

Les recherches géologiques au front de la nappe du Grand-Saint-Bernard dans le Valais central (Suisse), du XVIe au milieu du XXe siècle

Autor(en): **Savary, Bernard-Philippe**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **74 (1978-1979)**

Heft 355

PDF erstellt am: **10.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-277417>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

BULLETIN N° 235 des Laboratoires de Géologie, Minéralogie, Géophysique
et du Musée géologique de l'Université de Lausanne

Les recherches géologiques au front de la nappe du Grand-Saint-Bernard dans le Valais central (Suisse), du XVI^e au milieu du XX^e siècle (6 Fig.)

PAR

BERNARD-PHILIPPE SAVARY*

Résumé. – Les premières découvertes de mines de charbon datent du XVI^e siècle. Suivent les descriptions des scientifiques voyageurs tel DE SAUSSURE, à la fin du XVIII^e siècle. Entre 1836 et 1851 STUDER domine la géologie de la Suisse et publie la première carte géologique générale des Alpes. En 1853 et 1867 STUDER et ESCHER publient les deux premières éditions de la carte géologique détaillée de la Suisse; cependant, les Alpes au Sud du Rhône y font figure de parents pauvres. De 1850 à 1871, GERLACH, véritable pionnier de la géologie du Pennique, cartographie plus de 9000 km² et découvre les grandes unités. LORY divise les Alpes françaises et suisses en 4 zones longitudinales. Dès 1902, ARGAND, LUGEON et SCHARDT font du Pennique une région classique de la tectonique des nappes. ARGAND bâtit sa théorie des nappes embryonnaires (1911, 1912, 1916). De la synthèse à l'échelle alpine, on passe aux études détaillées en restant longtemps dans le cadre décrit par ARGAND. La carte d'HERMANN (1937) résume les connaissances de l'époque.

Abstract. – The period from the 16th to the beginning of the 19th century is characterized by the first discoveries of coal mines and by scientific travel descriptions, mainly by DE SAUSSURE. Between 1836 and 1851 STUDER dominates the geology of Switzerland and publishes the first general geologic map of the Alps. STUDER and ESCHER (1853, 1867) publish the two first editions of a detailed geological map of Switzerland. The Alps South of the Rhône valley are however poorly represented on this map. Between 1850 and 1871 GERLACH covers more than 9000 km² during a geological mapping of the pennine Alps, where he discovers the main units. LORY divides the french and swiss Alps into 4 longitudinal zones. From 1902, ARGAND, LUGEON and SCHARDT make of the pennine Alps a classical region of alpine nappetectonics. ARGAND (1911, 1912, 1916) builds his general theory on the evolution of the nappes. From general large-scale reviews one starts now more detailed geological investigations, but still mainly within the framework of ARGAND's theories. The HERMANN's geological map summarises the knowledges in 1937.

* Institut de géologie, Palais de Rumine, 1005 Lausanne (Switzerland).

INTRODUCTION

Dans cet article, divisé en six chapitres régis par l'ordre chronologique des découvertes, nous ne ferons référence qu'à des publications importantes traitant du front de la nappe du Grand-Saint-Bernard au Valais central. Cependant, nous mentionnerons quelques synthèses englobant tout ou partie de la chaîne alpine lorsque lesdites synthèses modifient profondément les théories antérieures.

1. LES OBSERVATIONS DU XVI^e AU DÉBUT DU XIX^e SIÈCLE

Les premières observations relatives au Pennique du Valais central datent du XVI^e siècle déjà. En effet, on trouve, sous la plume de STUMPF (1548), mention de découvertes de charbon en plusieurs endroits du Valais peu avant 1540. STUMPF précise que *ce charbon brûle fort bien et qu'il n'est point besoin d'y ajouter du bois pour le faire brûler*. STUMPF n'indique pas le lieu de ces découvertes mais on l'apprend par MÜNSTER (1550), qui reprend quasiment mot pour mot les propos de STUMPF, mais ajoute que le charbon se trouve à Bramois.

En 1718, SCHEUCHZER parle du gisement de Bramois en précisant que le charbon extrait est utilisé pour cuire la chaux.

A Genève, en 1781, paraît la *Description des Alpes Pennines et Rhétiennes dédiée à Sa Majesté Très Chrétienne Louis XVI*, de MARC THÉODORE BOURRIT, chantre de l'Eglise Cathédrale de Genève. On y trouve, au chapitre XVI, «De la Vallée d'Hérens, d'une belle perspective du Valais, et des crétins de ce pays»:

Cette vallée renferme beaucoup de marnes qui se décomposent par les pluies et la fonte des neiges; alors l'eau de la Borgne se blanchit, et l'on emploie ses eaux marneuses avec beaucoup de succès pour fertiliser un terrain considérable nommé Champ-Sec. On ne retrouve presque point de plaines qu'à l'extrémité des deux branches de la Vallée: celle d'Evolenz...

(...) On a découvert dans cette vallée des mines de plomb: certains indices font qu'on en soupçonne d'autres, mais qui ne sont pas encore découvertes, ou qui ne le sont que par des particuliers qui se gardent bien de le dire...

Puis, au chapitre XXVII: «Des matières qui composent les montagnes et de leur formation»:

En parcourant les grandes Alpes, on observe bientôt qu'elles sont en général composées de trois substances; des calcaires, des schisteuses et des graniteuses. Les calcaires composent les parties les plus basses des Alpes, viennent ensuite les schisteuses, puis les graniteuses qui sont les plus élevées.

BOURRIT appelle *Montagnes primitives* celles formées de granit qu'il considère comme les plus vieilles. Admettant le système de BUFFON, il considère que la terre, globe enflammé, a donné, par refroidissement, des granits. Quant aux *Montagnes secondaires* (calcaires et schisteuses), elles se sont formées sous les eaux. A la séparation des matières solides et volatiles, la chute des eaux de l'atmosphère a laissé des traces de bouleversement dont les grandes montagnes portent les marques.

Il faut convenir que ces phénomènes étaient plus que suffisants pour produire les grands affaissements et les bouleversements qu'on remarque dans les Alpes.

BOURRIT, comme DE SAUSSURE quelques années plus tard, compare les Alpes de la Vallée du Rhône à la Cordillère des Andes aux environs de Quito.

Dans sa description des environs de Sion, le comte GRÉGOIRE DE RAZOUMOWSKY (1784) admet que les plus hautes montagnes du Valais ont été couvertes par la mer et le relief actuel modelé par l'action des courants sous-marins.

Poursuivant sa route de Sion à Sierre, il affirme:

Il est à observer que tout le roc des montagnes du Vallais depuis Sion, est toujours la roche quartzreuse feuilletée et micacée.

HORACE-BÉNÉDICT DE SAUSSURE dans *Voyages dans les Alpes* (1796) nous livre les premières observations relatives à la position des couches:

Le Vallais offre un des plus beaux exemples des vallées longitudinales que présentent nos Alpes; il a même un des caractères essentiels des vallées de ce genre, c'est que les montagnes qui le bordent ont les plans de leurs couches parallèles à la direction de la vallée. Je n'ai vu qu'une ou deux exceptions locales, produites sans doute par des causes accidentelles: par exemple, des monticules de schistes calcaires tendres que l'on rencontre auprès du Pont de la Morge et de la Ville de Sion. On peut dire qu'en général, de Martigny à la source du Rhône, les couches marchent parallèlement à la vallée. Ces mêmes couches sont verticales en quelques endroits; mais en général leur pente descend au Sud, tant sur la rive droite que sur la rive gauche du Rhône.

Autre observation capitale, DE SAUSSURE nous dit que, le plongement des couches excepté, il n'y a pas d'autres similitudes entre les montagnes du Sud et du Nord du Rhône, réfutant, ainsi, les hypothèses de RAZOUMOWSKY. Il s'oppose encore à RAZOUMOWSKY en affirmant que le relief de la vallée du Rhône et des vallées latérales n'est pas l'œuvre de la mer, mais qu'il a été tout au plus remodelé par l'action des torrents et des rivières.

EBEL (1810) signale la présence d'une couche de charbon de 1-2 pieds de puissance au lieu-dit Chandoline près de Sion.

LARDY (1818) signale les gypses de la rive gauche du Rhône aux environs d'Isérables, à Nendaz et Vex, puis à l'est de Tourbillon et Saint-Léonard.

2. STUDER ET LA PREMIÈRE CARTOGRAPHIE GÉOLOGIQUE DU FRONT PENNIQUE

A la séance du 16 mai 1836, de la Société géologique de France, STUDER présente son *Essai sur la géologie des Alpes suisses occidentales*, résumé excellent des idées avancées jusqu'à ce jour pour expliquer la genèse des Alpes. STUDER ayant travaillé dans une région limitée par Vevey-Thoune-Lauterbrunnen-Gampel et la vallée du Rhône, y voit 5 masses de montagnes, soit le Wildhorn – le Niesen – les vallées de la Simme et de la Sarine – le Stockhorn – la Berra.

La masse de montagnes du Wildhorn est composée de calcaires et de schistes calcaires (...) elle se prolonge encore assez en avant sur la rive méridionale du Rhône.

STUDER ne met donc pas de limite géologique entre les rives nord et sud du Rhône. Il ne se fait cependant pas trop d'illusions sur les qualités de son modèle puisque dans la même communication il affirme:

Aussi longtemps que nous ne serons pas en état de diviser la prodigieuse masse des terrains de sédiments des Alpes en groupes naturels, par la connaissance, non seulement des roches, mais encore des fossiles, aussi longtemps que ces terrains ne seront pour la science que ce qu'ils sont aux yeux du vulgaire, un mélange confus de masses schisteuses, gréseuses et calcaires... nous ne pourrons nous vanter de posséder l'histoire naturelle des Alpes.

En été 1841, STUDER et ESCHER retrouvent quelques amis naturalistes, en compagnie desquels ils se proposent d'étudier la géologie locale. La neige tombant, ils durent se réfugier à l'intérieur de l'hospice du Grimsel pendant quelques jours. Dans une telle situation, la coutume voulait que chacun parle de ses recherches. C'est ce que fit STUDER, dont l'exposé fut heureusement publié par DESOR (1842). STUDER, comme il le fit en 1836 déjà, réfute les théories de ses prédécesseurs, à savoir que les Alpes sont constituées d'une chaîne centrale et de chaînes secondaires parallèles.

Les Alpes sont divisées par *groupes* formant autant de masses centrales distinctes, qui courent pour la plupart dans une même direction, mais qui souvent aussi se maintiennent, les unes à l'égard des autres, dans une direction oblique, ou bien sont disposées comme des cases d'un échiquier autour d'un axe idéal...

Il propose donc un nouveau modèle de 6 massifs principaux (Mont-Blanc, Aiguilles-Rouges, Dent Blanche, Mont-Rose, Saint-Gothard, Finsteraarhorn).

Sur les murs de l'hospice du Grimsel, STUDER dessinera la coupe (fig. 1) pour les besoins de son exposé.

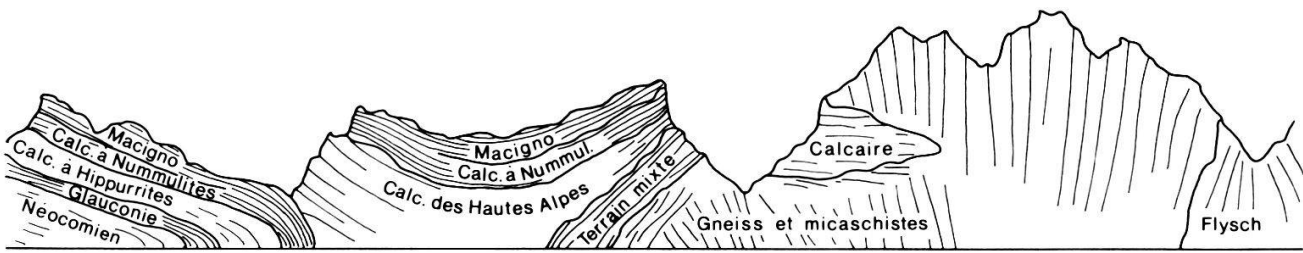


Figure 1. – Coupe idéale du système Alpin par B. STUDER, 1842.

En 1851, paraît à Berne et à Zurich le remarquable *Geologie der Schweiz* de STUDER, dans lequel, parmi d'abondantes descriptions des Alpes, de la France à l'Autriche, on ne trouve que quelques propos sur la partie la plus méridionale du val d'Hérens, STUDER ayant passé au Grand-Saint-Bernard, puis par les sommets à Arolla et au val d'Anniviers; il signale cependant, entre Hérens et Anniviers, la présence de quartzites talqueux; il souligne aussi que les gypses qu'il a vus dans la région du Petit-Saint-Bernard et en Tarentaise sont associés aux schistes, fait qu'il observera aussi aux environs de la Furka et de Bedretto; il en fera donc une extrapolation pour le Valais central, ce qui n'est pas évident sur sa carte (1851) (fig. 2)¹.

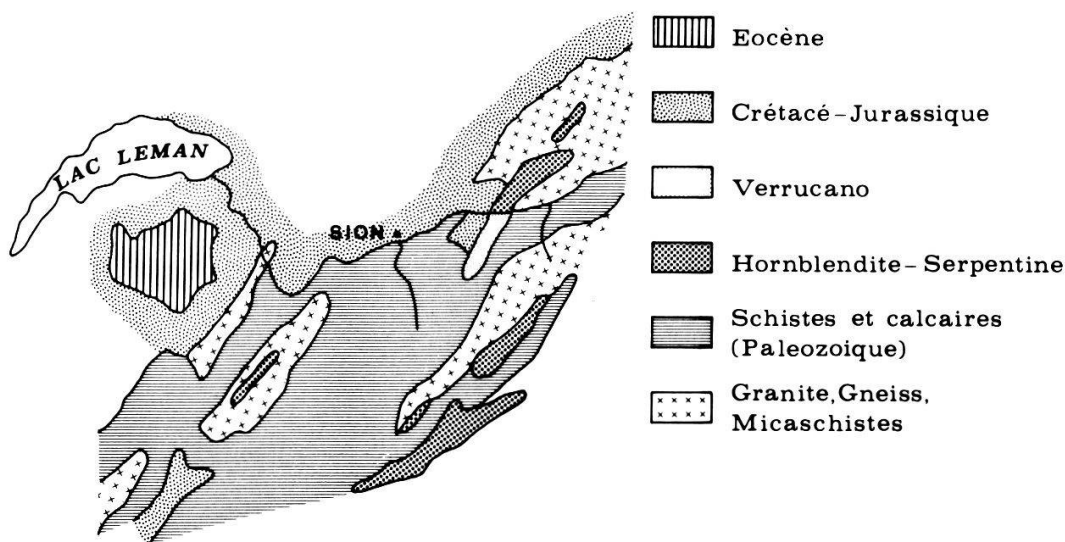


Figure 2. – Carte redessinée d'après *Geologische Übersichtskarte des Alpensystemes und seiner Seitengebirge* de B. STUDER, 1851.

¹C'est la première carte générale des Alpes et il faudra attendre 1877 pour voir une autre tentative de synthèse qui sera faite par NEUMAYR.

3. UNE ÉTAPE IMPORTANTE: LA PREMIÈRE CARTE GÉOLOGIQUE DE LA SUISSE

Du 17 au 19 août 1852, la Société helvétique des Sciences naturelles se réunit à Sion. Le chanoine RION, président, dans son discours d'ouverture, consacré en partie à la géologie du Valais, illustre fort bien le désarroi des savants devant ces roches de la rive gauche du Rhône auxquelles on ne peut donner d'âge puisqu'elles ne contiennent pas de fossiles.

(...) Un quartzite qui passe au gneiss d'un côté et de l'autre à un grès; plus loin c'est un calcaire parsemé de feuillets brillants convertis sur certains points en gypse, transformé en d'autres endroits en dolomie.

RION s'inspire ici fortement des œuvres de STUDER.

1853 est une date importante pour l'histoire de la géologie helvétique. C'est, en effet, cette année-là que paraît la première carte géologique de la Suisse de STUDER et ESCHER (fig. 3). On y voit, dans la zone qui nous intéresse, plusieurs affleurements de gypses, tels ceux de Nax et Vex par exemple, qui ne figuraient pas sur la carte de STUDER (1851). En revanche, les calcaires affleurant aux mêmes endroits n'avaient pas encore été observés.

A la séance du 17 décembre 1855 de la Société géologique de France, E. DE BEAUMONT lit le mémoire de STUDER (1856) qui signale 3 zones anthra-

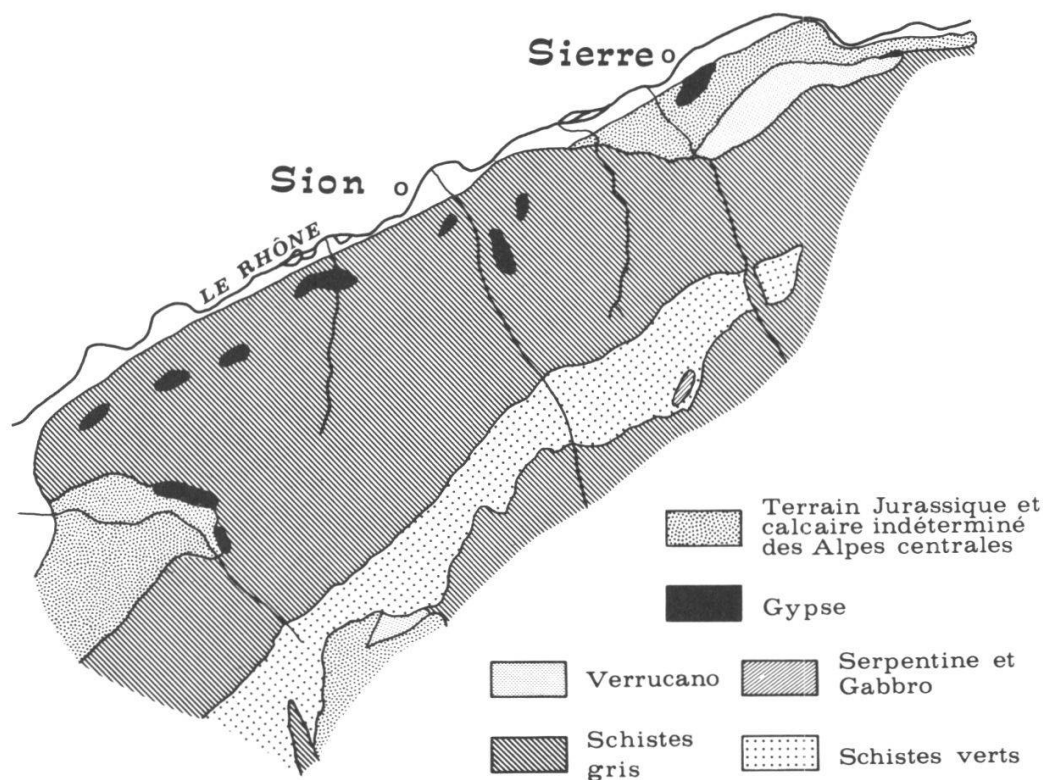


Figure 3. – Extrait de la carte géologique de la Suisse par B. STUDER et A. ESCHER VON DER LINTH, 1^{re} éd., 1853.

cifères, dont la plus méridionale, des environs de Courmayeur et de la vallée d'Aosta supérieure entre dans le Valais par le col de Ferret et le Grand-Saint-Bernard. On trouve des mines ou des affleurements d'antracite sur la rive gauche du Rhône, depuis Martigny jusqu'au débouché de la vallée d'Anniviers, vis-à-vis de Sierre.

Cette zone anthracifère était donc incluse dans les *schistes gris* de sa carte de 1853 (fig. 3). On notera que sur cette même carte il signalait les *terrains à anthracite* pour la région de Dorénaz mais n'y faisait pas allusion pour la rive gauche du Rhône près de Sion. Autre remarque intéressante dans cette même communication de 1855:

Dans les Alpes centrales, les conclusions basées sur la stratigraphie sont menacées, bien plus généralement encore, par la possibilité de confondre la stratification avec le clivage (...) Ce ne sera guère que dans les localités où il y a alternance de roches différentes que l'on pourra être certain de ne pas se tromper².

GIRARD (1861) remarque que l'on ne trouve les couches d'antracite qu'au bord de la vallée du Rhône et jamais à l'intérieur des vallées latérales au sud et au nord du Rhône. Il signale les gisements de Bramois, de la Chandoline, d'Aproz, de Nendaz et d'Isérables.

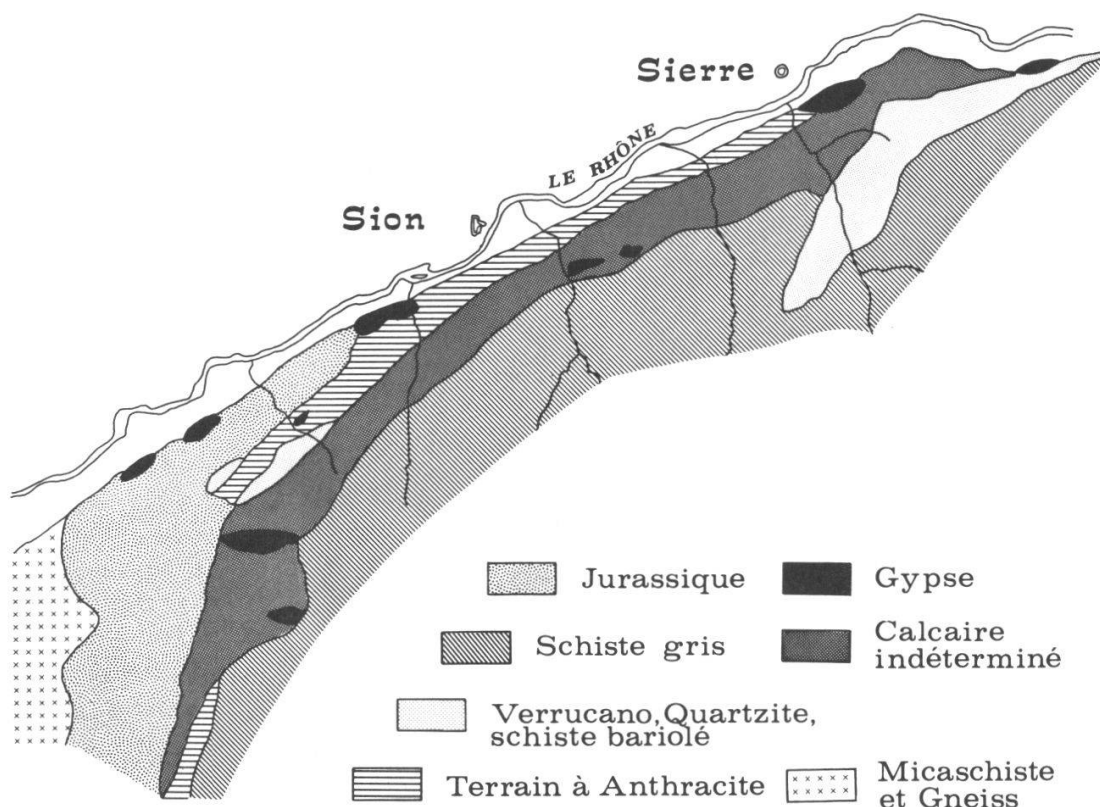


Figure 4. – Extrait de la *carte géologique de la Suisse* par B. STUDER et A. ESCHER VON DER LINTH, 2^e éd., 1867.

² SEDGWICK (1835) distinguait déjà le clivage de la stratification !

En août 1864 à Zurich, se tient la 48^e session de la Société helvétique de Sciences naturelles à laquelle DESOR présente la *carte géologique de la chaîne méridionale du Valais* de GERLACH, carte qui est fort probablement la base de celle éditée en 1869 (fig. 5). Ce document remarquable nous montre, découverte capitale, l'attribution au Trias, des calcaires des Pontis, des cornieules et des quartzites. Dans la discussion qui s'ensuit, LORY déclara: *Les calcaires des Pontis en Valais sont en contact avec les quartzites et il y a des gypses en dessus; ces calcaires paraissent être l'équivalent du calcaire de l'Esseillon (Maurienne). Au-dessus des gypses et des cornieules viennent les schistes du Mont-Cenis.*

Une étape importante était donc franchie, celle de la datation de quelques formations au front pennique et une ébauche de corrélation avec des formations plus occidentales de la chaîne (ce que STUDER avait déjà tenté de faire, mais sans beaucoup d'arguments avec ses zones anthracifères).

En 1867 paraît la deuxième édition de la *carte géologique de la Suisse* au 1:380 000 (fig. 4) de STUDER et ESCHER.

Pour le front pennique, la carte est déjà meilleure que celle de la première édition, puisque, en plus des gypses, elle signale des calcaires indéterminés. Calcaires soit, indéterminés non! puisqu'ils l'ont été par GERLACH et LORY en 1864 comme nous venons de le voir. De plus, dans cette nouvelle édition, le terrain à anthracite est enfin figuré.

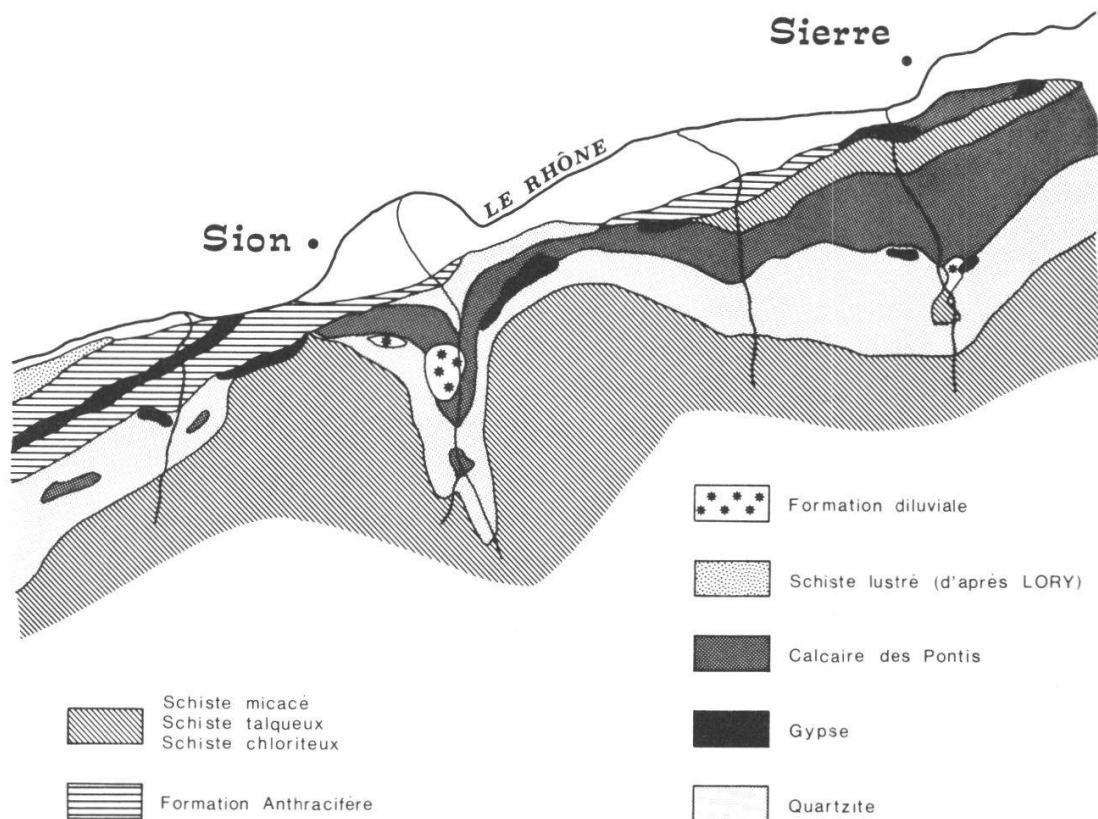


Figure 5. – Extrait de la *carte géologique des Alpes Pennines* de H. GERLACH, 1869.

STUDER (1867), lors de la présentation de cette carte, passe en revue tous les *verrucanos* connus de lui, de l'Allemagne à la Toscane en passant par Glaris, et ajoute:

Les *verrucanos* aussi ne paraissent pas tous du même âge; le nom signale une roche et non pas un terrain.

Cet utile terme passe-partout disparaîtra des descriptions du Pennique des Alpes valaisannes pour réapparaître avec SCHMIDT (1907) [qui le fait figurer sur ses cartes et profils mais n'en donne pas de définition claire] et surtout GÖKSU (1947) qui l'utilise dans l'acception de GIGNOUX et MORET (1938) p. 107:

... ce sont des schistes rouges accompagnés de grès et de conglomérats à petits galets quartzeux et de couleur rouge, verte ou violacée. Ce type *verrucano* constitue ainsi une des roches les plus caractéristiques des Alpes.

VALLET (1950) sera le premier à comparer avec le *verrucano* glaronnais les séries qu'il définit dans le Pennique frontal.

4. DE GERLACH ET SA PREMIÈRE CARTE GÉOLOGIQUE DÉTAILLÉE DES ALPES PENNINES À L'AUBE DE LA DÉCOUVERTE DES NAPPES

Né en 1822 en Westphalie, HEINRICH GERLACH est orphelin à l'âge de six ans et n'obtient qu'une maigre partie d'un héritage qu'il doit partager avec huit frères et sœurs. Il suit une brillante scolarité et l'un de ses frères aînés réussit à lui obtenir la prise en charge de ses frais d'études à la seule condition, cependant, que ce soient des études de théologie. Ses goûts sont toutefois bien différents puisqu'il n'a qu'un seul désir: devenir mineur. Remarqué par GIRARD, alors professeur à l'Université de Marburg, il a la chance de pouvoir l'accompagner sur le terrain. Peu après il obtient la place de chef mineur dans une mine de plomb-zinc dans laquelle il travaille jusqu'à son admission à l'Université de Marburg en 1849. Devenu directeur, pour le compte d'une société berlinoise, des mines de nickel-cuivre-cobalt du val d'Anniviers, il y reste une dizaine d'années avec un intermède de six mois, durant lequel il suit les cours de l'Académie des mines de Freiberg. En 1859, il est mandé par le gouvernement valaisan pour l'exploration de nouveaux gisements et pour l'étude géologique de la ligne du chemin de fer du Simplon. Plus tard, il assume la direction de plusieurs mines en Italie du Nord et au Tessin, ce qui ne l'empêche nullement de poursuivre ses études dans les Alpes Pennines. Sa carrière sera brutalement interrompue en 1871; alors qu'il était sur le terrain en Haut-Valais, une chèvre mit en mouvement une pierre qui atteignit GERLACH à la tête. Il succombera peu après.

C'est à ce travailleur forcené que l'on doit un mémoire et la première carte géologique détaillée des Alpes Pennines (1869 b) (fig. 5).

Dans *Die Penninischen Alpen* (1869 a) GERLACH dit que l'établissement d'une stratification précise est pratiquement impossible dans les formations sédimentaires; il n'en établit pas moins que les calcaires, dolomies, cornieules, gypses et quartzites sont d'âge triasique. Il met aussi en évidence les calcaires des Pontis qui sont *accompagnés de gypse et de cornieules et paraissent associés aux quartzites*. Reprenant les idées de ses prédécesseurs, STUDER en particulier, il établit 2 zones anthracifères, une *zone Nord* (Dorénaz-Fully) et une *zone Sud* (la zone Houillère actuelle), laquelle est surmontée par du Trias ou des schistes métamorphiques (aux environs de Bagne et du val d'Aoste). Il donnera deux hypothèses pour expliquer la situation anormale de cette zone Sud:

- 1) Grands chevauchements, nombreux et intenses replis.
- 2) Cette formation anthracifère ne représente qu'une nouvelle formation du Trias.

La première hypothèse paraît la plus vraisemblable et ne sera cependant confirmée que lorsque la liaison aura été faite avec les roches anthracifères de Maurienne et de Tarentaise.

GERLACH a donc sorti de l'ombre une bonne partie des Alpes suisses. Eu égard aux difficultés d'accès et à l'immense surface cartographiée (environ 9000 km²), ses observations sont à tel point remarquables qu'il suffira à LUGEON et ARGAND (1905) de reprendre la carte de GERLACH³ pour y mettre en évidence les grandes nappes penniques.

La querelle sur l'origine des gypses et des cornieules se déplacera jusqu'au pennique frontal grâce à CHAVANNE (1875) qui voit les gypses de Nendaz et Nax appartenir à une série anthracifère, alors qu'ils sont pris dans des séries d'âges différents (Trias notamment) dans d'autres parties des Alpes.

Il en conclura donc:

Le gypse n'a pas l'âge des roches avec lesquelles il se trouve; il résulte du métamorphisme des assises calcaires sur la ligne de dislocation.

Cette opinion sera contrée par RENEVIER, qui donne un âge triasique aux gypses et cornieules, et par LORY, qui pense que les gypses sont bien triasiques mais donne un âge différent aux cornieules qui sont *des éponges de dolomies dont le carbonate de magnésie a été dissous*⁴.

LORY, en 1881, va pousser plus avant les corrélations entre les Alpes françaises et suisses puisqu'il établit une division des Alpes occidentales en 4 zones longitudinales (fig. 6):

³ GERLACH (1869 a) avait déjà dessiné le grand pli couché des gneiss d'Antigorio.

⁴ On trouvera dans WEIDMANN (1971), l'origine du terme «cornieule» et dans LEINE (1968, 1971) et MASSON (1972) une revue des théories sur l'origine de la cornieule.

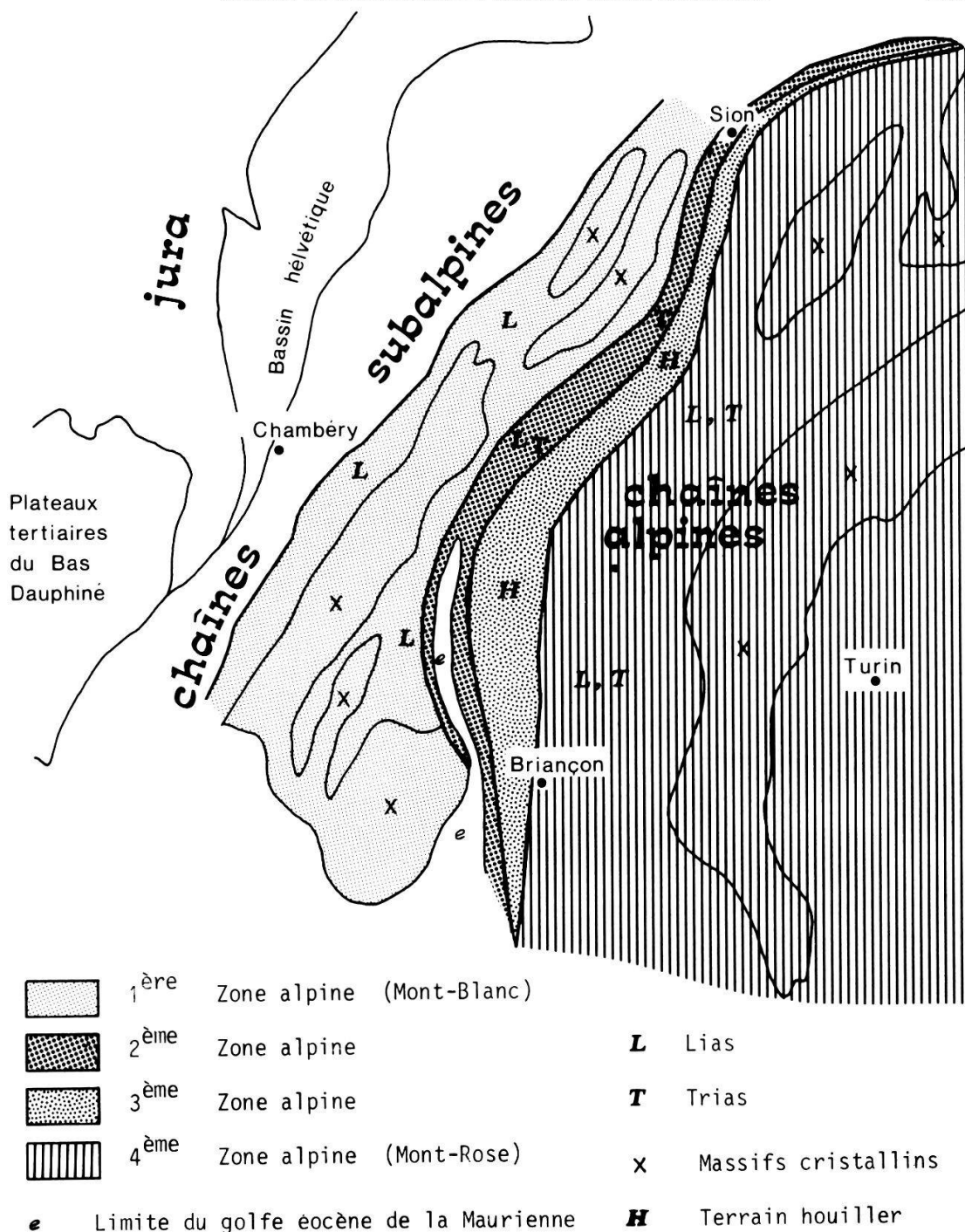


Figure 6. – Extrait de *Zones orographiques et géologiques des Alpes occidentales* par CH. LORY, 1881.

- 1^{re} zone alpine ou zone du Mont-Blanc, caractérisée par du cristallin, des schistes cristallins, des grès houillers et du Lias.
- 2^e zone alpine sensiblement équivalente à l'actuellement nommée Sion-Courmayeur, formée essentiellement de Trias-Lias et schistes lustrés.
- 3^e zone alpine équivalente à la zone Houillère dont l'élément dominant est le grès à anthracite du Paléozoïque supérieur.
- 4^e zone alpine ou zone du Mont-Rose, laquelle ne contient pas de Houiller, peu de Trias et un développement énorme des schistes lustrés.

Ces 4 zones sont limitées entre elles par des failles qui auraient existé avant le Houiller. La 1^{re} zone alpine serait pour LORY *la seule où les couches de terrain ancien ont été disloquées, redressées et plissées avant le dépôt des terrains secondaires*. Dans la 4^e zone alpine on trouve *des structures régulières en grands plis anticlinaux et en grandes voûtes*.

LORY prétend encore que dans les 2^e, 3^e et 4^e zones alpines tous les terrains, jusqu'au Lias compris, sont sensiblement concordants et que, par conséquent:

La structure feuilletée ou cristalline est absolument indépendante des grandes actions mécaniques qui n'ont façonné ces terrains en montagnes que postérieurement à la période du Lias.

Le mérite revient sans doute à LORY d'avoir mis en évidence de grandes zones longitudinales en tentant de séparer entre elles des unités d'origine paléogéographique différentes. Cependant le modèle qu'il propose se heurte à des hypothèses difficilement admissibles, à l'époque déjà, puisque SEDGWICK (1835) et PHILLIPS (1844) avaient déjà démontré les relations intimes entre la schistosité et la déformation, ce que LORY écarte ici a priori. Si le modèle de LORY nous paraît quelque peu excessif, on lui doit toutefois de faire passer un accident majeur dans la vallée du Rhône entre Saxon et Loèche. Considérant que les 2^e et 3^e zones alpines de LORY possèdent un caractère trop local pour être significatives à l'échelle de la chaîne alpine, DIENER (1891) les réunira sous le nom de *zone du Briançonnais*.

Pendant ce temps, la querelle des *schistes lustrés* se poursuit; SCHARDT et BERTRAND font naître le concept de nappes alpines et HAUG (1894) délaisse l'idée d'un seul géosynclinal alpin pour celle d'un géoanticlinal briançonnais séparant le géosynclinal dauphinois de celui des schistes lustrés (qu'il appellera Piémontais plus tard). En 1896, HAUG montre qu'en amont de Martigny:

la vallée du Rhône, loin d'être une vallée tectonique, coupe obliquement les plis du Valais, ceux de la rive gauche se retrouvant, en partie du moins, sur la rive droite.

Nos travaux infirment et confirment à la fois les affirmations de HAUG puisque la vallée du Rhône joue bien le rôle d'un accident majeur de la chaîne alpine; mais, d'autre part, il est vrai que quelques structures de la rive gauche se retrouvent sur la rive droite; nous expliquerons cette apparente contradiction dans un prochain travail.

DUPARC et RITTER (1896) vont procéder à une étude des schistes de Casanna valaisans qu'ils vont classer en 4 types. DUPARC (1901) en proposera 7 types caractérisés essentiellement par la présence ou l'absence de chlorite.

Ainsi, jusqu'à la fin du XIX^e siècle, le pennique valaisan n'a joué qu'un rôle mineur dans la géologie alpine; les travaux de GERLACH exceptés, les recherches dans lesquelles notre région était impliquée avaient surtout

pour but l'étude des Alpes françaises et l'on *poussait* parfois l'observation et l'hypothèse jusqu'en Valais⁵.

Si dans les Alpes françaises on pouvait aisément expliquer la structure en éventail de part et d'autre de la zone houillère dite axiale, il devenait délicat de prolonger le raisonnement plus à l'est; il en était ainsi de nombre d'observations qu'on ne pouvait plus intégrer dans les modèles précédemment proposés. La science géologique avait besoin de franchir un nouveau pas. En découvrant les grandes nappes penniques, ARGAND, LUGEON et SCHARDT vont faire de notre région une zone clé de la géologie alpine.

5. DE LA DÉCOUVERTE DES NAPPES PENNIQUES À LA GÉNIALE SYNTHÈSE D'ARGAND

De la mort de GERLACH jusqu'au début de notre siècle, la région du Simplon, où un tunnel est projeté puis exécuté (1898-1905)⁶, sera le seul véritable sujet d'intérêt dans le Pennique du Valais. En se référant à MASSON (1976), on voit que SCHARDT, en montrant l'allochtonie des Préalpes, a pu prouver l'existence des nappes. Mais c'est à LUGEON qu'en revient l'honneur grâce à sa talentueuse démonstration du 17 février 1902 sur la structure des nappes des Préalpes et des Alpes de l'Helvétique. LUGEON ne va pas perdre de temps puisque le 24 mars de la même année il publie *Sur la coupe géologique du massif du Simplon*, note dans laquelle il affirme que le grand pli couché des gneiss d'Antigorio doit être appelé *nappe d'Antigorio* et qu'il en est de même pour les gneiss du Lebendum et du Monte Leone dans lesquels il voit 2 autres nappes. Sur sa lancée, il imagine que l'on puisse réserver le même sort au massif du Mont-Rose. Dans cet article, LUGEON rend hommage à GERLACH puisque, en effet, c'est sur la carte de GERLACH qu'il s'est appuyé pour découvrir la nappe d'Antigorio, si ce n'est les autres. Ainsi le départ est donné et, dans les années qui vont suivre, nous allons assister à une véritable course à la découverte des nappes penniques dont les protagonistes sont, pour les Alpes valaisannes, ARGAND, LUGEON et SCHARDT. Ils sont ici volontairement cités dans l'ordre alphabétique car, à lire attentivement la littérature géologique du début du XX^e siècle, on finit par ne plus très bien savoir à qui l'on doit la découverte des nappes du Mont-Rose et du Grand-Saint-Bernard, puisque SCHARDT (1903) affirme:

La supposition exprimée par M. LUGEON que le pli en dôme du Mont-Rose «sera, un jour, considéré comme la carapace d'un grand pli couché dont la charnière frontale est enfouie», est pour moi une

⁵ En revanche, la région du Simplon, important lieu de passage, a été passablement décrite.

⁶ Voir l'article que SCHARDT consacre au Simplon (ligne et tunnel) dans le *Dictionnaire géographique de la Suisse* (1906).

certitude. Il en est de même des plis situés plus au nord⁷ et que séparent des zones de schistes lustrés; tel le pli de gneiss qu'entament le val d'Anniviers et le val d'Hérens.

Ainsi, LUGEON imagine en 1902 que le massif du Mont-Rose puisse être une nappe, SCHARDT en 1903 l'affirme comme une certitude mais n'en fournit pas de preuve. De même SCHARDT crée implicitement la nappe du Grand-Saint-Bernard, mais cette dernière sera définie comme telle par LUGEON et ARGAND (1905). Laissons donc cette question ouverte et regardons le modèle s'améliorer au fil des ans, en ne retenant que les publications qui apportent de nouvelles observations.

LUGEON et ARGAND (1905 a) montrent l'existence de 4 nouvelles nappes superposées, plus ou moins digitées, toutes déversées vers l'extérieur de la chaîne. Ainsi, en reprenant les 3 premières nappes définies par LUGEON (1902 b), on a la succession de nappes suivantes:

Dent Blanche (VII)
 Mont Mary-Mont Emilius (VI)
 Mont-Rose (V)
 Grand-Saint-Bernard (IV)
 Monte Leone (III)
 Lebendum (II)
 Antigorio (I)

Les mêmes auteurs (1905 b) montrent un

grand ensellement transversal et l'élévation graduelle des axes des plis de part et d'autre de cette dépression. C'est grâce à ce phénomène que nous constatons, en marchant de l'ouest vers l'est, l'arrivée au jour des nappes de plus en plus profondes.

Et d'ajouter:

La croissance dans les nappes de replis à déversement sud est due également au serrage contre les massifs hercyniens. Ce sont des vagues en retour.

Les grandes idées sont donc lâchées; les nappes sont individualisées, les plongements des axes observés ainsi que *les vagues en retour* qui seront appelées plus tard *plis en retour*. Il faudra plusieurs travaux, essentiellement ceux d'ARGAND, SCHARDT et SANDBERG, pour que la magistrale synthèse d'ARGAND puisse voir le jour.

SANDBERG (1905), dans une étude limitée à la région de la Pierre à Voir, lève une carte au 1:50 000 et montre le passage vertical et latéral des schistes de Casanna du Houiller ou aux quartzites triasiques.

ARGAND (1906), en procédant au déroulement des nappes penniques, tire des conclusions douteuses sur le métamorphisme que ces nappes au-

⁷ Il s'agit ici des séries appartenant à la nappe du Grand-Saint-Bernard.

raient subi. Mais, dans la même note, il fournit des observations très importantes:

- la zone Houillère est une digitation de la nappe IV;
- il utilise le terme d'*encapuchonnement* pour désigner les *déformations qui résultent de la résistance d'une nappe déjà formée à la propagation d'une nappe plus jeune*;
- la nappe IV a été encapuchonnée par la nappe V, ce qui se voit aux Mischabel et à Valsavaranche;
- il en déduit que *la mise en place de la nappe V est postérieure à celle de la nappe IV*.

SCHARDT (1907), p. 493, déclare:

La masse de calcaire triasique, dit des Pontis sur le versant sud de la vallée du Rhône, est, à part un degré de métamorphisme plus avancé, tout à fait identique au Trias des Préalpes du groupe Rubli-Gummfluh-Spielgarten.

Il est ainsi le premier à avancer implicitement l'idée que les Pontis puissent être la patrie des Préalpes médianes.

SCHMIDT (1907) enracine toutes les nappes préalpines immédiatement en arrière du Mont-Blanc et, à l'instar de HAUG (1894), fait jouer à la vallée du Rhône le rôle de *cicatrice*. SCHARDT (1908) s'oppose à cette manière de voir et montre que la nappe du Grand-Saint-Bernard était le *noyau cristallin* des Préalpes médianes et que, par conséquence directe, la nappe du Mont-Rose était la patrie de la nappe de la Brèche. Comme le dit MASSON (1976), on considère actuellement que:

Les Médiannes s'origineraient quelque part «dans» la nappe mésopennique du Grand-Saint-Bernard (mais en tout cas en arrière de la zone de Sion)⁸.

Les travaux de MEGARD-GALLI et BAUD (1977) et BAUD (communication orale) tendent à prouver que la patrie des Rigides se trouverait entre les Pontis et la zone du Barrhorn, la patrie des Médiannes étant, elle, évidemment plus en avant, dans les Pontis et(ou) la zone Houillère.

Si ARGAND (1906) a fait de la zone Houillère une digitation de la nappe IV, c'est SCHARDT (1908) qui en donne la première représentation dans une coupe à travers la vallée du Rhône et le Mont-Fort.

Après avoir fait bonne place, pour ce début du siècle, aux arguments structuraux, il est bon de voir ce que pensaient les stratigraphes. Arrêtons-nous donc aux travaux de HAUG (1909 a), (1909 b) qui va définir 6 géosynclinaux et 5 géanticlinaux⁹ parmi lesquels on trouve pour la région qui nous intéresse ici:

⁸ ELLENBERGER (1952, 1958) démontre l'affinité briançonnaise des écailles mésozoïques de la nappe du Grand-Saint-Bernard.

⁹ On appréciera chez HAUG l'heureuse évolution de *géosynclinal* (1894) à *géanticlinal* (1909) par le passage de la triplongue au hiatus.

- le géosynclinal vindélicien;
- le géanticlinal helvétique;
- le géosynclinal valaisan, dont il fait la patrie des nappes inférieures des Préalpes (équivalentes de l'Ultrahelvétique);
- le géanticlinal briançonnais, patrie de la nappe supérieure des Préalpes (équivalente des Médiannes rigides);
- le géosynclinal piémontais.

Quant à la nappe moyenne des Préalpes (équivalente des Médiannes plastiques), HAUG l'enracine immédiatement au sud du Mont-Blanc tout comme SCHMIDT (1907), résultat auquel il arrive par élimination des impossibilités. Une autre remarque intéressante de HAUG est celle qu'aucun des 6 géosynclinaux ne peut revendiquer le qualificatif d'axial. Voici détruit l'un des derniers témoins des anciennes théories. Ainsi, en 1909, les grands problèmes étaient posés et déjà partiellement résolus.

Entre 1909 et 1912, ARGAND livrera 15 publications consacrées au Pennique, dans lesquelles nous ne retiendrons que ce qui nous a paru essentiel. Dans *L'exploration géologique des Alpes pennines centrales* de 1909, ARGAND déclare:

Dans les parties septentrionales de la nappe du Grand-Saint-Bernard, l'épaisseur des quartzites du Trias inférieur atteint plusieurs centaines de mètres à l'entrée des vallées valaisannes méridionales, au voisinage du Rhône...

Il est vrai que l'épaisseur de ces quartzites est très grande, mais il s'agit de l'épaisseur apparente uniquement. En effet, nous avons montré (SAVARY, 1979) que les séries du Pennique frontal sont intensément et multiplement replissées.

ARGAND (1912 a) met en évidence le passage vertical et latéral du Carbonifère aux schistes de Casanna dans la zone permo-carbonifère (ce que SANDBERG (1905) avait déjà signalé). Mais ARGAND l'interprète dans le cadre de la théorie des nappes comme un fait déterminant l'appartenance de la zone permo-houillère à la nappe du Grand-Saint-Bernard.

Les fameuses structures en éventail, qui hantaient la littérature géologique du XIX^e siècle, trouvent une explication grâce à ARGAND (1911 b) qui, reprenant son propos de 1906, montre que le *sous-charriage* de la nappe du Mont-Rose (V) dans celle du Grand-Saint-Bernard (IV) provoque des plis en retour de (IV) et son encapuchonnement. ARGAND distingue ainsi dans la nappe (IV) une zone nord caractérisée par de nombreuses digitations *poussées vers l'extérieur des Alpes* et une zone sud où *prévaut l'apparent déversement en retour*. Voilà une élégante démonstration de la formation d'une structure en éventail. Nos observations confirment les vues remarquables d'ARGAND. Cependant, il nous faut apporter quelques retouches à ce modèle: ARGAND voyait la nappe (IV) comme un grand pli couché, digité à son front. Nous sommes pleinement d'accord avec lui sur les digitations que nous appelons maintenant écailles, mais là où nos observations

divergent de celles d'ARGAND c'est sur la présence d'un flanc inverse de la nappe (IV). En effet, dans le front de la nappe du Grand-Saint-Bernard, nous observons une succession d'écaillés essentiellement normales.

ARGAND (1911 b) utilise les similitudes qu'il observe entre le pli en retour de Valsavaranche et celui des Mischabel pour démontrer le cylindricisme des nappes penniques tout au long de l'édifice alpin. Si ce cylindricisme paraît aujourd'hui quelque peu exagéré, on retiendra au crédit de son auteur une éventuelle identité dans les causes qui ont engendré ces plis en retour et ceci même si nous ne retenons pas le modèle dynamique d'ARGAND.

ARGAND voulait à tout prix voir en les nappes penniques un empilement de plis anticlinaux (à cœur cristallophyllien) séparés par des synclinaux de roches mésozoïques. Il avait observé, d'autre part, les passages latéraux nombreux dans les séries penniques (tels ceux d'entre le Permo-Carbonifère et les quartzites triasiques). Dans cette optique, la coupure qui s'imposait donc entre les quartzites (Trias inférieur) et les séries du Trias moyen et supérieur permettait de satisfaire le modèle sur l'ensemble de la chaîne.

Cette limite a son intérêt, non comme le disait ARGAND (1911 c) *pour obtenir des formes structurales comparables entre elles dans toute l'étendue des nappes intra-alpines*, mais bien parce qu'elle sépare deux séries de compétences différentes et qui, par conséquent, ont enregistré les contraintes de manière différente. C'est ce que nous observons dans le Pennique frontal, où seules les dernières déformations sont décelables dans les structures des séries calcaires, tandis que l'on en retrouve de plus anciennes dans les quartzites sous-jacents.

L'esprit remarquablement synthétique d'ARGAND s'est manifesté dans ses cartes, coupes et stéréogrammes (1911 a, 1912 b), sur lesquels figurent une très grande quantité d'observations sans pour autant en troubler la clarté. ARGAND fournit ainsi un cadre permettant ensuite des études de détail.

ARGAND fut encore un novateur puisqu'il réussit à décomposer en 4 phases les déformations subies par les séries penniques. Il établit donc la succession suivante (1912 c):

1) Phase Bernardienne

La nappe du Grand-Saint-Bernard et ses digitations forment un système de plis couchés montant vers l'extérieur des Alpes avec des plans faiblement inclinés sur l'horizon.

2) Phase Dent Blanche

Avance de la nappe de la Dent Blanche¹⁰, ce qui entraîne un amincissement considérable des digitations supérieures de la nappe (IV) et la formation de l'éventail de Bagnes et plis en retour; c'est un encapuchonnement à petite échelle.

¹⁰ ARGAND a maintenant réuni sous Dent Blanche (VI) ce qu'il appelait auparavant Dent Blanche (VI) et Mont Mary, Mont Emilius (VII).

3) Phase Mont-Rose

Encapuchonnement de la nappe (IV) autour des plis frontaux de (V). C'est le principal régime des plis en retour. Le plus gros de ces plis étant celui des Mischabel.

4) Phase Insubrienne

Pénétration de la nappe insubrienne sous la zone radicale des plis couchés, ce qui provoque un rétrécissement de la zone pennique ainsi qu'un redressement puis renversement des racines.

A la lumière des travaux actuels, il faut surtout retenir, parmi les 4 phases d'ARGAND, celle des plis en retour dont on peut suivre les effets très au nord (contrairement à ce que dit ARGAND), soit jusqu'à la vallée du Rhône.

ARGAND, dans *Sur l'Arc des Alpes occidentales* (1916) va reconstituer les divers épisodes de fermeture de la Téthys par l'emboutissement de l'Indo-Afrique dans l'Eurasie. Il donnera évidemment un modèle dans lequel peuvent s'inscrire ses découvertes précédentes. En «jonglant» avec les angles d'incidences des mouvements des 2 continents, comparant les *déferlements de plis couchés* à celui des vagues sur un littoral, tout cela s'inscrivant dans un mouvement de serrage qu'il reconstitue pas à pas, de la fin du Carbonifère moyen au Quaternaire, ARGAND réussit à donner une image claire dans laquelle ses 4 phases prennent place. Ce modèle, pour séduisant qu'il soit, implique des impossibilités au regard des connaissances actuelles. ARGAND, pour expliquer les différences dans la nature des sédiments dans une même unité, fait appel à une tectonique asymétrique engendrant des renflements du fond marin. Ces renflements ne cesseront de croître (avec parfois des périodes de calme). Ainsi, le tour est joué. Il suffira de faire varier l'ascension de ces bourrelets ou de les faire émerger pour expliquer la réduction ou le non-dépôt d'une série. Entre les bourrelets en formation, des fosses se creusent.

C'est ici un point sur lequel on peut attaquer ARGAND puisque ces fosses ne se creusent pas mais sont des zones à très forte subsidence.

Les bourrelets qui sont tout d'abord des noyaux anticlinaux hercyniens vont donner, en grandissant, naissance aux nappes. Voilà un autre point qui est fatal au schéma argandien. En effet, sa théorie ne peut éventuellement tenir que si l'on admet que tout le système était en compression. La découverte de mouvements d'extension au cours du Jurassique rend le modèle d'ARGAND difficilement soutenable, dans son ensemble en tout cas.

Revenons maintenant quelques années en arrière avec HERMANN (1913) qui a levé la carte géologique des deux rives du val d'Anniviers entre Chandolin et Ayer. Il établit 7 zones du sommet du Trias inférieur aux gneiss œillés, à biotite et à deux micas. Il est permis de mettre en doute ces résultats attendu que HERMANN voit une ondulation des axes des plis, ondulation qu'il attribue aux différences de résistance que les nappes penni-

ques ont rencontrées en s'enfonçant contre les massifs de l'Aar et du Mont-Blanc. On est là dans la tradition argandienne.

6. LE PENNIQUE DU VALAIS CENTRAL APRÈS LA SYNTHÈSE D'ARGAND

DIAS (1919, 1920) tente à son tour une classification des schistes de Casanna, dans la vallée d'Hérens cette fois. Ses déterminations minéralogiques sont douteuses. Les résultats de CHEVENAL (1944 a, b, c et 1947) le prouvent.

WEGMANN (1922) donne une excellente carte structurale de la nappe du Grand-Saint-Bernard dans le val d'Hérens et, en 1923, 5 profils à travers la même région. C'est encore WEGMANN qui distingue les schistes de Casanna inférieurs caractérisés par la présence de roches vertes, d'albite et de chlorite, tandis que les schistes de Casanna supérieurs, eux, ne contiennent pas de roches vertes et moins d'albite et de chlorite.

Bien que la conférence d'ARGAND, le 1^{er} septembre 1923 à la Société helvétique de Sciences naturelles, n'apporte rien de neuf, nous conseillons la lecture de ce texte, ne serait-ce que pour la qualité de la prose.

WEGMANN (1925) note, au sujet de la nappe du Grand-Saint-Bernard:

Les schistes cristallins («Permien métamorphique», schistes de Casanna et schistes lustrés p.p.) portent les traces d'une première phase de mouvement. La déformation s'est faite dans des conditions telles que les distances des plans de mouvement différentiel étaient de l'ordre de grandeur des minéraux des roches. C'est à l'adaptation aux conditions créées par ce mouvement que nous devons ces schistes cristallins.

Cette communication est d'une extrême importance du point de vue méthodologique puisque c'est, à notre connaissance, la première fois que des arguments microstructuraux sont invoqués pour étayer la théorie d'ARGAND, dans le Pennique en tout cas. WEGMANN contribuera grandement, par la suite, au développement de l'étude des microstructures.

WEHRLI (1925) et CHRIST (1925) publient deux mémoires complémentaires consacrés en bonne partie aux anthracites du Valais. Le premier (WEHRLI) donne un historique des exploitations d'anthracite des origines à 1917. Le second, une revue des gisements de 1917 à 1924. On y trouve les plans des galeries, les quantités exploitées et des coupes de chaque gisement. Nous ne reprendrons donc pas ici ce qui a déjà été fait. Remarquons toutefois que, quelques gros filons exceptés (à Grône, Chandoline et Bra-mois), les gisements d'anthracite du Pennique du Valais central ont été d'une rentabilité fort discutable, ceci en raison de la complexité des structures rencontrées au voisinage de la vallée du Rhône.

On ne saurait oublier HERMANN (1937) qui résume sur sa carte géologique des Alpes nord-occidentales toutes les observations de l'époque.

La découverte par GAGNEBIN et OULIANOFF (1942) de débris de *Pecopteris* dans le Houiller permet de dater avec certitude¹¹ cette série (ou du moins une partie).

LOMBARD (1942) donne un profil géologique de la mine la Chandoline. On voit 5 filons d'antracite plonger régulièrement vers le sud-est. Nous avons montré (SAVARY, 1979) que la tectonique de cette région est en fait beaucoup plus complexe, ce que la coupe de la Printze par LOMBARD et FALCONNIER (in LOMBARD, 1942) laisse mieux entrevoir.

POLDINI (1943) met en évidence pour la première fois à Chandoline et Bramois l'existence de courants électriques liés à la présence d'antracite. La méthode utilisée est celle de la polarisation spontanée.

VALLET (1949) utilise la même méthode entre Arvillard, Salins et Bramois. Il dresse une carte d'équipotentiels et met ainsi en évidence une discordance du Trias sur le Houiller. Il conviendrait plutôt de parler ici d'une écaille de Trias sur le Houiller.

Plusieurs travaux, CHEVENAL (1944 a, b, c; 1947), SIGG (1946), HALM (1945) et GILLÉRON (1946) seront axés sur les gîtes métalliques des vals d'Hérens, d'Anniviers et de Turtmann.

En 1948, VALLET publie une note sur les «orthogneiss» de Thion que WEGMANN (1923) avait découverts. Mais VALLET est partisan d'une origine sédimentaire de ces gneiss. Le problème n'est d'ailleurs toujours pas résolu actuellement.

Nous arrêtons ici notre propos, considérant les travaux plus récents comme actuels et donc connus de tous.

REMERCIEMENTS

Je remercie ici A. BAUD et H. MASSON pour les renseignements qu'ils m'ont aimablement donnés, BUBU, A. ESCHER et A. STECK qui ont bien voulu lire et critiquer ce texte. Un merci tout particulier à ANNE-MARIE MAGNENAT qui a réussi à taper ce texte après la dernière minute.

BIBLIOGRAPHIE

- ARGAND, E. 1906. – Contribution à l'étude du géosynclinal piémontais. *C. R. Acad. Sci. (Paris)*, 26 mars 1906.
 – 1909. – L'exploration géologique des Alpes Pennines centrales. *Bull. Lab. Géol. etc., Univ. Lausanne* 14.

¹¹ Le Westphalien D et le Stéphanien A seront datés par JONGMANS (1960) qui retrouvera à Grône une grande quantité de fossiles. STUDER (1851) relate la découverte par MERIAM (1847), dans notre région, de fougères carbonifères certaines mais non déterminables plus précisément.

- 1911 a. – Les nappes de recouvrement des Alpes Pennines et leurs prolongements structuraux. *Matér. Carte géol. Suisse, n. s. 31*, 1-26.
 - 1911 b. – Sur les plissements en retour et les structures en éventail dans les Alpes Occidentales. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, P. V. 17 mai.
 - 1911 c. – Sur la limite de deux séries cristallophylliennes compréhensives dans les Alpes Occidentales. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, P. V. 5 juillet.
 - 1912 a. – Sur la tectonique de la grande zone permio-houillère des Alpes Occidentales. *Eclogae geol. Helv. XI/6*, 747-751.
 - 1912 b. – Coupes géologiques dans les Alpes Occidentales. *Matér. Carte géol. Suisse, n. s. 27*, 4 pl.
 - 1912 c. – Phases de déformation des grands plis couchés de la zone pennique. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, P. V. 21 février.
 - 1916. – Sur l'arc des Alpes Occidentales. *Eclogae geol. Helv. XIV*, 145-191.
 - 1923. – La géologie des environs de Zermatt. *Actes Soc. helv. Sc. nat. 104/2*, 96-110.
- BOURRIT, M. Th. 1781. – Description des Alpes Pennines et Rhétiennes. Tome 1. Genève.
- CHAVANNE, S. 1875. – *Actes Soc. helv. sc. nat., Andermatt*, 49-51.
- CHEVENAL, R. 1944 a. – Les schistes de Casanna de la région de Praz-Jean (Val d'Hérens) – Les prasinites. *C. R. Soc. Phys. Hist. nat. Genève LXI/3*, 225.
- 1944 b. – Les schistes de Casanna de la région de Praz-Jean (Val d'Hérens) – Les gneiss et les schistes. *C. R. Soc. Phys. Hist. nat. Genève LXI/3*, 263.
 - 1944 c. – Sur quelques minerais du gisement de Praz-Jean (Val d'Hérens). *C. R. Soc. Phys. Hist. nat. Genève LXI/3*, 283.
 - 1947 – Le gisement de galène argentifère de Praz-Jean (Val d'Hérens). Thèse N° 1108, Genève.
- CHRIST, P. 1925. – Das produktive Karbon der Schweizeralpen. II. Teil: Die Walliser Anthrazitlagerstätten und der Walliser Anthrazitbergbau während der Jahre 1917-1924. *Mat. Géol. Suisse, Sér. géotech. XI*.
- DESOR, E. 1842. – Aperçu général de la structure géologique des Alpes, précédé de quelques observations générales. *Bibl. Univ. Genève 38*, 120-149.
- 1864. – Présentation de la carte géologique de la chaîne méridionale du Valais de H. GERLACH. *Arch. Sci. phys. nat. Genève 21*, 152-153.
- DIAS, A. 1920. – Contribution à l'étude pétrographique des schistes de Casanna du Val d'Hérens (Valais – Suisse) et de quelques gîtes qui s'y rattachent. Thèse, 96 p., Imprimerie Centrale, Genève.
- 1920. – Sur quelques gîtes de la vallée d'Hérens (Valais). *Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 52*, 112-113.
- DICTIONNAIRE GÉOGRAPHIQUE DE LA SUISSE, 1906, tome 4, ATTINGER Edit., Neuchâtel.
- DIENER, C. 1891. – Der Gebirgsbau der Westalpen, 8^e, 243 p., Wien, F. TEMPSKY.
- DUPARC, L. 1901. – Sur la classification des schistes de Casanna des Alpes valaisannes. *C. R. Acad. Sci. (Paris)*, 20 mai 1901.
- DUPARC, L. et RITTER, E. 1896. – Etude pétrographiques des schistes de Casanna du Valais. *Arch. Sci. phys. nat. (Genève)*, 4^e période, T. II.
- EBEL, J. G. 1810. – Anleitung, auf die nützlichste und genussvollste Art die Schweiz zu bereisen. – Vierter Theil, Zürich, S. 272.
- ELLENBERGER, F. 1952. – Sur l'extension des faciès briançonnais en Suisse, dans les Préalpes médianes et les Pennides. *Eclogae geol. Helv. 45/2*, 285-286.
- 1958. – Sur quelques fossiles triasiques du Pennique frontal valaisan. *C. R. Soc. géol. France*, 168-170.
- GAGNEBIN, E. et OULIANOFF, N. 1942. – Découverte de plantes carbonifères dans la zone pennique du Valais. *Eclogae geol. Helv. 35/2*, 109-110.
- GERLACH, H. 1869 a – Die Penninischen Alpen. *N. Denkschr. schweiz. Ges. Naturw. 23*.
- 1869 b. – Karte der Penninischen Alpen – 1:200000.
- GIGNOUX, M. et MORET, L. 1938. – Description géologique du bassin supérieur de la Durance. *Trav. Lab. géol. Fac. Sci. (Univ.) Grenoble XXI*, 1-295.

- GILLIERON, F. 1946. – Geologisch-petrographische Untersuchungen in der Ni-Co-Lagerstätte Kaltenberg (Turtmantal, Wallis). *Matér. Géol. Suisse, Sér. géotechn.* 25, 1946.
- GIRARD, H. 1861. – Geologische Wanderungen, 10^{er} Brief, zweite Auflage, Halle.
- GÖSKU, E. 1947. – Geologische Untersuchungen zwischen Val d'Anniviers und Turtmantal (Wallis). Thèse. Istanbul.
- HALM, E. 1945. – Die Kupfer-Wismut-Lagerstätten im obern Val d'Anniviers. *Matér. Géol. Suisse, Sér. géotechn.* 22, 1945.
- HAUG, E. 1894. – Observations au sujet de la communication de M. MARCEL BERTRAND sur la structure des Alpes françaises. *C. R. Soc. géol. France* (3), XXII, XI-XIII.
- 1896 – Etudes sur la tectonique des Alpes suisses. *Bull. Soc. géol. France* (3), 24, 535-594.
- 1909a. – Caractères stratigraphiques des Alpes françaises et suisses. *C. R. Acad. Sci. (Paris)*, 1345-1347.
- 1909b. – Les géosynclinaux de la chaîne des Alpes pendant les temps secondaires. *C. R. Acad. Sci. (Paris)*, 1637-1693.
- HERMANN, F.-W. 1913 – Recherches géologiques dans la partie septentrionale des Alpes Pennines. 113 p. REY Impr., Lyon.
- 1937 – Carta geologica delle Alpi Nord-Occidentali.
- JONGMANS, W.J. 1960. – Die Karbonflora der Schweiz. *Mat. Carte géol. Suisse, n. s.* 108.
- LARDY, Ch. 1818. – Lagerung-Verhältnisse des Gypses im Walliser Lande. Leonhards Taschenbuch f. die gesammte Mineralogie. 13^e Jahrgang, 136-155.
- LEINE, L. 1968. – Rauhewacken in the Betic Cordilleras, Spain. Thèse, Amsterdam, 112 p.
- 1971. – Rauhewacken und ihre Entstehung. *Geol. Rundschau* 60, 488-524.
- LOMBARD, A. 1942. – Excursion à la mine de la Chandoline près de Sion. *Eclogae geol. Helv.* 35/2, 158-159, 1 pl.
- LORY, Ch. 1864. – Discussion de la carte géologique de la chaîne méridionale du Valais de H. GERLACH. *Arch. Sci. phys. nat.* 21, 154.
- 1881. – Sur les schistes cristallins des Alpes occidentales et sur le rôle des failles dans la structure géologique de cette région. *Bull. Soc. géol. France* (3) 9, 652-683.
- LUGEON, M. 1902a – Les grandes nappes de recouvrement des Alpes du Chablais et de la Suisse. *Bull. Soc. géol. France* (4) 1, 723-825.
- 1902b. – Sur la coupe géologique du massif du Simplon. *C. R. Acad. Sci. (Paris)*, 24 mars, 726-727.
- et ARGAND, E. 1905a. – Sur les grandes nappes de recouvrement de la zone du Piémont. *C. R. Acad. Sci. (Paris)*, 15 mai, 1364-1367.
- 1905b. – Sur les homologues dans les nappes de recouvrement de la zone du Piémont. *C. R. Acad. Sci. (Paris)*, 29 mai.
- MASSON, H. 1972. – Sur l'origine de la cornieule par fracturation hydraulique. *Eclogae geol. Helv.* 65/1, 27-41.
- 1976. – Un siècle de géologie des Préalpes: de la découverte des nappes à la recherche de leur dynamique. *Eclogae geol. Helv.* 69/2, 527-575.
- MEGARD-GALLI, J. et BAUD, A. 1977. – Le Trias moyen et supérieur des Alpes nord-occidentales et occidentales: données nouvelles et corrélations stratigraphiques. *Bull. Bur. Rech. géol. min.* [Sect. IV] 3, 233-250.
- MERIAM, P. 1847. – Geognostische Bemerkungen aus dem Wallis – Bericht über die Verh. der Nat. Ges. Basel, Bd VII, p. 57.
- MÜNSTER, S. 1550. – *Cosmographiae universalis libri VI*, Capitel Heluetia: «von den Wallisern», S. 346 (de mineris & metallis Valesianae regionis).
- PHILLIPS, J. 1844. – On certain movements in the port of stratified rocks. *Rep. Br. Assoc. Adv. Sci., 1843 (Cork)*, 60-61.
- POLDINI, E. 1943. – Sur l'existence de courants électriques naturels liés aux gîtes d'anthracite valaisan. *C. R. Arch. Sci. phys. nat. (Genève)* 60, 274.
- RAZOUKOWSKY, G. 1784. – Voyage dans le gouvernement d'Aigle et une partie du Vallais.
- RION, CHANOINE, 1852. – Discours prononcé à l'ouverture des séances de la S.H.S.N. *Actes Soc. helv. Sci. nat. Sion*, 10.

- SANDBERG, C. G. S. 1905. – Etudes géologiques sur le massif de la Pierre à Voir. BOUILLANT H., Paris.
- SAUSSURE, H.-B. DE 1796. – Voyage dans les Alpes. Vol. IV., Neuchâtel.
- SAVARY, B.-PH. 1979. – Evolution structurale du front de la zone du Grand-Saint-Bernard aux environs de Sion. *Eclogae geol. Helv.* 72/1, 271-278.
- SCHARDT, H. 1903. – Note sur le profil géologique et la tectonique du massif du Simplon. 119 p., 6 pl., CORBAZ impr., Lausanne.
- 1906. – Simplon (ligne et tunnel du) in Dictionnaire géographique de la Suisse, 4, 688-693, ATTINGER, Edit., Neuchâtel.
- 1907. – Les vues modernes sur la tectonique et l'origine de la chaîne des Alpes. *Arch. Sci. phys. nat.* (Genève) (4) 23, 356-385 et 483-496, 2 pl.
- 1908. – Coup d'œil sur la géologie et la tectonique des Alpes du canton du Valais. *Bull. Murithienne, Soc. valais, Sci. nat.* XXXV, 246-354.
- SCHEUCHZER, J. J. 1718. – Natur-Histori des Schweitzerlandes; III. Theil. S. 183.
- SCHMIDT, C., 1907. – Über die Geologie des Simplongebietes und die Tektonik der Schweizeralpen. *Eclogae geol. Helv.* IX/4, 484-583.
- SEDGWICK, A. 1835. – Remarks on the structures of large mineral masses, and especially on the chemical changes produced in the aggregation of stratified rocks during different periods after their deposition. *Trans. Geol. Soc., 2nd ser.*, vol. iii, 461.
- SIGG, J. 1944. – Contribution à l'étude pétrographique et minière de la partie inférieure du Val d'Anniviers. *Matér. Géol. Suisse, Sér. géotech.* 21.
- STUDER, B. 1836. – Essai sur la géologie des Alpes Suisses occidentales. *Bull. Soc. géol. France*, (1) 7, 225-253.
- 1851. – Geologie der Schweiz, 1er Bd., Bern u. Zürich.
- 1851. – Geologische Übersichtskarte des Alpensystemes und seiner Seitengebirge. 1:2 666 666, in Geologie der Schweiz, Bern u. Zürich.
- 1856. – Notice sur le terrain anthracifère dans les Alpes de la Suisse. *Bull. Soc. géol. France* (2) 13, 146-157.
- 1867. – Lettre à la Société géologique de France sur la 2^e édition de la carte géologique de la Suisse. *Bull. Soc. géol. France* (2) 25, 169-179.
- et ESCHER VON DER LINTH A. 1853. – Carte géologique de la Suisse – 1:380 000, 1^{re} édit. Winterthur.
- 1867. – Carte géologique de la Suisse – 1:380 000, 2^e édit. Winterthur.
- STUMPF, J. 1548. – Schweytzer Chronick: Das ist: Beschreybunge Gemeiner loblicher Eydgnosschaft Stetten, Landen, Völcker... – Zürich, XI. Buch «vom land Wallis», S. 339 b.
- VALLET, J. M. 1948. – Sur la nature des «orthogneiss» de Thion (Val d'Hérens, Valais). *Arch. Sci. phys. nat.* (Genève), 1948/1, 409-412.
- 1949. – Etude des courants électriques naturels liés au Carbonifère de la région de Salins – Chandoline – Bramois près de Sion (Valais). *Arch. Sci. phys. nat.* (Genève), 1949, 2/1, 22-56.
- 1950. – Etude géologique et pétrographique de la partie inférieure du Val d'Hérens et du Val d'Héremence (Valais). *Bull. suisse Minéral. Pétrogr.* 30, 322-476.
- WEGMANN, C. E. 1922. – Geologische Untersuchungen im Val d'Hérens. *Eclogae geol. Helv.* 16/5, 504-507.
- 1923. – Zur Geologie der St. Bernharddecke im Val d'Hérens. Thèse. Imprimerie Centrale, Neuchâtel.
- 1925. – A propos de l'origine de la quatrième écaille. *C. R. Soc. géol. France*, 30 mars, 100-102.
- WEHRLI, L. 1925. – Das produktive Karbon der Schweizeralpen. I. Teil: Übersicht und Geschichte des Bergbaues von seinen Anfängen bis Mitte 1917. *Mat. géol. Suisse, Sér. géotech.* XI.
- WEIDMANN, M. 1971. – Cargnieule ou cornieule? *Eclogae geol. Helv.* 64, 47-51.