines (1841). Six feuilles à 1/500 000 et un tableau d'assemblage à 1/2 000 000.

COLLEGNO, H. PROVANA DI (1850). Lettera al S^r E. di Beaumont relativamente alle difficoltà che potrebbe presentare un tunnel tra Bardonnèche a Modane. *Mém. Accad. Sc. Torino*, (2), **12**, p. 70-71.

ÉLIE DE BEAUMONT, L. (1828). Notice sur un gisement de Végétaux fossiles et de Bélemnites, situé à Petit-Cœur près Moutiers, en Tarentaise. *Ann. Sci. nat.*, 14, 113-127.

ÉLIE DE BEAUMONT, L. (1829-1830). *Recherches sur quelques-unes des révolutions de la surface du globe, présentant différents exemples de coïncidence entre le redressement des couches de certains systèmes de montagnes et les changements soudains qui ont établi les lignes de démarcation qu'on observe entre certains étages consécutifs des terrains de sédiment*. Mémoire extrait des *Annales des Sciences naturelles*. Crochard, Paris. La première partie de ce mémoire a été lue par extrait à l'Académie des sciences le 22 juin 1828 et insérée en 1829 dans le tome 18 des *Annales des*

sciences naturelles, 5-25 et 285-416 ; la seconde partie a été lue par extrait à l'Académie des sciences le 22 juin 1828 et insérée en 1830 dans le tome 19 des *Annales des sciences naturelles*, 5-99 et 177-240. Le texte a été reproduit dans une nouvelle version dans de la Bèche, H.T. (1833), *Manuel géologique* (2^e édition), trad. Brochant de Villiers, A.J.M., 616-665.

ÉLIE DE BEAUMONT, L. (1852). Risposto al'a lettera del sign. Collegno relativamente alle difficoltà che potrebbe presentare un Tunnel tra Bardonnèche a Modane. *Mém. Accad. Sc. Torino*, (2), **12**, p. 71-72.

ÉLIE DE BEAUMONT, L. (1859). Sur la constitution du terrain que doit traverser le tunnel voisin du mont Cenis. Remarques faites à l'occasion d'un opuscule imprimé, publié par M. le professeur Gabriel de Mortillet. *C. R. Ac. Sc.*, **48**, p. 1138-1143.

ÉLIE DE BEAUMONT, L. (1870). Sur les roches qu'on a rencontrées dans le creusement du tunnel entre Modane et Bardonnèche. *C. R. Ac. Sc.*, **71**, p. 8-23.

ÉLIE DE BEAUMONT, L. (1871a). Seconde note sur les roches qu'on a rencontrées dans le creusement du tunnel des Alpes, entre Modane et Bardonnèche. *C. R. Ac. Sc.*, **73**, p. 689-715.

ÉLIE DE BEAUMONT, L. (1871b). Géologie des Alpes et du tunnel des Alpes. *Actualités scientifiques publiées par M. l'abbé Moigno*, p. 1-70.

ELLENBERGER, F. (1958). Étude géologique du pays de Vanoise. *Mémoires pour servir à l'explication de la Carte géologique de la France*, 561 p., 42 pl. et dépliants.

FAVRE, A. (1860). Note sur le terrain houiller et sur le terrain nummulitique de la Maurienne. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (2), **18**, p. 47-53, Pl. II.

FAVRE, A. (1861). Notice sur la réunion extraordinaire de la Société géologique de France à Saint-Jean-de-Maurienne, (Savoie), le 1^{er} septembre 1861. *Arch. Sc. phys. nat. Gen.*, (nouvelle période), **12**, p. ; 154-193, pl. II.

FAVRE, A., (1867). *Recherches géologiques dans les parties de la Savoie, du Piémont et de la Suisse voisines du Mont-Blanc*. Masson, Paris et Genève, 3 vol. de 464, 437 et 587 p. ; atlas de 32 pl. in-f^o.

GASTALDI, B. (1872). Brevi cenni intorno ai terreni attraversati della galleria delle Alpi Cozie. *Bull. Com. geol. Ital.*, 2, **2**, p. 193-207

- GAUDRY, A. (1855). Résumé des travaux qui ont été entrepris sur les terrains anthracifères des Alpes de la France et de la Savoie. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (2), **12**, p. 580-631 et 636-642.
- GRANDCHAMP, P. (2013). Théodore-Hippolyte Lachat (1829-1901) et la géologie de la Maurienne. *Trav. Comité fr. Hist. Géol.*, (3), **27**, p. 135-162.
- LACHAT, H. (1863). Note sur les terrains qui avoisinent le tunnel des Alpes. *Ann. P. Ch.*, **4**, 1^{er} semestre 1863, p. 42-47, avec carte et coupe géologiques.
- LORY, C. (1859). Note sur l'anomalie stratigraphique de Petit-Cœur en Tarentaise. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (2), **16**, p. 825-828.
- LORY, C. (1860). Note sur la constitution stratigraphique de la Haut-Maurienne. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (2), **18**, p. 34-47, Pl. I et Nouveaux détails sur un gisement de nummulites en Maurienne et considérations sur l'usage des caractères stratigraphiques dans les Alpes. *Ibid.*, p. 481-488 et 870.
- LORY, C. (1861). Procès-verbaux de la réunion extraordinaire de la Société géologique de France à Saint-Jean-de-Maurienne (Savoie), du 1^{er} au 10 septembre 1861, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (2), **18**, p. 693-826, pl. XV et XV bis.
- LORY, C. (1864). Essai d'une nouvelle explication de l'anomalie stratigraphique de Petit-Cœur, en Tarentaise ; *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (2), **22**, p. 48-59.
- LORY, C. (1866). Essai sur la structure géologique de la partie des Alpes comprise entre le Mont-Blanc et le Mont Viso. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (2), **23**, p. 482-497, pl. X.
- MORTILLET, G. de, (1858). Géologie et Minéralogie de la Savoie. *Annales de la chambre royale d'agriculture et de commerce de Savoie*, **4**, 481 p., 4 pl. (contient p. 397 à 405 une annexe intitulée *Études géologiques sur la percée du mont Cenis* rédigée le 12 décembre 1856).
- MORTILLET, G. de (1861a). Notes géologiques sur la Savoie : IV. Réunion des sociétés savantes. Carte géologique. *Revue savoisienne*, 2^e année, n°7, 15 juillet 1861, p.57-58.
- MORTILLET, G. de (1861b). Notes géologiques sur la Savoie : V. Questions soumises à la Société géologique de France. *Revue savoisienne*, 2^e année, n°8, 15 août 1861, p. 62-66.
- MORTILLET, G. de (1872). Géologie du tunnel de Fréjus ou percée du Mont-Cenis. *Revue savoisienne*, n°3, 20 mars 1872, p. 17-19 ; et *Bull. Soc. géol. Fr.*, (2), **29**, p. 11-16.
- RENDU, L. (1837). Lettre de M. le chanoine Rendu à M. De Luc, naturaliste de Genève, sur quelques points de géologie. *Mém. Soc. royale acad. Sav.*, **8**, p. 149-158, 1 pl.
- RÉVIL, J. (1893). Histoire de la géologie des Alpes de Savoie (1779-1891). *Mém. Acad. Sav.*, (4), **4**, p. 211-335.
- ROCCATI, A. (1922). *In ricordo di Angelo Sismonda. Raccolta di lettere a lui dirette da Giacinto di Collegno, Paolo Savi, Charles Lyell, Bernhard Studer, Léonce Élie de Beaumont e J. Fournet*. Fratelli Bocca, Torino, 117 p.
- SISMONDA, A. (1841). Memoria sui Terreni stratificati delle Alpi. *Mem. Acad. Sc. Torino*, (2), **3**, p. 1-52, 1 pl. avec 6 coupes.
- SISMONDA, A. (1852). Classificazione dei terreni stratificati delle Alpi tra il monte Bianco e la Contea di Nizzo. *Mem. Acad. Sc. Torino*, **2**, t. XVII.
- SISMONDA, A. (1861). Observations faites dans une excursion récente en Maurienne (Lettre à M. Élie de Beaumont). *C. R. Ac. Sc.*, **53**, p. 113-119. Remarques de M. Élie de Beaumont, *ibid.*, p. 117-119 (en notes).
- SISMONDA, A. (1862). *Carta geologica della Savoia, del Piemonte e della Liguria*. Torino.
- SISMONDA, A. (1867). Nuove osservazioni geologiche sulle roccie anthracifere delle Alpi. *Mem. real. Accad. Sc. Torino*, **24**, p. 333-356, 2 pl. Une traduction française de cette note a été publiée en 1871 par l'abbé MOIGNO dans le journal *Les Mondes*, p. 71-112.
- SISMONDA, A. (1872). Observations à l'article de M. G. de Mortillet, publié dans la *Revue savoisienne*, sous le titre de « Géologie du tunnel de Fréjus ». *Atti real. Accad. Sc. Torino*, **7**, p. 748-757.
- VALLET, abbé P. (1860). Note sur l'Infra-Lias et le Trias de la Haute-Savoie. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (2), **18**, p. 708-803.

