Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 76 (1983)
Heft: 1: Zentenarfeier der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft

Artikel: La géologie en Suisse de 1882 à 1932
Autor: Masson, Henri
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-165351

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Eclogae geol. Helv.	Vol. 76/1	Pages 47-64	Bâle, mars 1983

La géologie en Suisse de 1882 à 1932

Par HENRI MASSON[1])

C'est un privilège de traiter cette période de l'histoire de la géologie suisse, car ce fut une période extrêmement féconde, certainement l'une des pages les plus brillantes de l'histoire de la science dans notre pays.

Nous voudrions exprimer ici l'idée que les spectaculaires découvertes des géologues suisses, au début de ce siècle, ne sont pas le fruit d'un pur hasard, mais répondent à une sorte de déterminisme historique, à une *logique interne du progrès scientifique.* Autrement dit, que les savants qui assurèrent la gloire de la géologie suisse ont eu la chance de s'être trouvés *au bon moment au bon endroit*, et ceci sans vouloir aucunement diminuer leurs mérites personnels.

1. Au bon moment

Si on admet que la géologie, en tant que science naturelle débarrassée de toute mythologie, a pris naissance il y a environ 200 ans, on peut, avec du recul, subdiviser son histoire en trois périodes. A chacune correspond un certain type de lieu géologique qui en a été la source d'inspiration dominante. Et comme en disant ceci nous simplifions horriblement, nous n'aurons pas de scrupule, pour mieux nous expliquer, à utiliser le langage horriblement simplificateur de la tectonique des plaques.

Fondamentalement, on peut se trouver à la surface de la terre dans trois types de situations géologiques différentes. Ou on se trouve dans une situation calme, nous entendons par là un lieu où les sédiments peuvent se déposer tranquillement les uns sur les autres suivant le principe de Sténon, sans que l'enregistrement du temps qui en résulte soit notablement perturbé par des transformations ultérieures. On est alors au milieu d'une plaque, loin de ses frontières. Ou on se trouve dans un lieu où se produisent des phénomènes «violents», qui transforment la croûte terrestre en brouillant l'enregistrement des informations originelles. On est alors, le plus souvent, près d'une frontière de plaque. Et, toujours en simplifiant, on peut alors se trouver soit sur une frontière convergente, c'est-à-dire sur une montagne (qui peut être une montagne en devenir comme les fosses du Pacifique, ou une montagne exprimée comme les Alpes, ou encore une montagne érodée comme dans les boucliers précambriens); soit sur une frontière divergente, c'est-à-dire sur une ride médio-océanique.

[1]) Institut de Géologie, Palais de Rumine, CH-1005 Lausanne.

Il était dans la logique des choses que la géologie fît ses premiers pas dans des régions calmes, qui seules se prêtent à établir les bases de la reine des sciences de la terre: la stratigraphie. La principale source de progrès géologique fut alors l'étude des bassins de la plate-forme européenne: bassins de Paris et de Londres, bassin houiller franco-belge, bassin germanique. La Suisse y participa par le Jura, chaîne suffisamment douce pour que les stratigraphes s'y soient sentis à l'aise, et qui donna son nom à une période de l'histoire de la terre. Les montagnes étaient alors incompréhensibles, les rides inaccessibles.

Il était aussi logique que, la stratigraphie ayant atteint à la fin du 19e siècle sa maturité, l'attention des savants fût de plus en plus attirée par les étranges anomalies que révélait l'étude des montagnes. Loin d'être des bizarreries locales, les recouvrements anormaux et les désordres paléogéographiques apparurent alors comme l'expression d'une grande loi de la nature qui restait à découvrir («des exceptions dans la science qui deviennent des règles générales pour les Alpes», disait déjà A. Favre en 1849). Leur élucidation eut des conséquences énormes, qui ouvrirent la porte à des conceptions entièrement nouvelles de la terre (encore que dans certains pays extra-alpins on ait parfois mis du temps à s'en apercevoir). Ce fut la première grande révolution de la géologie, qui amorça la deuxième période de l'histoire de cette science. La source dominante d'inspiration de la pensée géologique se déplaça des plaines vers les montagnes. L'idée générale de leur genèse sur une frontière convergente fut assez bien établie, mais il manquait encore une pièce essentielle à la théorie de la terre: la connaissance des frontières divergentes.

La troisième période de l'histoire de la géologie combla cette lacune avec la découverte du rôle des rides médio-océaniques, à partir de 1960. Il en résulta une théorie globale qui put enfin coupler la contraction génératrice des chaînes de montagnes avec l'expansion des fonds océaniques. Les océans relayèrent les montagnes comme source d'inspiration, et ceci au moment où, la tectonique alpine étant entrée à son tour dans une phase de maturité et de complexité, le progrès s'y faisait plus difficile à saisir.

Quelle sera la troisième révolution de la géologie? De quel lieu ou de quelle méthode encore inconnue viendra la nouvelle grande inspiration? De l'exploration des planètes ou de la géophysique profonde? A ceux qui veulent connaître la réponse, nous donnons rendez-vous au centcinquantenaire de notre société. Nous nous contenterons ici de remarquer que l'océanographie semble elle aussi entrer aujourd'hui dans une phase de maturité: ce qui a paru simple il y a dix ans se complique, on n'assiste plus à des coups de théâtre mais à une complexification progressive des données et des modèles. Dans ces conditions, la géologie des montagnes reprend toute son importance créatrice, et les meilleures perspectives de progrès à moyen terme nous paraissent résider dans un dialogue entre les spécialistes des océans et ceux des montagnes.

2. Au bon endroit

Ce n'est donc pas un hasard que la révolution géologique de la fin du 19e siècle vînt des montagnes, mais ce n'est pas non plus un hasard que ces montagnes aient

été avant tout les Alpes. Simplement elles étaient les mieux connues, elles constituaient donc un laboratoire susceptible de servir mieux que d'autres à l'avancement de la science.

Une particularité de la géologie, en effet, est que l'état des connaissances sur une région y tient le même rôle que la qualité de l'instrumentation dans les sciences expérimentales; et, de même que certains laboratoires sont mieux équipés que d'autres, certaines régions sont mieux connues, ce qui en fait automatiquement des lieux privilégiés pour l'application de nouvelles méthodes ou pour le développement de nouvelles idées. Les pionniers de la stratigraphie et de la cartographie géologique des Alpes ont véritablement été les constructeurs du laboratoire alpin, et, grâce à eux, les géologues suisses du 20e siècle ont eu la chance de travailler dans un laboratoire d'une valeur exceptionnelle. Nous tenons, dans l'expression de notre reconnaissance et de notre admiration envers ces pionniers souvent méconnus, à associer étroitement à nos compatriotes les géologues des pays voisins, français, italiens, autrichiens et allemands, sans oublier les visiteurs qui venaient parfois de pays plus lointains. Si une grande œuvre scientifique fut internationale, c'est bien celle-ci.

Un point cependant doit être souligné: les grands tectoniciens alpins du 20e siècle n'ont pas été des savants de bibliothèques qui n'auraient fait qu'exploiter les travaux de leurs devanciers. Comme on le verra plus loin, ils ont tous été aussi des savants de terrain et ils contribuèrent eux-mêmes dans une large mesure à acquérir, carte et marteau en main, les données dont ils avaient besoin pour développer leurs théories. Leur exemple est une grande leçon.

Nous ferons d'abord le point sur l'état de la stratigraphie en Suisse à la fin du 19e siècle, au moment où la révolution tectonique va éclater dans les Alpes. Puis nous suivrons les progrès de la cartographie géologique. Enfin nous nous pencherons sur l'histoire de la tectonique.

3. Stratigraphie

Le 19e siècle fut celui du grand défrichage stratigraphique, achevé pour l'essentiel aux environs de 1890, à l'exception des quatre problèmes que nous examinerons plus en détail ci-dessous. Cet achèvement est marqué par la parution, entre 1880 et 1895, d'une série de volumineuses monographies de stratigraphie régionale, qui représentaient le couronnement de recherches de longue haleine (p.ex. FAVRE & SCHARDT 1887, GILLIERON 1885, KAUFMANN 1886, MOESCH 1881 et 1894, RENEVIER 1890). Ces travaux stratigraphiques s'appuyaient sur une base paléontologique solide. En effet la paléontologie, peut-être un peu trop négligée aujourd'hui, avait été au 19e siècle un axe important de la recherche scientifique en Suisse - relevons spécialement, en cette fin de siècle, les belles monographies de DE LA HARPE (1880) sur les nummulites, de KOBY (1880-1889) sur les coraux, de MAILLARD (1892) sur les mollusques de la Molasse, de GREPPIN (p.ex. 1888) et de DE LORIOL (p.ex. 1889) sur les fossiles du Jura. On ne soulignera jamais assez l'importance de ces descriptions stratigraphiques et paléontologiques minutieuses, fruits d'un labeur persévérant, qui forgèrent pour longtemps la base de nos connaissances géologiques sur les diverses régions du pays.

Pendant cette période, une œuvre se distingue particulièrement: celle d'EUGÈNE RENEVIER (1831-1906), qui ne se contenta pas d'analyses régionales détaillées, où il excellait, mais se lança également dans des synthèses stratigraphiques d'envergure européenne et même mondiale. Esprit de système porté vers la recherche d'un ordre naturel et vers la classification plus que vers les spéculations hardies, il entreprit dans son «Tableau des terrains sédimentaires» (1873/74) de classer selon leur âge et leur faciès les principaux terrains alors connus en Europe, en les assignant à 79 étages bien définis par leurs fossiles caractéristiques. Ce travail servit de base aux discussions de plusieurs congrès internationaux, dans lesquels RENEVIER joua un rôle actif, insistant notamment sur la nécessité d'une double hiérarchie des subdivisions stratigraphiques (celle des terrains et celle des temps). En 1894, au congrès de Zurich, qu'il présida, il en présenta une version améliorée, en douze tableaux accompagnés d'un texte explicatif de 170 pages: c'est son fameux «Chronographe géologique» (1897). Cet ouvrage tente d'unifier la nomenclature stratigraphique internationale, propose une classification des faciès basée sur les meilleures connaissances de l'époque, et se termine par un «répertoire stratigraphique polyglotte» qui est un lexique de plus de 3000 termes de tous les continents. Les propositions de RENEVIER ne furent pas toutes adoptées, et dans certains cas on peut le regretter, néanmoins cette importante mise au point exerça une influence durable sur le langage stratigraphique des géologues européens.

Ainsi vers 1890, grâce aux efforts opiniâtres de nombreux savants, tous les principaux types de terrains de Suisse étaient plus ou moins approximativement datés, sauf quatre: 1. le Trias (particulièrement dans les Préalpes); 2. la Brèche du Chablais et de la Hornfluh; 3. les flysch; 4. les couvertures penniques (Schistes lustrés et Bündnerschiefer). Ces terrains, très pauvres en macrofossiles et situés dans des contextes tectoniques complexes, posaient de gros problèmes et suscitaient de vives controverses. Il vaut la peine de les examiner de plus près, car la résolution de ces énigmes stratigraphiques fut chaque fois la cause directe d'importantes découvertes tectoniques.

1. *Le Trias.* Le problème du Trias dans les Alpes suisses est triple, car, dans la perspective historique qui est la nôtre, il faut distinguer d'une part le Trias très fossilifère des Alpes orientales, d'autre part les dolomies et gypses des Alpes centrales et occidentales, enfin les puissantes masses des calcaires briançonnais.

La présence du Trias dans les Alpes orientales (Vorarlberg et Grisons) et dans le Sudalpin était déjà bien établie paléontologiquement au milieu du 19e siècle (ESCHER 1853, STUDER 1853) et nous n'y reviendrons pas. Mais on pensait généralement que le Trias disparaissait dans les Alpes à l'ouest du Rhin.

En 1859, A. FAVRE montra l'âge triasique («Keupérien») des dolomies (souvent bréchifiées en cornieules) et des gypses des Alpes occidentales, avec des arguments détaillés et pertinents[2]). Pourtant cette datation resta fort controversée pendant une trentaine d'années, surtout dans les Préalpes où bien des géologues préféraient placer au moins une partie de ces roches dans l'Eocène (à cause de leur superposition tectonique à du Tertiaire); certains auteurs allaient même jusqu'à nier leur

[2]) Confirmant et précisant ainsi une idée émise d'une manière beaucoup plus vague par FOURNET (1850).

nature sédimentaire au profit d'une origine «métamorphique» (épigénie par des émanations gazeuses le long des failles). Le problème fut définitivement réglé par RENEVIER (1890 et 1891) et RITTENER (1892). La conversion de SCHARDT (1891) entraînera en 1893 sa découverte que les Préalpes sont formées de nappes.

Quant aux calcaires du Trias briançonnais des Préalpes, QUENSTEDT (1838) et VON BUCH (1839) en avaient reconnu depuis longtemps l'âge à St-Triphon, grâce à des fossiles récoltés en 1822 par le zurichois A. MOUSSON. C'était la première démonstration de la présence de Trias dans les Alpes. Malheureusement cette importante découverte fut niée ou négligée par les géologues suisses (voir JEANNET 1912, p. 149-151), qui attribuèrent généralement ces calcaires au Jurassique. Enfin LUGEON (1894) prouva définitivement leur âge triasique en trouvant des diplopores dans l'écaille de Dréveneuse, résultat vite généralisé à l'ensemble de ces calcaires dans les Préalpes[3]). A la même époque, QUEREAU (1893) prouve paléontologiquement l'existence du «Muschelkalk» dans la klippe d'Iberg et HUGI (1900) dans celle de Giswil.

2. *La Brèche du Chablais-Hornfluh.* Son cas était analogue à celui des dolomies et gypses: très pauvre en fossiles et toujours superposée à du Tertiaire, elle était attribuée par plusieurs auteurs à l'Eocène. La controverse fut finalement tranchée en 1892/93 par RENEVIER et son élève LUGEON, qui purent avancer en Chablais des arguments structuraux et stratigraphiques convaincants en faveur d'un âge jurassique, conclusion aussitôt étendue aux Préalpes romandes. Cette découverte joua un rôle crucial dans les premiers développements de la théorie des nappes (SCHARDT 1893 et 1898, LUGEON 1896).

3. *Les flysch.* Pendant tout le 19e siècle, la plupart des géologues les ont systématiquement placés dans le Tertiaire. La première démonstration convaincante de l'existence d'un flysch crétacé est due à JEANNET (1908 et 1909), qui trouva une faune cénomanienne dans le flysch de la Mocausa aux Agites. Il prouva ainsi dans les Préalpes l'existence d'une unité tectonique supérieure, la «nappe rhétique», ultérieurement baptisée nappe de la Simme (RABOWSKI 1920). Mais il ne s'agissait encore que de lambeaux préservés de l'érosion dans des fonds de synformes. La grande masse des flysch suisses restait généralement attribuée à l'Eocène.

Les progrès décisifs résultèrent du développement de la micropaléontologie, dont les premiers résultats spectaculaires dans les Alpes survinrent immédiatement après la fin de la période considérée ici: en 1933/34, ARNI, LEUPOLD et PFENDER découvrirent des *Siderolites* et autres foraminifères maestrichtiens dans les flysch du Prättigau et du Niesen, démontrant ainsi l'âge crétacé supérieur d'au moins une grande partie de ces séries. D'un seul coup de larges surfaces de la carte géologique de la Suisse changèrent de couleur. Mais c'est surtout dans les années 60 et 70 que la micropaléontologie, renforcée par la palynologie et l'étude des nannofossiles, amena des reconversions stratigraphiques qui entraînèrent une importante réorganisation de nos idées sur la structure des Alpes.

---

[3]) On notera que leurs équivalents restés en position pennique (calcaire des Pontis, etc.) avaient déjà été attribués au Trias par GERLACH (1864 et 1869), en raison de leur position. Ainsi, une fois n'est pas coutume, la connaissance stratigraphique du Pennique a précédé celle des Préalpes, encore que les premiers fossiles confirmant cette datation n'y furent trouvés que beaucoup plus tard (ELLENBERGER 1958a).

4. *Schistes lustrés et Bündnerschiefer.* Une discussion historique de cet important sujet nous entraînerait trop loin (voir HEIM II/2, p. 494–502, et ELLENBERGER 1958b, chap. I). Il suffit de dire ici que ce problème ne fut pas résolu pendant la période considérée (à part quelques datations isolées de portée locale), et qu'il est encore loin de l'être complètement aujourd'hui. C'est seulement ces dernières années que des travaux micropaléontologiques fructueux ont commencé à éclairer, et de manière parfois fort inattendue, la stratigraphie tant des Bündnerschiefer (PANTIĆ & GANSSER 1977) que des Schistes lustrés (MARTHALER 1981).

La leçon de cette histoire est que le progrès stratigraphique, corrélativement avec la cartographie, fut le ferment du progrès tectonique en géologie alpine: la résolution des problèmes 1 et 2, peu après 1890, catalysa la théorie des nappes; celle des problèmes 3 et 4, plus récente et plus progressive, valut à cette théorie quelques-uns de ses plus importants développements.

Pourtant il serait faux de croire que ces grands problèmes monopolisèrent l'attention des stratigraphes. Au contraire, dès 1900, la plupart des géologues à vocation stratigraphique délaissèrent ces zones d'ombre et de mystère, et se tournèrent de préférence vers l'affinement de la datation de terrains déjà relativement bien connus. On en précisa l'âge au niveau de l'étage, puis de la zone. C'est à ce labeur patient mais relativement peu spectaculaire (si on le compare à ce qu'avait été la stratigraphie au 19e siècle ou à ce que fut la tectonique alpine dès 1900) que nous devons l'excellente connaissance stratigraphique que nous avons aujourd'hui de la plus grande partie du pays.

Dans la foulée, ces études détaillées contribuèrent à résoudre des problèmes d'un intérêt théorique certain; par exemple la question du sidérolitique, que l'on interprétait généralement, jusque dans les années 1890, comme le résultat d'actions hydrothermales. Sous l'influence du belge VAN DEN BROECK (1881), qui avait mis en évidence la grande importance géologique de l'altération chimique des calcaires par l'eau superficielle, les géologues suisses se convertirent progressivement à l'idée d'une origine pédologique et per descensum (p. ex. ROLLIER 1898). Cette évolution des idées aboutit à la belle thèse de FLEURY (1909), qui conclut en présentant une explication du sidérolitique à laquelle nous n'avons aujourd'hui rien à retrancher et peu à ajouter.

La liste de tous ceux qui contribuèrent en ce début de 20e siècle au développement de la stratigraphie suisse est trop longue pour être citée ici, aussi ne mentionnerons-nous que trois grandes figures dont l'œuvre sort de l'ordinaire.

La monographie d'ALPHONSE JEANNET (1883–1962) sur les Tours d'Aï (1912–1918) restera un modèle du genre. Des descriptions stratigraphiques extrêmement minutieuses, des inventaires paléontologiques complets et critiques, des analyses bibliographiques exhaustives et des comparaisons qui témoignent d'une érudition impressionnante, tout cela fait de cet ouvrage un travail exemplaire. Plus tard JEANNET se voua essentiellement à des recherches paléontologiques, qui donnèrent lieu à plusieurs mémoires sur les oursins et les ammonites.

HANS GEORG STEHLIN (1870–1941) fut non seulement un maître de la paléontologie des mammifères, mais encore un fin connaisseur de la stratigraphie du Tertiaire, qu'il contribua à améliorer par ses travaux sur du matériel de divers pays. Il s'attacha notamment à préciser la position de la limite éocène–oligocène dans le

bassin de Paris (1909), plaçant la «grande coupure» entre la faune de Montmartre (à *Paleotherium*) et celle de Ronzon (à *Anthracotherium*, etc.), ce qui est toujours la limite admise aujourd'hui par la plupart des spécialistes. Il entreprit une monumentale révision des faunes éocènes de Suisse (1903–1916) et offrit pour la première fois à la géologie de la Molasse la perspective d'un cadre biostratigraphique précis (1914).

ARNOLD HEIM (1882–1965), enfin, est l'une des figures les plus originales et les plus fécondes de cette époque. Ses descriptions stratigraphiques de l'Helvétique, d'une minutie insurpassée (p.ex. 1910–1917), le menèrent à des conclusions d'un grand intérêt sur les changements latéraux de faciès, sur l'obliquité de la transgression tertiaire par rapport aux lignes tectoniques (in ALB. HEIM 1921) et sur les discontinuités sédimentaires du Crétacé (HEIM et SEITZ 1934). Aussi à l'aise dans la synthèse que dans l'analyse, le chapitre qu'il écrivit sur l'Helvétique dans le traité de son père (ALB. HEIM 1921) témoigne d'une maîtrise étonnante de problèmes complexes (nous songeons notamment à sa présentation très clairvoyante de la zone des cols, l'un des secteurs les plus compliqués des Alpes). Mais son travail vraiment génial est son article «Über submarine Denudation» (1924), dans lequel, après avoir comparé les roches des Alpes avec les sédiments récents recueillis par le «Challenger», il développa des concepts sédimentologiques tout à fait nouveaux pour l'époque: grande importance de la dissolution sous-marine, glissement des sédiments meubles sur les paléoreliefs, etc. Si certaines de ses idées n'ont pas été confirmées depuis lors (il attribua une importance exagérée à la précipitation directe de $CaCO_3$), d'autres sont au contraire devenues des éléments essentiels de la sédimentologie moderne. Ce travail de pionnier fut alors assez mal compris, comme il arrive souvent aux œuvres en avance sur leur temps. Enfin HEIM travailla activement comme géologue pétrolier dans différents pays, enseigna en Chine et entreprit de nombreuses expéditions dans des contrées lointaines (Groenland, Himalaya, Indonésie, Patagonie, etc.); il en ramena toujours une moisson d'observations pertinentes, qui ne se limitaient d'ailleurs pas à la géologie mais incluaient aussi bien l'ethnographie et la zoologie.

En conclusion, le développement de la stratigraphie en Suisse pendant la période considérée fut relativement calme, en tout cas dès 1895, date à partir de laquelle, l'essentiel de ce qui pouvait être découvert avec les moyens de l'époque étant découvert, l'attention fut polarisée par la révolution de la tectonique alpine. Un important réveil de la stratigraphie, dû à la micropaléontologie, se produisit pendant les années 30, au moment où la créativité de la tectonique allait peut-être s'émousser; celle-ci en fut revigorée et stimulée jusqu'à nos jours. Mais avant de conter l'histoire de la tectonique, nous devons encore ouvrir un dossier de la plus grande importance: celui de la cartographie géologique.

4. Cartographie géologique

Venons-en à la cartographie géologique, instrument essentiel du progrès de notre science. Loin d'être une activité scientifique secondaire – comme on affecte de le penser dans certains cercles, notamment chez certains «spécialistes» qui omettent régulièrement de citer les cartes sans lesquelles ils n'auraient jamais su où aller

chercher leurs échantillons et sans lesquelles leurs résultats seraient ininterprétables -, la cartographie géologique détaillée est un des fondements de notre compréhension de l'histoire de la croûte terrestre. Ceci est particulièrement évident dans les Alpes, à preuve, comme nous l'allons voir, que les grands tectoniciens qui ont fait la gloire de la géologie alpine ont tous été aussi de grands cartographes. En fait, la force de la géologie suisse a toujours résidé d'abord dans la qualité de ses cartes. Nous ne pouvons citer ici tous ceux, parfois bien oubliés, qui contribuèrent à la réalisation de cette grande œuvre (pour un inventaire complet, voir HOTZ, qui, en 1931, recensait déjà 750 cartes géologiques et tectoniques en Suisse). Nous nous contenterons de relever quelques tendances et de signaler quelques-uns des géologues qui, par l'ampleur ou la beauté de leurs cartes, ont particulièrement marqué cette période.

Les pionniers de la première moitié du 19e siècle avaient travaillé isolément. Dès sa fondation en 1860, la Commission Géologique de la Société Helvétique des Sciences Naturelles se consacra à regrouper et systématiser la publication des cartes. Cet effort se concrétisa d'abord dans la «Carte géologique de la Suisse au 1:100000» (1864–1887), en 21 feuilles. Cette coordination officielle, qui eut des effets très positifs, n'empêcha d'ailleurs pas de nombreuses autres institutions ou des particuliers de continuer à publier leurs propres cartes en toute indépendance. On peut considérer que la parution de la carte au 1:100000 clôt une première étape de la cartographie géologique de la Suisse, celle de la reconnaissance générale, accomplie de pair avec le défrichage stratigraphique que nous avons évoqué au chapitre précédent. Achevée en 1887, cette étape concerne donc surtout une période de la géologie suisse antérieure à celle dont nous parlons ici.

La deuxième étape est celle des «cartes spéciales». La commission en édita 107 (certaines en plusieurs feuilles) jusqu'en 1931. Bien que les six premières soient antérieures à 1882 et bien que leur publication ait continué après 1932, on peut dire que cette étape se confond grosso modo avec la période traitée ici. Beaucoup plus détaillées que les feuilles au 1:100000, ces cartes spéciales sont encore aujourd'hui notre principale source d'information régionale précise sur la géologie d'une grande partie du pays.

Dans le Jura et sur le Plateau, ce furent des cartes au 1:25000, dont les limites suivirent généralement le quadrillage de la carte topographique. La couverture est surtout dense dans la partie nord-est du Jura, où l'effort cartographique fut particulièrement considérable, tandis que de vastes surfaces blanches subsistèrent dans le secteur sud-ouest de la chaîne et surtout sur le Plateau, singulièrement délaissé à cette époque. Parmi les nombreux artisans de cette vaste entreprise, deux noms ressortent: ROLLIER, tectonicien malheureux (il fut probablement le dernier géologue suisse à s'opposer à la théorie des nappes), mais bon stratigraphe et cartographe infatigable (dès 1894, il produisit à lui seul plus de 1300 km^2 de carte au 1:25000 dans le Jura entre Le Locle et Beinwil); et MÜHLBERG, lui aussi excellent stratigraphe, et très ouvert aux problèmes structuraux, qui couvrit une surface du même ordre à cheval sur le Jura et la Molasse, dessinant des cartes très précises et d'aspect moderne (p. ex. la belle feuille du Hauenstein 1915).

Les choses se passèrent différemment dans les Alpes. La cartographie géologique y représente un tout autre exercice, tant en raison de la difficulté fréquente des accès

que des complications tectoniques. L'échelle adoptée pour la publication fut généralement le 1:50000. Les contours des surfaces cartographiées n'y furent pas planifiés selon un découpage géométrique, mais laissés à la libre appréciation des auteurs; ainsi, il subsiste fréquemment des lacunes plus ou moins vastes entre les diverses feuilles alors que d'autres fois elles se recouvrent partiellement. Cet inconvénient est largement compensé par la qualité souvent excellente des levés, due à la haute motivation des auteurs qui choisissaient eux-mêmes leurs terrains en fonction de leurs intérêts, de l'urgence scientifique des problèmes à résoudre, et y consacraient le temps qu'ils estimaient nécessaire. Ces cartes, dont chacune représente à la fois une aventure et une victoire de l'esprit (et souvent du muscle) sur la matière, ont constitué la base sur laquelle fut développée la grande tectonique alpine. Voyons quelques exemples en nous restreignant au 20e siècle.

LUGEON publia plusieurs cartes importantes, dans l'Helvétique et les Préalpes, mais son chef-d'œuvre est certainement sa «Carte géologique des Hautes-Alpes calcaires» (1910). En onze ans, dormant souvent à la belle étoile, il couvrit un vaste territoire que ne sillonnaient encore ni routes ni téléphériques, et fit de l'Helvétique au nord du Rhône un modèle universellement reconnu de tectonique des nappes. Travaillant nous-mêmes dans cette région, nous sommes frappés, en dépit de tous les correctifs qu'il faut aujourd'hui lui apporter, par la sauvage puissance de cet ouvrage par lequel LUGEON imposa au monde géologique une certaine vision des nappes.

ARGAND leva sa carte du massif de la Dent-Blanche (1908), la plus grande concentration de sommets de plus de 4000 m dans les Alpes, en 305 jours effectifs de terrain de 1905 à 1907. Ce travail, dont la précision fait l'admiration des géologues qui reprennent aujourd'hui cette région en détail, fut le point de départ de sa géniale synthèse des Alpes penniques. Plus tard il publia encore sa carte du Grand-Combin (1934). Il est extrêmement regrettable que ses levés au 1:25000 de la région de Zermatt, pourtant livrés à la commission, n'aient jamais été publiés, pour des raisons obscures.

Allons plus à l'est et nous tombons sur l'une des plus formidables cartes géologiques des Alpes: la «Simplon-Gruppe» de SCHMIDT & PREISWERK (1908). Bien que cette vaste région aux vallées profondes et peu habitées ne compte pas de très haut sommet, les versants y sont abrupts et les accès souvent longs et pénibles. Situé au cœur géologique des Alpes, le domaine simplonique, particulièrement difficile sur le plan géologique, est crucial pour la compréhension de toute la chaîne. Or, pour sa plus grande partie, notre meilleure base cartographique est toujours aujourd'hui celle de SCHMIDT & PREISWERK, et les diverses théories qui en ont été successivement proposées peuvent être toutes considérées, fondamentalement, comme des interprétations de ce remarquable document.

Passons au versant nord des Alpes et nous trouvons les deux jolies cartes de KREBS (1925) sur la Blümlisalp et de COLLET & PAREJAS (1928) sur la Jungfrau. Elles furent publiées au 1:25000 mais nous les considérons ici car leur degré de précision est plutôt celui d'un «bon 50000». Ce sont toujours les seules cartes dont nous disposons pour comprendre un secteur d'un grand intérêt tectonique où les accès sont exceptionnellement difficiles.

Poursuivons vers l'est et nous trouvons les belles cartes de BUXTORF et al. (1916), WEBER (1924), et surtout OBERHOLZER (p.ex. 1920) qui couvrit une surface énorme dans les Alpes glaronnaises et saint-galloises. Ces cartes font en quelque sorte pendant, respectivement en Suisse centrale et orientale, à celles de LUGEON à l'ouest: fruits d'un long travail, détaillées et précises, elles constituent la base des synthèses anciennes ou récentes de l'Helvétique dans une région classique que visitent des dizaines d'excursions chaque année. Enfin les cartes d'OBERHOLZER et de WEBER nous amènent aux Grisons, territoire d'un intérêt exceptionnel puisqu'il offre la coupe la plus complète des Alpes, du socle Nordhelvétique à l'Austroalpin supérieur. L'effort cartographique y fut particulièrement considérable, citons seulement à titre d'exemples les cartes de SPITZ & DYHRENFURTH (1915) et de STAUB (p.ex. 1925).

En tout, l'ensemble des cartes au 1:50000 publiées pendant cette époque couvre à peu près la moitié des Alpes suisses. Cependant, à la même époque, plusieurs territoires y furent déjà l'objet d'une cartographie géologique plus détaillée au 1:25000. C'est précisément aux Grisons qu'on en trouve les exemples les plus probants, avec les deux très belles feuilles de l'«Err-Julier-Gruppe» (CORNELIUS 1931) et avec la remarquable carte des «Mittelbünden», en six feuilles, par CADISCH et al. (1922–1930). Les deux HEIM, père et fils, s'illustrèrent également par des cartes au 1:25000 devenues classiques dans l'Helvétique de Suisse orientale, p.ex. le Säntis (1905) pour le premier, et le Walensee (1907) pour le second en collaboration avec OBERHOLZER. Nous citerons aussi les cartes de BECK & GERBER (Stockhorn, 1925) et de GAGNEBIN (Montreux–Moléson, 1925) qui, à chaque extrémité de l'arc romand, décrivent le front des Préalpes chevauchant la Molasse subalpine.

Ces cartes détaillées annoncent la troisième étape de la cartographie géologique de la Suisse, celle de l'«Atlas géologique au 1:25000», dont la publication débuta à la fin de la période considérée ici. La Commission géologique y fut incitée par le besoin croissant de cartes à cette échelle et par la destruction d'une grande partie de la réserve de cartes spéciales dans un incendie en 1923. Elle imposa un quadrillage identique à celui de l'Atlas topographique et, autant que possible, une légende unifiée. Les premières feuilles à paraître concernèrent naturellement le Jura, où la commission disposait de beaucoup de levés à cette échelle. Citons les numéros 1 (Movelier) par KELLER & LINIGER (1930), et 2 (La Chaux–Les Verrières) par MUHLETHALER (1930). Il nous tient à cœur de rappeler la mémoire de ce dernier, bon exemple de ces géologues peu connus et modestes qui, par leur nombre et leur dévouement, contribuèrent finalement autant que les noms les plus célèbres à bâtir l'édifice de la géologie suisse; maître au collège de Vevey, redouté de ses élèves mais excellent pédagogue, il y enseigna les sciences naturelles à toute une génération d'écoliers avec un enthousiasme communicatif. L'auteur de ces lignes eut la chance d'être son élève et, sans cette rencontre, nous n'aurions peut-être pas aujourd'hui l'honneur de nous adresser à un auditoire aussi distingué.

Finalement, on ne saurait parler de cartographie dans les Alpes sans mentionner l'œuvre étonnante d'OULIANOFF. Devenu géologue à 40 ans après avoir dû fuir son pays natal, il entreprit d'établir la carte géologique du massif du Mont-Blanc au 1:20000 sur une base topographique fournie par la Société française de Stéréotopographie que présidait P. CORBIN, avec qui l'avaient mis en relation LUGEON et

HAUG. Ces cartes détaillées du massif le plus escarpé des Alpes devaient servir de réclame au nouveau procédé photogrammétrique exploité par cette société. La collaboration CORBIN-OULIANOFF aboutit à la publication de 14 feuilles, de 1927 à 1969, qui couvrent toute la partie française du massif.

La conclusion de cette revue se dégage d'elle-même: parmi les noms cités comme grands auteurs de cartes géologiques, on trouve pratiquement tous les grands tectoniciens qui ont assuré la réputation de la géologie des Alpes[4]). Mieux qu'une longue dissertation, cette simple liste montre d'une part la valeur d'école de la cartographie géologique, d'autre part l'étroite subordination des progrès de la tectonique alpine à ceux de la cartographie. Puisons dans cette leçon du passé un enseignement pour l'avenir! La cartographie détaillée des Alpes est encore très loin d'être achevée et elle reste toujours l'une des méthodes les plus fécondes de la recherche géologique.

5. Tectonique

a) Avant la découverte des nappes

Dès le 18e siècle les géologues avaient noté que les Alpes et le Jura présentaient des complications structurales (plis et failles). Les premiers chevauchements, reconnus sur des distances de l'ordre du kilomètre, furent décrits assez tôt au 19e siècle. A la fin de ce siècle, certaines des monographies régionales que nous avons citées à propos de la stratigraphie donnent également des descriptions précises et bien illustrées de structures assez compliquées (p.ex. FAVRE & SCHARDT 1887; voir aussi BALTZER 1880).

Certains chercheurs se penchèrent de façon plus approfondie sur les déformations intimes des roches et des fossiles. RENEVIER (1856), inspiré par les savants anglais qui avaient été des pionniers en la matière, avait déjà attiré l'attention des géologues alpins sur la distinction entre stratification et clivage et sur la déformation des fossiles, donnant notamment l'exemple de bélemnites tronçonnées de la nappe de Morcles. VON FELLENBERG (1893) publia de splendides illustrations de bélemnites étirées du Lias de la couverture du massif de l'Aar. Mais l'étude la plus remarquable sur les fossiles déformés est celle de WETTSTEIN (1886), qui, dans un but paléontologique, analysa la déformation des célèbres poissons du flysch glaronnais. Il put ainsi montrer que des fossiles d'apparence très différente, dont ses prédécesseurs avaient fait des espèces distinctes, appartenaient en réalité à la même espèce, la diversité des formes résultant uniquement de l'orientation variable du fossile par rapport aux axes de la déformation. Quoique sa méthode géométrique ne soit pas absolument irréprochable (il admit a priori que la linéation de la roche donne l'extension finie maximale, ce qui est contestable), la démonstration est brillante et on est particulièrement frappé par les exemples très pédagogiques d'individus brisés dont les deux portions ont acquis par la déformation des morpho-

---

[4]) Nous n'avons pas cité SCHARDT parce que nous avons limité nos exemples au 20e siècle. SCHARDT est notamment l'auteur d'une carte au 1:50000 du Pays d'En Haut dans les Préalpes vaudoises (1884), le territoire dont l'étude le mit sur la piste de la découverte des nappes.

logies qui les feraient, si elles étaient trouvées séparément, attribuer à deux taxa différents.

D'autres géologues furent des pionniers de la tectonique expérimentale. Ainsi A. FAVRE (1880) et SCHARDT (1884) entreprirent des expériences sur des modèles en argile pour tenter de reproduire en laboratoire les structures qu'ils observaient dans la nature.

Mais le grand maître de cette époque fut incontestablement ALBERT HEIM (1849–1937), qui nous laissa non seulement des descriptions régionales détaillées, mais surtout deux ouvrages prodigieux qui représentent le sommet de la tectonique avant la découverte des nappes. Le «Mechanismus der Gebirgsbildung» (1878) synthétise l'ensemble des données structurales sur l'une des régions alors les mieux connues des Alpes. Petits plis, clivages, fissures et fossiles déformés y sont étudiés en détail et utilisés pour tenter de comprendre les mécanismes de la déformation des roches. C'est dans l'histoire de la géologie le premier véritable traité sur ce sujet. Il faudrait pouvoir consacrer un chapitre entier à l'analyse de cette œuvre étonnamment moderne, dont la lecture reste encore aujourd'hui une source d'inspiration (MILNES 1979). «Les dislocations de l'écorce terrestre», livre bilingue écrit en collaboration avec DE MARGERIE (1888), est un précis de tectonique qui regroupe et classe l'ensemble des structures alors connues, donnant de chaque terme une définition précise. C'est une mine de précieux renseignements, qui témoigne d'une érudition stupéfiante et que nous consultons toujours avec profit. On notera particulièrement le paragraphe consacré aux plis replissés, une notion «moderne» dont on voit ici qu'elle était, dans son principe, déjà bien établie au 19e siècle.

Il ne manquait à HEIM qu'un seul concept, mais capital, pour comprendre véritablement la structure des Alpes: celui de *nappe*. Plusieurs géologues du 19e siècle étaient passés très près de cette découverte, tournant autour d'elle, mais n'osant pas voir ce que la nature leur montrait ou pas croire ce qu'ils voyaient. HEIM lui-même (1878), qui avait démontré dans les Alpes glaronnaises des chevauchements de 15 km (ce qui était déjà énorme pour l'époque), eut recours à l'artifice du «Doppelfalte» (pli à double déversement) pour ne pas voir qu'ils en mesuraient en réalité 40 ou plus. Avant lui, dans les mêmes Alpes glaronnaises, ESCHER (1841) avait déjà envisagé l'existence d'un chevauchement «colossal», mais son texte reste vague; si l'idée moderne de nappe lui vint peut-être à l'esprit, il n'osa en tout cas pas la publier clairement (voir aussi ESCHER 1853 et MURCHISON 1849). GERLACH (1869) dessina une coupe montrant la nappe d'Antigorio, mais il semble qu'il n'y ait vu qu'une singularité locale. RENEVIER (1877) décrivit le pli couché de Morcles, mais seulement sur 6 km, ce qui est trop peu pour faire une nappe. Manifestement, ce concept dépassait encore l'entendement des meilleurs savants.

b) Découverte des nappes

Nous resterons bref, car nous avons déjà consacré à l'histoire de cette découverte un article détaillé (MASSON 1976) et nous aurons d'autres occasions d'y revenir.

La théorie des nappes est tricéphale: trois grands pionniers se sont relayés pour la construire, la développer et la promouvoir jusqu'à ce qu'enfin elle soit acceptée par le monde géologique.

MARCEL BERTRAND (1847–1907) fut l'un des plus brillants géologues français de sa génération (pour d'autres aspects de son œuvre, voir BAILEY 1935 et ELLENBERGER 1982). En 1884, saisi d'une inspiration prophétique, il proposa de substituer au «Doppelfalte» des Alpes glaronnaises un chevauchement de 40 km vers le nord; découverte d'autant plus remarquable qu'il n'avait jamais visité les lieux et basait son interprétation révolutionnaire sur les seules descriptions de HEIM! Hélas ce travail, trop hardi pour l'époque, tomba dans l'incrédulité générale.

HANS SCHARDT (1858–1931) est la figure centrale de cette histoire. Né à Bâle, étudiant puis privat-docent à Lausanne, professeur à Neuchâtel et finalement à Zurich, chaque bout de la Suisse peut réclamer une partie de sa gloire. C'est en 1893 qu'il conçut que les Préalpes sont constituées de plusieurs nappes «exotiques», venues de l'intérieur des Alpes par-dessus l'Helvétique, par un charriage susceptible d'atteindre une centaine de kilomètres. En 1898, il présenta une justification complète et détaillée de sa théorie dans un long article qui est certainement l'un des plus importants de la littérature géologique. SCHARDT y donne toute la mesure de son génie: il ne se contente pas de découvrir quelques grands chevauchements, mais il présente, dans une vision synthétique, une conception entièrement nouvelle de la géologie alpine qui englobe aussi bien la tectonique que la paléogéographie. Les paradoxes stratigraphiques sont résolus, les blocs exotiques des flysch sont expliqués, les klippes élucidées (voir MASSON 1976, p. 535–542). Cette théorie fut accueillie avec autant de scepticisme que de stupeur. Elle fut âprement attaquée par d'éminents géologues. SCHARDT introduisait trop d'idées nouvelles et réclamait de ses lecteurs une maîtrise trop parfaite de la géologie des Alpes.

C'est à MAURICE LUGEON (1870–1953) qu'il appartint de convaincre le monde géologique. Tout d'abord opposé à SCHARDT, il se convertit pendant qu'il rédigeait les conclusions de sa thèse sur les Préalpes du Chablais (1896). Le 17 février 1902, il présenta à Paris, devant un auditoire des plus distingués, sa grandiose synthèse «Les grandes nappes de recouvrement» qui réinterprétait complètement les Alpes de la Savoie à l'Autriche. Il dépeignit les enchaînements des structures et des faciès en des termes si convaincants qu'il enthousiasma ses auditeurs: d'un coup le monde géologique, jusqu'alors hostile, bascula du côté de la nouvelle théorie (pour plus de détails voir MASSON 1976).

c) De la translation des nappes à celle des continents

La théorie des nappes, sitôt acceptée, fut appliquée à toutes les parties des Alpes et à bien d'autres chaînes de montagnes. Pour ces dernières, LUGEON (1903) donna l'exemple en montrant l'existence de nappes dans les Carpathes qu'il ne connaissait que par la littérature. Mais c'est surtout dans l'Helvétique de Suisse occidentale qu'il développa son modèle tectonique (1914–1918). Les Grisons furent également l'objet de recherches très actives qui contribuèrent grandement à améliorer notre compréhension de la structure des Alpes (STEINMANN 1905, STAUB 1916, TRÜMPY 1916).

Mais l'œuvre la plus fascinante de cette époque est certainement celle d'EMILE ARGAND (1879–1940) dans les Alpes pennines du Valais. Ses premières recherches (1908 et 1909) le menèrent à concevoir la brillante synthèse (1911 et 1916) qui reste encore aujourd'hui, en dépit de toutes les critiques, un des fleurons de la tectonique

alpine. Son analyse sortirait du cadre de cette brève revue et nous nous contenterons de renvoyer le lecteur à deux articles récents qui en retracent l'historique (SAVARY 1979, MÜLLER 1982).

Ainsi pendant une vingtaine d'année la nouvelle conception des Alpes préconisée par SCHARDT et LUGEON se précisa, à mesure que l'on réinterprétait région par région les anciennes connaissances en termes de tectonique des nappes, en les complétant par toutes les nouvelles données acquises par les nombreux géologues que stimulaient ces développements théoriques. Ces progrès amenèrent une nouvelle synthèse générale que seul pouvait entreprendre un maître d'une envergure exceptionnelle: ALBERT HEIM, de nouveau lui, dans sa magistrale «Geologie der Schweiz» (1919–1922), œuvre de titan en trois gros volumes, qui faisait le point avec une autorité inégalée sur tout ce qu'on connaissait de la géologie suisse.

Nous terminerons ce trop bref chapitre consacré à la tectonique avec l'œuvre qui représente le véritable aboutissement de la révolution déclanchée par la découverte des nappes: la «Tectonique de l'Asie», l'extraordinaire ouvrage dans lequel ARGAND (1924) dépassa ses théories précédentes sur les Alpes pour montrer comment toute la chaîne alpino-himalayenne avait été créée par la collision du continent eurasiatique avec les fragments éclatés de la Gondwanie. Ainsi ARGAND inscrivit l'origine des montagnes dans le cadre d'une théorie mobiliste générale de la terre. Cette révélation l'amena à introduire des concepts totalement nouveaux qui sont devenus des éléments essentiels de la tectonique globale moderne: formation de l'Himalaya par «sous-charriage» de l'Inde sous l'Asie, rotation de l'Espagne, naissance des géosynclinaux et des océans par disjonction de blocs continentaux (voir MASSON 1976 et SENGÖR 1982), pour n'en citer que quelques-uns. Cette œuvre géniale est le couronnement de la tectonique alpine du début de ce siècle. Il faut bien voir que cet aboutissement implique un changement fondamental de notre conception de la terre: au dogme du raccourcissement de la croûte par contraction thermique, ARGAND substitue, en plein accord avec la théorie toute neuve de WEGENER (1915), un modèle de l'évolution terrestre dominé par les grandes translations de blocs continentaux[5]). Les chaînes de montagnes n'en sont que la conséquence, aux frontières convergentes des continents voyageurs.

6. Conclusion

Relisant les pages qui précèdent, nous ressentons combien notre exposé est incomplet[6]). Il faudrait parler de bien d'autres domaines des sciences géologiques où s'illustrèrent des savants suisses. Il faudrait examiner la pétrographie, qui fut dominée par l'autorité de NIGGLI (p. ex. 1923). Il faudrait mentionner la limnologie, créée sur les rives du Léman par FOREL (1892) et sur laquelle COLLET (1925) écrivit une mise au point très vivante. Il faudrait citer la glaciologie, où se distinguèrent

---

[5]) Déjà en 1916, ARGAND donna à Neuchâtel une conférence sur la théorie de WEGENER. Il estima qu'elle expliquait les observations géologiques beaucoup mieux que les anciennes théories.

[6]) Des indications historiques complémentaires seront publiées dans le compte-rendu de l'excursion A de la Société Géologique Suisse 1982 (à paraître).

quelques grandes figures, tels le même FOREL qui nous laissa dès 1881 ses précieux rapports sur les variations des glaciers dans les Alpes, et MERCANTON auquel on doit un splendide mémoire sur le glacier du Rhône (1916) et qui entreprit des expéditions au Groenland à une époque où c'était encore une aventure. Il faudrait enfin parler de la géologie appliquée, et particulièrement des barrages, dont LUGEON (1933) traita dans un ouvrage classique; ainsi que des grands tunnels, surtout celui du Simplon (1898-1905) pour la construction duquel les autorités s'entourèrent des avis de plusieurs géologues sous l'égide d'une commission constituée par RENEVIER, ALB. HEIM et SCHARDT: on ne saurait mieux choisir!

Nous espérons que le lecteur nous pardonnera ces lacunes: nous n'avons pas visé à être exhaustif, mais plutôt à approfondir certains aspects qui nous sont plus familiers et à dégager quelques tendances de l'évolution de notre science. Notre but sera atteint si cette évocation historique peut aider à prendre conscience de toute la richesse de la géologie suisse et si le lecteur, puisant dans la connaissance du passé des forces pour mieux aborder l'avenir, s'en sent stimulé afin que se maintienne la grande tradition de qualité et d'enthousiasme des géologues de ce pays.

BIBLIOGRAPHIE

ARGAND, E. (1908): Carte géologique du massif de la Dent Blanche. Carte géol. spéc. *52*. - Comm. géol. Suisse.

— (1909): L'exploration géologique des Alpes Pennines centrales. - Bull. Lab. Géol. Lausanne *14* et Bull. Soc. vaud. Sci. nat. *45*, 217-276.

— (1911): Les nappes de recouvrement des Alpes Pennines et leurs prolongements structuraux. - Matér. Carte géol. Suisse [n.s.] *31*.

— (1916): Sur l'arc des Alpes Occidentales. - Eclogae geol. Helv. *14*, 145-191.

— (1924): La tectonique de l'Asie. - Congr. géol. int., 13e s. (Belgique 1922) *1*/5, 171-372.

— (1934): Carte géologique de la région du Grand Combin. Carte géol. spéc. *93*. - Comm. géol. Suisse.

ARNI, P. (1933): Foraminiferen des Senons und Untereocäns im Prätigauflysch. - Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] *65*.

BAILEY, E.B. (1935): Tectonic essays, mainly alpine. - Clarendon, Oxford.

BALTZER, A. (1880): Der mechanische Contact von Gneiss und Kalk im Berner Oberland. - Beitr. geol. Karte Schweiz *20*.

BECK, P., & GERBER, E. (1925): Geologische Karte Thun-Stockhorn. Geol. Spez.-Karte *96*. - Schweiz. geol. Komm.

BERTRAND, M. (1884): Rapports de structure des Alpes de Glaris et du bassin houiller du Nord. - Bull. Soc. géol. France (3), *12*, 318-330.

BUCH, L. VON (1839): Muschelkalk von St. Triphon. - N. Jb. Mineral. *1839*, 696-698.

BUXTORF, A., TOBLER, A., NIETHAMMER, G., BAUMBERGER, E., ARBENZ, P., & STAUB, W. (1916): Geologische Vierwaldstättersee-Karte. Geol. Spez.-Karte *66*. - Schweiz. geol. Komm.

CADISCH, J., BRAUCHLI, R., EUGSTER, H., FREY, P., GLASER, W., LEUPOLD, W., & OTT, E. (1922-1930): Geologische Karte von Mittelbünden. Geol. Spez.-Karte *94*, A-F. - Schweiz. geol. Komm.

COLLET, L.W. (1925): Les lacs. - Doin, Paris.

COLLET, L.W., & PAREJAS, E. (1928): Carte géologique de la chaîne de la Jungfrau. Carte géol. spéc. *113*. - Comm. géol. Suisse.

CORBIN, P., & OULIANOFF, N. (1927-1969): Carte géologique du massif du Mont-Blanc à l'échelle du 1:20000. - Barrère - CNRS, Paris.

CORNELIUS, H.P. (1931): Geologische Karte der Err-Julier-Gruppe. Geol. Spez.-Karte *115*, a et b. - Schweiz. geol. Komm.

ELLENBERGER, F. (1958a): Sur quelques fossiles triasiques du Pennique frontal valaisan. - C.R. Soc. géol. France *1958*, 168-170.
— (1958b): Etude géologique du pays de Vanoise. - Mém. Carte géol. France.
— (1982): Marcel Bertrand et «l'orogenèse programmée». - Geol. Rdsch. *71*, 463-474.
ESCHER, A. (1841): Geologische Karte des Cantons Glarus. - Verh. schweiz. natf. Ges. *26*, 54-62.
— (1853): Geologische Bemerkungen über das nördliche Vorarlberg und einige angrenzenden Gegenden. - N. Denkschr. schweiz. Ges. Natw. *13*.
FAVRE, A (1849): Notice sur la géologie de la vallée du Reposoir en Savoie et des roches contenant des ammonites et des bélemnites superposées à du terrain nummulitique. - Arch. Sci. phys. nat. (Genève) *11*, 114-120.
— (1859): Mémoire sur les terrains liasiques et keupériens de la Savoie. - Mém. Soc. Phys. Hist. nat. Genève *15*.
— (1880): Expériences sur les effets des refoulements. - Congr. int. Géol. (Paris 1978), p.35-38.
FAVRE, E., & SCHARDT, H. (1887): Description géologique des Préalpes du canton de Vaud et du Chablais. - Matér. Carte géol. Suisse *22*.
FELLENBERG, E. VON (1893): Geologische Beschreibung des Westlichen Theils des Aarmassivs I. - Beitr. geol. Karte Schweiz *21*.
FLEURY, E. (1909): Le sidérolithique suisse. - Mém. Soc. fribourg. Sci. nat. *6*.
FOREL, F.-A. (1881): Les variations périodiques des glaciers des Alpes. - L'Echo des Alpes *17*/1, 20-46.
— (1892-1904): Le Léman. - Rouge, Lausanne.
FOURNET, J. (1850): Note sur quelques résultats d'une excursion dans les Alpes, faite en août et septembre 1849. - Bull. Soc. géol. France (2), *7*, 548-554.
GAGNEBIN, E. (1925): Carte géologique des Préalpes entre Montreux et le Moléson et du Mont Pèlerin. Cartes géol. spéc. *99*. - Comm. géol. Suisse.
GERLACH, H. (1864): Carte géologique de la chaîne méridionale du Valais. - Arch. Sci. phys. nat. (Genève) [n.p.] *21*, 152-153.
— (1869): Die Penninischen Alpen. - N. Denkschr. schweiz. natf. Ges. *23*.
GILLIERON, V. (1885): Description géologique des territoires de Vaud, Fribourg et Berne compris dans la feuille XII. - Matér. Carte géol. Suisse *18*.
GREPPIN, E. (1888): Description des fossiles de la Grande Oolithe des environs de Bâle. - Mém. Soc. paléont. suisse *15*.
HARPE, P. DE LA (1880): Etude des nummulites de la Suisse. - Mém. Soc. paléont. suisse *7*.
HEIM, ALB. (1878): Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung. - Schwabe, Basel.
— (1905): Säntisgebiet. Geol. Spez.-Karte *38*. - Schweiz. geol. Komm.
— (1919-1922): Geologie der Schweiz. - Tauchnitz, Leipzig.
HEIM, ARN. (1910-1917): Monographie der Churfirsten-Mattstock-Gruppe. - Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] *20*.
— (1924): Über submarine Denudation und chemische Sedimente. - Geol. Rdsch. *15*, 1-47.
HEIM, ARN., & OBERHOLZER, J. (1907): Geologische Karte der Gebirge am Walensee. Geol. Spez.-Karte *44*. - Schweiz. geol. Komm.
HEIM, ARN., & SEITZ, O. (1934): Die Mittlere Kreide in den helvetischen Alpen von Rheintal und Vorarlberg und das Problem der Kondensation. - Denkschr. schweiz. natf. Ges. *49*/2.
HOTZ, W. (1931): Les cartes géologiques et tectoniques de la Suisse. - Matér. Carte géol. Suisse [n.s.] *62*.
HUGI, E. (1900): Die Klippenregion von Giswyl. - Denkschr. schweiz. natf. Ges. *36*/2.
JEANNET, A. (1908): Contribution à l'étude du flysch. - Bull. soc. vaud. Sci. nat. *44*, XLV.
— (1909): La nappe rhétique dans les Préalpes vaudoises. - C.R. Acad. Sci. (Paris) *148*, 246-248.
— (1912-1918): Monographie géologique des Tours d'Aï. - Matér. Carte géol. Suisse [n.s.] *34*.
KAUFMANN, F.J. (1886): Emmen- und Schlierengegenden nebst Umgebungen. - Beitr. geol. Karte Schweiz *24*/1.
KELLER, W.T., & LINIGER, R.H. (1930): Feuilles Movelier-Soyhières-Delémont-Courrendlin. Atlas géol. Suisse 1:25000, no 1. - Comm. géol. Suisse.
KOBY, F. (1880-1889): Monographie des polypiers jurassiques de la Suisse. - Mém. Soc. paléont. suisse *7* à *16*.
KREBS, J. (1925): Geologische Karte der Blümlisalpgruppe. Geol. Spez.-Karte *98*. - Schweiz. geol. Komm.

LEUPOLD, W. (1933): Neue mikropaläontologische Daten zur Altersfrage der alpinen Flyschbildungen. - Eclogae geol. Helv. *26*, 295-319.

LORIOL, P. DE (1889): Etudes sur les mollusques des couches coralligènes inférieures du Jura bernois. - Mém. Soc. paléont. suisse *16*.

LUGEON, M. (1894): Géologie de la région de la Brèche du Chablais. - Bull. Soc. vaud. Sci. nat. *30*, II.

— (1896): La région de la Brèche du Chablais. - Bull. Serv. Carte géol. France *7*/49, 337-646.

— (1902a): Les grandes nappes de recouvrement des Alpes du Chablais et de la Suisse. - Bull. Soc. géol. France (4), *1*, 723-825.

— (1902b): Les grandes dislocations et la naissance des Alpes suisses. - Eclogae geol. Helv. *7*, 335-346.

— (1903): Les nappes de recouvrement de la Tatra et l'origine des Klippes des Carpathes. - Bull. Lab. Géol. Lausanne *4* et Bull. Soc. vaud. Sci. nat. *39*, 17-63.

— (1910): Carte géologique des Hautes-Alpes calcaires entre la Lizerne et la Kander. Carte géol. spéc. *60*. - Comm. géol. Suisse.

— (1914-1918): Les Hautes Alpes calcaires entre la Lizerne et la Kander. - Matér. Carte géol. Suisse [n.s.] *30*.

— (1933): Barrages et géologie. - Rouge, Lausanne.

MAILLARD, G. (1892): Monographie des mollusques tertiaires terrestres et fluviatiles de la Suisse. - Mém. Soc. paléont. suisse *18*.

MARGERIE, E. DE, & HEIM, ALB. (1888): Les dislocations de l'écorce terrestre. - Wurster, Zurich.

MARTHALER, M. (1981): Découverte de foraminifères planctoniques dans les «schistes lustrés» de la pointe de Tourtemagne (Valais). - Bull. Géol. Lausanne *254*.

MASSON, H. (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.

MERCANTON, P.-L. (1916): Vermessungen am Rhonegletscher. - N. Mém. Soc. helv. Sci. nat. *52*.

MILNES, A.G. (1979): Albert Heim's general theory of natural rock deformation (1878). - Geology *7*, 99-103.

MOESCH, C. (1881): Geologische Beschreibung der Kalkstein- und Schiefergebirge der Kantone Appenzell, St.Gallen, Glarus und Schwyz. - Beitr. geol. Karte Schweiz *14*/3.

— (1894): Geologische Beschreibung der Kalk- und Schiefergebirge zwischen dem Reuss- und Kienthal. - Beitr. geol. Karte Schweiz *24*.

MÜHLBERG, F. (1915): Geologische Karte des Hauensteingebietes. Geol. Spez.-Karte *73*. - Schweiz. geol. Komm.

MUHLETHALER, C. (1930): Feuilles La Chaux-Les Verrières. Atlas géol. Suisse 1:25000, no2. - Comm. géol. Suisse.

MÜLLER, R. (1982): Die tektonische Erforschung der Penninischen Alpen. - Eclogae geol. Helv. *75*, 447-479.

MURCHISON, R.I. (1849): On the geological structure of the Alps, Apennines, and Carpathians. - Quart. J. geol. Soc. London *5*, 157-312.

NIGGLI, P. (1923): Gesteins- und Mineralprovinzen. - Borntraeger, Berlin.

OBERHOLZER, J. (1920): Geologische Karte der Alpen zwischen Linthgebiet und Rhein. Geol. Spez.-Karte *63*. - Schweiz. geol. Komm.

PANTIĆ, N., & GANSSER, A. (1977): Palynologische Untersuchungen in Bündnerschiefern. - Eclogae geol. Helv. *70*, 59-81.

PFENDER, J. (1934): A propos du Siderolites Vidali Douvillé et de quelques autres. - Bull. Soc. géol. France (5), *4*, 225-236.

QUENSTEDT, A. (1838): Hilsthon in Franken und Schweiz; Muschelkalk der Schweiz. - N. Jb. Mineral. *1838*, 315.

QUEREAU, E. (1893): Die Klippenregion von Iberg (Sihlthal). - Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] *3*.

RABOWSKI, F. (1920): Les Préalpes entre le Simmental et le Diemtigtal. - Matér. Carte géol. Suisse [n.s.] *35*.

RENEVIER, E. (1856): Résumé des travaux de Mr. D. Scharpe sur le clivage et la foliation des roches. - Bull. Soc. vaud. Sci. nat. *4*, 379-388.

— (1873/74): Tableau des terrains sédimentaires. - Bull. Soc. vaud. Sci. nat. *12* et *13*.

— (1877): Notice sur ma carte géologique de la partie Sud des Alpes vaudoises et régions limitrophes. - Arch. Sci. phys. nat. (Genève) *59*, 5-49.

— (1890): Monographie géologique des Hautes-Alpes calcaires. - Matér. Carte géol. Suisse *16*.

— (1891): Origine et âge du gypse et de la cornieule des Alpes vaudoises. - Bull. Soc. vaud. Sci. nat. *27*, 45-63, et Eclogae geol. Helv. *2*, 229-247.
— (1893): Géologie des Préalpes de la Savoie. - Eclogae geol. Helv. *4*, 53-73.
— (1897): Chronographe géologique. - Congr. géol. int., 6e s. (Zurich 1894), p. 521-695.
RENEVIER, E., & LUGEON, M. (1892): Géologie du Chablais et Faucigny-Nord. - Eclogae geol. Helv. *3*, 293-298.
RITTENER, T. (1892): Note sur les cornieules du Pays-d'Enhaut. - Bull. Soc. vaud. Sci. nat. *28*, 9-27, et Eclogae geol. Helv. *3*, 9-27.
ROLLIER, L. (1894): Carte géologique des environs de St-Imier. Carte géol. spéc. *4*. - Comm. géol. Suisse.
— (1898): Deuxième supplément à la description géologique de la partie jurassienne de la feuille VII. - Matér. Carte géol. Suisse [n.s.] *8*.
SAVARY, B. (1979): Les recherches géologiques au front de la nappe du Grand-Saint-Bernard dans le Valais central (Suisse), du XVIe au milieu du XXe siècle. - Bull. Lab. Géol. Lausanne *235* et Bull. Soc. vaud. Sci. nat. *74*, 259-281.
SCHARDT, H. (1884): Etudes géologiques sur le Pays-d'Enhaut vaudois. - Bull. Soc. vaud. Sci. nat. *20*, 1-183.
— (1891): Excursion de la Société géologique suisse dans les Préalpes fribourgeoises et vaudoises. - Eclogae geol. Helv. *2*, 528-569.
— (1893): Sur l'origine des Préalpes romandes. - Arch. Sci. phys. nat. (3), *30*, 570-583.
— (1898): Les régions exotiques du versant N des Alpes suisses. - Bull. Soc. vaud. Sci. nat. *34*, 114-219.
SCHMIDT, C., & PREISWERK, K. (1908): Geologische Karte der Simplon-Gruppe. Geol. Spez.-Karte *48*. - Schweiz. geol. Komm.
SENGÖR, A.M.C. (1982): A note on a late revision of the theory of embryotectonics by Argand himself. - Eclogae geol. Helv. *75*, 177-188.
SPITZ, A., & DYHRENFURTH, G. (1915): Geologische Karte der Engadiner Dolomiten. Geol. Spez.-Karten. - Schweiz. geol. Komm.
STAUB, R. (1916): Zur Tektonik der südöstlichen Schweizeralpen. - Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] *46*/1.
— (1925): Geologische Karte des Avers. Geol. Spez.-Karte *97*. - Schweiz. geol. Komm.
STEHLIN, H.G. (1903-1916): Die Säugetiere des schweizerischen Eocaens. - Abh. schweiz. paläont. Ges. *30-33*, *35-37* et *41*.
— (1909): Remarques sur les faunules de mammifères des couches éocènes et oligocènes du bassin de Paris. - Bull. Soc. géol. France (4), *9*, 488-520.
— (1914): Übersicht über die Säugetiere der schweizerischen Molasseformation, ihre Fundorte und ihre stratigraphische Verbreitung. - Verh. natf. Ges. Basel *25*, 179-202.
STEINMANN, G. (1905): Geologische Beobachtungen in den Alpen II. - Ber. natf. Ges. Freiburg i.Br. *16*, 18-67.
STUDER, B. (1851-1853): Geologie der Schweiz. - Bern-Zurich.
TRÜMPY, D. (1916): Geologische Untersuchungen des westlichen Rhätikon. - Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] *46*/2.
VAN DEN BROECK, E. (1881): Mémoire sur les phénomènes d'altération des dépôts superficiels par l'infiltration des eaux météoriques. - Mém. couronnés Mém. Sav. étr. (Bruxelles) *44*.
WEBER, F. (1924): Geologische Karte des Tödi-Vorderrheintal-Gebietes. Geol. Spez.-Karte *100*. - Schweiz. geol. Komm.
WEGENER, A. (1915): Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. - Vieweg, Braunschweig.
WETTSTEIN, A. (1886): Über die Fischfauna des Tertiaeren Glarnerschiefers. - Abh. schweiz. paläont. Ges. *13*.