

TRAVAUX DU COMITÉ FRANÇAIS D'HISTOIRE DE LA GÉOLOGIE (COFRHIGÉO)

TROISIÈME SÉRIE, t. XXIII, 2009, n° 7
(séance du 9 décembre 2009)

Jean-Paul SCHAER

*Contributions géologiques d'une société scientifique de province :
la Société des Sciences naturelles de Neuchâtel*

Résumé. Fondée en 1832 par Agassiz et ses compagnons, la *Société des Sciences naturelles de Neuchâtel* (SNSN) édite depuis cette date des *Mémoires* et des *Bulletins*, deux séries encore vivantes de nos jours. La géologie, essentiellement consacrée au Jura, y occupe une place de choix surtout à l'époque où Schardt y publie de nombreuses notes régionales (morphologiques, stratigraphiques, hydrologiques mais surtout structurales). À ce niveau, il montre la fréquence des décrochements et charriages dans la couverture plissée, un domaine où Gressly avait montré qu'il était possible de prévoir avec une bonne approximation la structure interne des plis. Au niveau des dépôts glaciaires, les articles de Léon du Pasquier (lac glaciaire du Val-de-Travers, moraine latérale du glacier du Rhône, indices des glaciations antérieures, protections des blocs erratiques) représentent des contributions particulièrement innovantes. Les recherches en hydrologie, motivées par un manque d'eau chronique, font état de la complexité des écoulements des nappes calcaires du Jurassique supérieur retenues par l'importante série marneuse de l'Argovien. Les particularités du débit des sources karstiques et de leur chimie sont mises en relation avec les effets de la grande hétérogénéité de la perméabilité des calcaires plissés (grande perméabilité de rares chenaux et faible perméabilité liée aux fines fractures omniprésentes). En morphologie, les effets de la dissolution des calcaires sont comparés à l'ablation fluviale provoquée par de très fortes précipitations ; les apports éoliens durant les périodes glaciaires sont mis en évidence.

Mots-clés: Géologie – société savante – Jura – Suisse – publications – cartes géologiques – tectonique – glaciologie – hydrogéologie – XIX^e s. – XX^es.

Abstract. In 1832, just after his arrival in Neuchâtel, Agassiz with a few young naturalists, founded the local Society of Natural Sciences (SNSN) who shortly after started publishing *Memoirs* and later *Bulletins* (both series still exist). In them, geology, especially that of the Jura, occupies a prominent place, with the publication of local geological maps and many notes on structure, stratigraphy, water resources, karst morphology and glacial deposits. On glacial deposits, rather few papers were signed by Agassiz unlike du

Pasquier who studied the extension of the last glaciation in the Jura, analysed the glacial lake of the Val-de-Travers and the successive glacial periods that affected the region. He also played an active part in the protection of erratic blocks. Henri Ladame associated climate changes with astronomic perturbations, and despite his relations with Agassiz, he made no reference that they could produce the ice age ; instead he proposed that they are responsible for the formation of mountain ranges. In the very active field of structural geology, Gressly proved that, with sound mapping, it is possible to forecast, to a good approximation, the internal structure of the Jura folds. In his many notes, Schardt showed that the folded Jura cover is strongly affected by faults (wrench and thrust faults). Chronic shortage of water motivated early investigations to understand water behaviour in the Jurassic limestones. The relation between shallow holes and karstic springs has been confirmed, the speed of the water flow estimated, the impermeable role of the different marl formations appreciated. With time, the particularity of the flow rate of the karstic springs and their chemistry have been related to the very heterogeneous permeability of the folded limestone (high permeability of relatively rare channels and low permeability of the tight but very frequent small fissures). Quantification of chemical dissolution of limestone and erosion during heavy rain have been presented, whereas aeolian deposits related to glacial periods observed in the Jura mountains.

Key words: geology – learned society – Jura – Switzerland – publications – geological mapping – tectonics – glaciology – hydrogeology– 19th century – 20th century..

Avertissement

Cette note se place dans la continuité d'un travail (Schaer 1998) où les géologues, acteurs du développement de la géologie neuchâteloise, sont présentés avec l'analyse de quelques-uns de leurs travaux. Ici, nous nous sommes surtout attaché à examiner cette production scientifique dans le cadre de la *Société des Sciences naturelles de Neuchâtel*, une institution démocratique animée par un esprit de milice, où les acteurs étaient persuadés que l'essor des sciences contribuait au bien-être de tous et qu'il était souhaitable que ceux qui en avaient les moyens se dévouent à cette cause dans un esprit de collaboration interdisciplinaire. Cet idéal, servi par des personnalités généreuses de haut rang, a conduit, dans un environnement physique et intellectuel favorable, à l'éclosion de travaux étonnants au regard de la petite cité de Neuchâtel. Ce nouveau travail n'a pas pu éviter des redites par rapport à son prédécesseur ; nous espérons qu'elles seront acceptées du fait qu'elles sont examinées dans une perspective fort différente.

Prélude

En 1832, la petite cité de Neuchâtel, alors forte d'environ 5 000 habitants, chef-lieu d'une principauté du roi de Prusse mais alliée de la Confédération Helvétique, fait appel à Louis Agassiz (1807-1873) pour que le jeune savant, qui est soutenu par Alexandre Humboldt, vienne enseigner les sciences naturelles dans son collège en réorganisation. En quelques années, Agassiz qui s'est déjà fait reconnaître par des travaux sur les poissons actuels et qui a annoncé

ses vastes projets touchant les poissons fossiles, va transformer cette petite cité de province en un centre scientifique largement reconnu. Avant son arrivée, la région neuchâteloise s'était déjà distinguée par les travaux scientifiques de personnalités de passage ou par ceux de citoyens revenus au pays. Mais toutes ces activités s'étaient déroulées en dehors de toute structure officielle locale. À cette époque, ces naturalistes actifs étaient principalement des botanistes et des géologues. Parmi les premiers, on peut citer Jean-Jacques Rousseau (1712-1778), Albrecht de Haller (1708-1777) ; en géologie, Louis Bourguet (1678-1742), Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799) et Jean-André de Luc (1727-1817) s'étaient distingués par les premières reconnaissances, souvent très pertinentes, des roches, des fossiles et de l'hydrologie karstique locale. Au tout début du XIX^e siècle, Leopold von Buch (1774-1853), envoyé comme expert par le roi de Prusse pour évaluer le potentiel économique de charbons tertiaires découverts dans la vallée du Locle, montre que ceux-ci sont sans grand intérêt. Les recherches qu'il entreprend à cette occasion le conduisent à établir, entre autres, le remarquable catalogue des roches de la région, présenté sous la forme d'un inventaire de la succession locale des couches sédimentaires.

Fondation de la *Société des Sciences naturelles de Neuchâtel* (1832)

Dès son arrivée, en très peu de temps, Agassiz parvient à transformer ce jardin déjà éveillé en un centre scientifique de réputation internationale. Il attire à lui de jeunes chercheurs dont plus d'un ne tardent pas à se distinguer par leurs travaux au niveau local et très souvent international, comme Karl Schimper (1803-1867), Édouard Desor (1811-1882), Arnold Guyot (1807-1884) Adolphe-Célestin Nicolet (1803-1871), Auguste de Montmollin (1808-1898), Karl Vogt (1817-1895), Amanz Gressly (1814-1865) et Jules Marcou (1824-1898). Dans cette petite ville, où les voyages lointains pratiqués par quelques commerçants locaux ont éveillé une certaine curiosité pour la diversité de la nature, Agassiz parvient très rapidement avec l'aide de Louis Coulon (1804-1899), marchand, mécène et naturaliste, à rassembler des bonnes volontés pour amplifier ses propres intérêts. Dès l'année de son arrivée, en 1832 déjà, un groupe de jeunes scientifiques actifs en sciences naturelles, en médecine ou en sciences exactes fondent la Société des sciences de Neuchâtel comprenant quatre sections : a) Physique-chimie-mathématiques, b) Histoire naturelle, c) Sciences médicales et d) Économie rurale-technologie-statistique. Les buts de la Société, précisés dès sa fondation, visent à atténuer l'isolement d'une petite communauté, à faciliter les contacts interdisciplinaires, à établir des contacts avec d'autres sociétés, à faciliter l'enseignement des sciences dans les écoles publiques et les échanges entre les membres. Toutes ces actions sont entreprises en miliciens dans le dessein de servir la société civile des bienfaits qu'apportent les sciences. Dès sa création et tout au long de son existence, la Société sera principalement active dans les domaines de la géologie et de la biologie. Par l'action de quelques personnalités, les connaissances géologiques régionales et générales font l'objet d'un heureux développement entraînant un important groupe d'amateurs

curieux d'étendre leurs connaissances de l'environnement local et de bénéficier de ses possibles ressources.

Les publications : *Mémoires et Bulletins*

Dès sa fondation en 1832, la Société décide de faire paraître une série de *Mémoires* où sont publiés les procès-verbaux de ses séances, des travaux originaux de ses membres ainsi que des comptes rendus d'œuvres scientifiques de savants étrangers. Les trois premiers tomes de ces *Mémoires* couvrant la période 1835-1845 se distinguent par le luxe de l'édition, leur grand format, un beau papier et de belles planches, dont certaines sont en couleurs ; dès le second volume, son illustration sort de l'atelier d'Hercule Nicolet (1801-1872) qu'Agassiz a fait venir de Paris pour assurer la haute qualité de sa production scientifique. Les *Mémoires* sont destinés à tenir les membres de la Société au courant de ses travaux et offrir un moyen de prompt publicité pour attirer les observateurs du monde scientifique. Le prix élevé du volume, 20 francs (suisses) de l'époque, aboutit à un échec partiel. Trop cher pour de nombreux amateurs, il limite la diffusion locale, et les nombreux dons et échanges effectués en Suisse et à l'étranger représentent une lourde charge financière pour la Société. À partir de 1845, des *Bulletins* de taille plus modeste, moins luxueux, remplacent les premiers *Mémoires* ; ils deviendront annuels en 1883, contenant les comptes-rendus des séances, des communications, de petits mémoires, des rapports des activités scientifiques locales ou fédérales. Entre 1874 et la période actuelle, de nouveaux *Mémoires* (volumes 4 à 12) sont publiés de façon irrégulière, le plus souvent pour faire le point sur un sujet bien précis, par des contributions collectives ou celles d'un seul auteur ou pour assurer des contributions demandant un grand format. La *Société des Sciences naturelles de Neuchâtel*, qui deviendra *Société neuchâteloise des Sciences naturelles* à partir de 1893, pratique une politique de publication assez semblable à celle des autres sociétés suisses de sciences naturelles cantonales ou locales qui sont toutes regroupées sous l'égide de la *Société helvétique des Sciences naturelles*.

Le départ d'Agassiz aux États-Unis, bientôt suivi par celui de plusieurs de ses compagnons, porte un sérieux coup à la *Société des Sciences naturelles de Neuchâtel*. Il se trouve encore amplifié par la révolution neuchâteloise de 1848, conduisant à l'abolition des liens avec la Prusse, mais aussi à la fermeture de l'Académie. Fort heureusement, Desor revient bientôt au pays et avec l'appui de Louis Coulon (1777-1855), il reprend ses recherches dans le domaine glaciaire et sur les oursins ; il entraîne d'anciens compagnons et de jeunes chercheurs à reprendre l'investigation du pays tout en gardant un regard sur les recherches géologiques pratiquées à l'étranger avec le bénéfice de l'expérience qu'il a gagnée en Suède et en Amérique. Il ne tarde pas à s'engager en archéologie, un sujet qui deviendra sa nouvelle passion. Ses connaissances géologiques, stratigraphiques et paléontologiques, mais surtout sa soif de savoir et son désir d'égaliser le rôle moteur qu'Agassiz avait joué, le conduisent bientôt à un rôle dominant dans la communauté scientifique locale et à être le principal animateur de la

Société. La publication du volume 4 des *Mémoires* marque le renouveau des publications de prestige de la Société avec: *Le bel âge du bronze* (Desor et Favre, 1874), les travaux de Perceval de Loriol sur les échinides, les *Etudes géologiques sur le Jura neuchâtelois* (Desor et Gressly, 1859) ainsi que les *Recherches géologiques et paléontologiques dans le Jura neuchâtelois* (de Tribolet, 1874). La géologie reste encore très présente dans les publications de la Société jusque dans la première décennie du XX^e siècle et elle le sera tout particulièrement à l'époque où Hans Schardt (1858-1931) enseigne à Neuchâtel (1897-1911). Elle perd sa position dominante au profit des sciences biologiques (parasitologie, botanique) lorsqu'Émile Argand (1879-1940) puis Eugène Wegmann (1898-1982) assurent l'enseignement de la géologie à l'université de Neuchâtel.

Cartes géologiques (cf. Schaer, 1998)

Les cartes géologiques en couleurs apparaissent dès la publication du second *Mémoire*. C'est d'abord celle de Montmollin (1839), un remarquable document établi sur la base de la carte topographique de la Principauté de Neuchâtel dressée par Jean-Frédéric d'Ostervald (1773-1850) à 1: 96 000, qui se signale par l'élégance de son graphisme, l'heureux choix des couleurs et une remarquable connaissance des particularités géologiques de l'ensemble du pays pour l'époque. Elle a été précédée par des profils géologiques du même auteur publiés dans le premier *Mémoire* de la Société pour accompagner l'article qu'il a consacré au terrain crétacé du Jura (de Montmollin, 1835). Ces deux documents paraissent fortement inspirés par les travaux de Jules Thurmann (1804-1855) effectués dans le Jura bernois voisin, où ce savant a imposé l'idée que le plissement est la conséquence de cratères de soulèvement. L'accentuation de l'échelle verticale par rapport à l'échelle horizontale pratiquée dans les profils renforce l'allure éjective des structures et donne du poids à cette proposition.

La carte géologique de La Chaux-de-Fonds à l'échelle 1 : 3 000 établie par A. C. Nicolet, pharmacien, sur une base du plan réduit de J.-P. Évard, gravé par Hercule Nicolet, accompagne un texte de plus de vingt pages présentant une analyse soignée des assises sédimentaires du haut Jura neuchâtelois en donnant une attention toute particulière aux dépôts crétacés et tertiaires.

Dans le cadre des recherches effectuées pour l'établissement de la ligne de chemin de fer reliant le bord du lac de Neuchâtel aux zones internes de la chaîne, Desor et Gressly (1859) établissent une carte géologique de la partie orientale du Jura neuchâtelois sur la base d'une carte manuscrite d'Ostervald à 1 : 25 000. Ce document, où le relief est exprimé par des courbes de niveau (probablement une première en géologie), conduit Gressly, l'auteur effectif de ce travail, à établir la position précise des limites des formations géologiques non seulement dans le plan horizontal mais également en fonction des altitudes. Il dessine ainsi un document qui, par projection géométrique, permet de construire avec une belle précision l'allure des plis à

l'intérieur de la montagne devant être traversée en tunnel par les voies ferrées. Après le percement des tunnels, il peut présenter, avec une certaine fierté, une planche où est comparée sa prédiction de la structure profonde avec les données établies après le percement des tunnels.

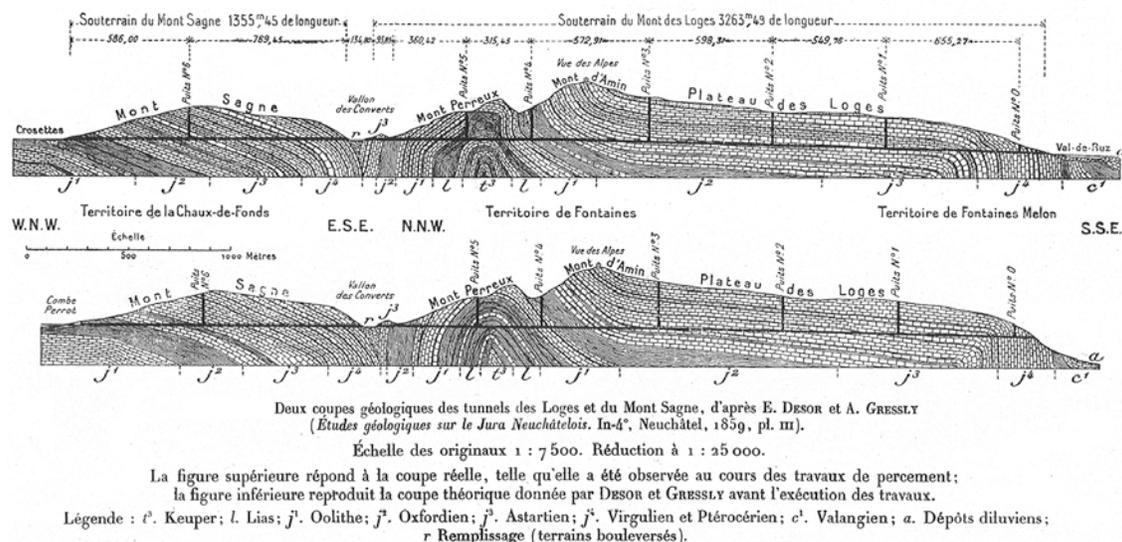


Fig. 1. Profils géologiques à travers le Jura neuchâtelois (tunnels ferroviaires des Loges et du Mont-Sagne), établis par Amanz Gressly. La coupe théorique établie avant le percement (partie inférieure de la figure) a été confirmée lors des travaux (coupe réelle, partie supérieure de la figure) (Desor et Gressly, 1859). [La présente figure est reproduite d'après E. de Margerie (1922) : *Le Jura*, Fig. 70.]

Ces documents, établis en respectant les échelles verticales, représentent un pas important de l'analyse structurale illustrant la fiabilité de la prédiction, un premier pas pour aborder les questions de leur origine et de leur évolution morphologique dans le temps.

En 1887, deux cartes géologiques générales du canton seront publiées par deux auteurs différents. Auguste Jaccard (1833-1895) utilise les levés qu'il a effectués pour la Commission géologique suisse entre 1860 et 1877, afin de présenter une carte qui se veut populaire et d'un prix abordable. Ce document (Jaccard, 1887, à l'échelle approximative 1 : 172 000) paraît accompagné de profils et d'un texte relatant l'historique de la cartographie géologique régionale. À cette occasion, Jaccard mentionne qu'il a colorié une carte des bassins hydrographiques du canton à l'échelle 1 : 100 000 « pour montrer les relations intimes existant entre l'apparition des sources et la constitution géologique du pays. Il souligne que, dans un pays où une large part du sol, dépourvu de sources est occupée par les roches calcaires du Jurassique supérieur, il est inutile d'y chercher de l'eau ». Cette carte, non publiée, n'a pas été retrouvée. À la même époque (1870-1873), Maurice de Tribolet (1852-1929) et Philippe de Rougemont (1850-1881) publient eux aussi une carte géologique du canton de Neuchâtel sur la base topographique de la carte de Mandrot à l'échelle 1 : 100 000. Tribolet destine principalement ce document de belle

facture (cf. Schaer, 1998) aux écoles où, pour un temps, un modeste enseignement de géologie est dispensé. Ces deux initiatives cartographiques s'inscrivent donc toutes deux dans cette politique que la SNSN avait placée dans ses priorités au moment de sa fondation : favoriser l'accès de chacun aux bienfaits de la science et soutenir l'enseignement des sciences. On doit cependant regretter que, par manque de coordination, deux documents rivaux mais semblables furent produits.

La carte géologique des gorges de l'Areuse (Schardt et Dubois, 1902-1903), sur fond topographie de Borel et Dubois à 1 : 15 000, couvre l'une des zones les plus sauvages du Pays de Neuchâtel. Ce document et l'important texte qui l'accompagne représentent une contribution majeure de la géologie neuchâteloise de l'époque, illustrant parfaitement la complexité du secteur cartographié dans ses aspects stratigraphiques, structuraux et morphologiques avec une attention soutenue à l'hydrologie et aux dépôts quaternaires. Il est complété par de très nombreuses coupes dont de beaux profils en couleurs illustrant la structure de deux anticlinaux enserrant un synclinal pincé, marqué par de nombreux replis disharmoniques.

Erwin Rickenbach (1926) est l'auteur d'une excellente thèse de géologie régionale consacrée à la partie amont du Val-de-Travers. Entrepris sous la direction de Schardt, publié dans le *Bulletin*, ce travail comporte une remarquable carte géologique en couleur, à 1 : 25 000, une grande planche de profils et une carte structurale présentant la topographie de la base du Séquanien au moyen de courbes de niveau. Cette figuration, peu ou pas utilisée dans les travaux académiques de l'époque, a connu un grand succès dans l'exploration pétrolière où ce chercheur a poursuivi sa carrière.

En dehors de nombreuses cartes géologiques en noir et blanc illustrant principalement certains aspects géologiques et morphologiques du Jura ou plus rarement d'autres régions, le *Bulletin* a publié deux documents en couleurs relatifs à des thèses entreprises dans le Pennique valaisan sous la direction d'Argand : une planche en couleurs du travail de Wegmann (1923) illustre, par des profils, la nature des roches et leurs relations structurales au front de la nappe du Saint-Bernard dans le Val d'Hérence, alors que le travail de Te-kan Huang (1935) comporte une carte géologique à 1 : 25 000 de la région du Weissmies-Portjengrat à l'est de la vallée de Saas.

Tectonique du Jura

À l'époque de la création de la SNSN, le plissement du Jura est associé aux effets de poussée verticale d'origine volcanique. À Neuchâtel, l'idée de poussées latérales s'impose peu à peu, en partie par les arguments de Guyot qui s'est converti à cette vision après les visites qu'il a effectuées dans les Appalaches. Pour beaucoup, le Jura est alors considéré comme un tapis sédimentaire continu mais plissé, ne présentant aucune déchirure importante. Les profils de Jaccard à travers le pays illustrent l'état de cette vision.

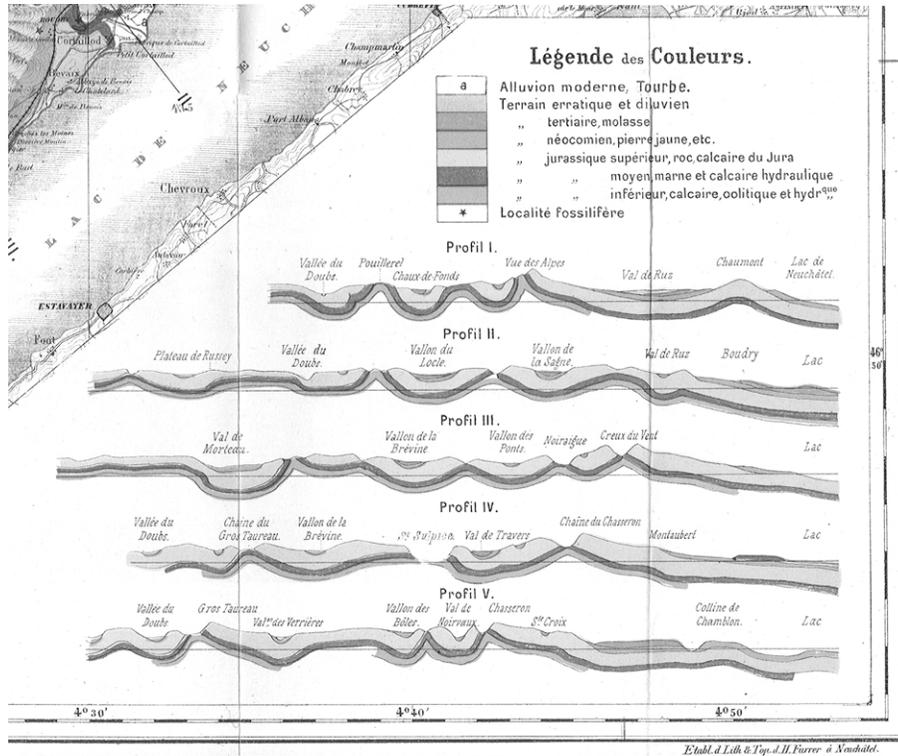
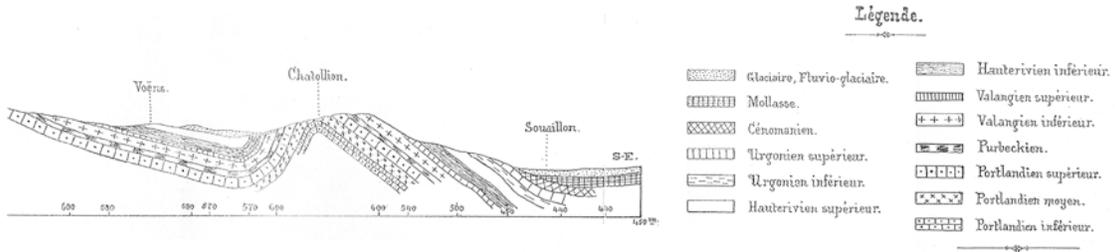


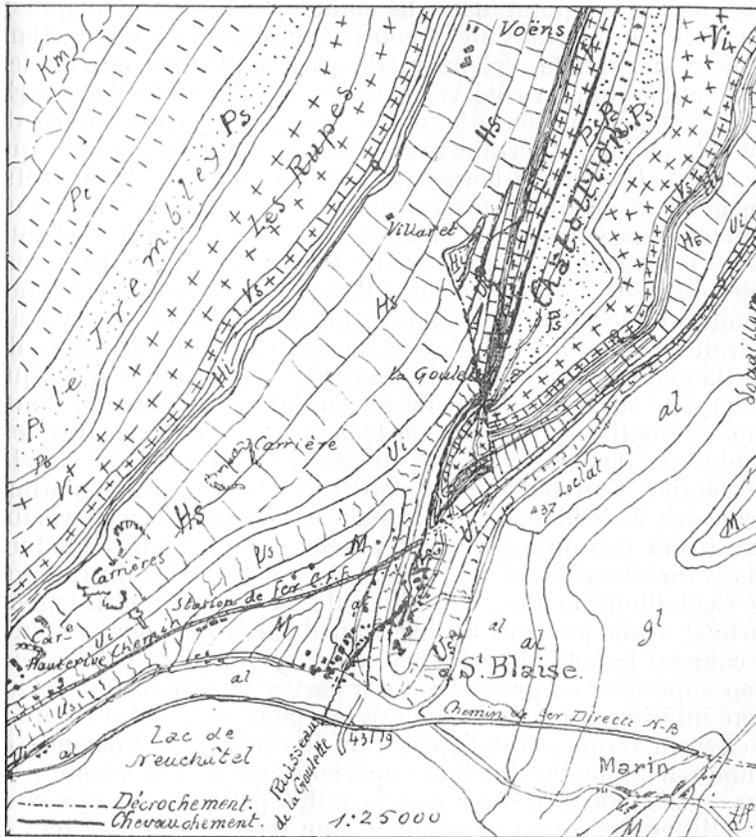
Fig. 2. Profils géologiques à travers le Jura neuchâtelais (Jaccard, 1877). La couverture sédimentaire forme un tapis continu, sans faille ni chevauchement.

Cet auteur est pourtant l'un des premiers à signaler l'existence de la grande faille de Pontarlier (décrochement) qui recoupe, avec une direction méridienne, l'ensemble des plis de la haute chaîne du Jura depuis le Bassin molassique jusqu'au-delà de la frontière française. Cette donnée est jugée suffisamment importante par Suess pour qu'il en fasse mention dans le volume 1 (p. 150-151) la *Face de la Terre* (communication orale de C. Sengör).

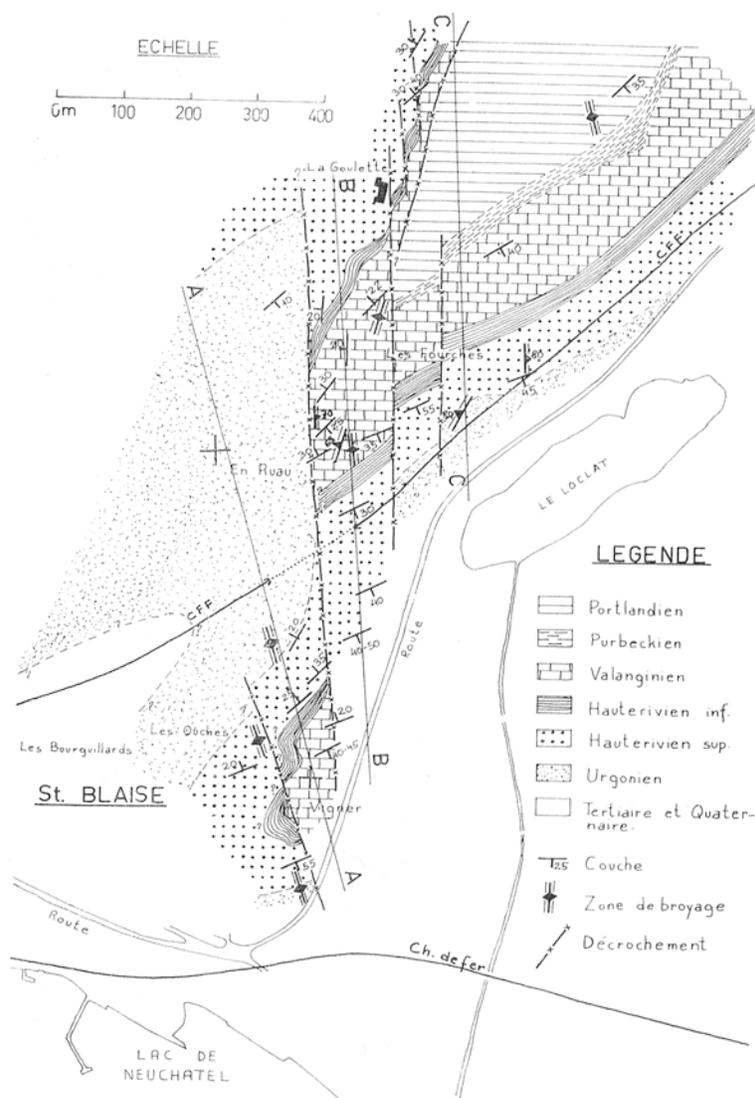
Au niveau du Jura neuchâtelais, c'est Schardt qui, le premier, révèle l'importance des décrochements et la fréquence des chevauchements, deux accidents souvent associés. L'étude du petit anticlinal de Châtollion qu'il confie d'abord à son étudiant Félix Béguin (1900) mais qu'il reprend par la suite (Schardt 1910), montre par les cartes et profils publiés l'importance des failles et décrochements dans cette structure.



A : Béguin 1900



B : Schardt 1910



C : Kiraly 1966

Fig. 3. Anticinal de Châtollion. Différentes interprétations. A : anticinal presque symétrique (Beguin, 1900) ; B : anticinal chevauchant recoupé par un décrochement (Schardt, 1910) ; C : anticinal chevauchant recoupé par de multiples décrochements (Kiraly, 1966).

Son analyse ultérieure par Laszlo Kiraly (1966) propose même que les décrochements y jouent un rôle plus important que ne l'avait signalé Schardt. Il est fort possible qu'une érosion plus profonde de ce secteur révélerait également l'importance croissante des chevauchements. Par ses multiples études structurales locales, souvent publiées dans le *Bulletin* de la SNSN, ainsi que celles de ses élèves, Schardt a montré l'importance de ces structures dans le Jura neuchâtelois et au-delà. Dans les décrochements, la direction méridienne est dominante ; c'est celle qui est surtout présentée dans les travaux anciens mais les études plus détaillées ont montré qu'elle était associée à des décrochements conjugués et à des chevauchements en direction du NNW. Ceux présentant un chevauchement de direction SSE (en retour) sont moins

fréquents mais peuvent parfois présenter des développements fort spectaculaires (Király et Meia, 1967).

Par l'abondance des croquis structuraux qui illustrent ses nombreuses notes, Schardt a représenté de façon exemplaire, par des coupes, la géométrie de la plupart des anticlinaux du Jura neuchâtelois et des régions avoisinantes. Les travaux de thèse qu'il a confiés à ses élèves forment un complément à cette information, tout particulièrement les travaux de Jules Favre (1911), Erwin Rickenbach (1926) et Ernest Frei (1925)

Schardt, qui avait été le premier à proposer le décollement des Préalpes au niveau des évaporites du Trias puis leur charriage jusqu'au front des Alpes, ne songe pas à s'inspirer de cette audacieuse idée pour expliquer les particularités structurales du Jura. Présentée d'abord par August Buxtorf (1877-1969), cette proposition de décollement n'a conduit à aucun développement significatif dans le *Bulletin des Sciences naturelles de Neuchâtel*. Il est même étonnant que ce problème ne soit même pas évoqué par Rickenbach (1926) à la suite de son analyse modèle de la géométrie des plis. Il faudra attendre qu'Anna Sommaruga (1997) le reprenne dans l'important mémoire qu'elle a consacré à la structure du Jura Central et des régions avoisinantes, s'étendant du bord alpin jusqu'aux limites externes du Jura en intégrant de façon très réussie les données provenant des études de terrain et celles provenant de l'exploration pétrolière.

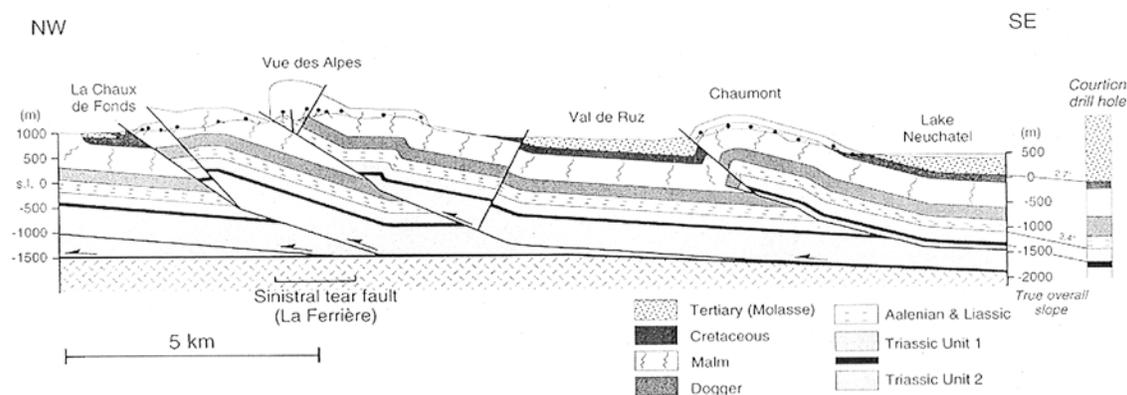


Fig. 4. Profil à travers le Jura neuchâtelois (Sommaruga, 1998).

Apports d'Argand et de Wegmann

Argand n'a jamais utilisé le canal de la SNSN pour faire paraître des notes, ni en géologie structurale, ni dans le cadre d'autres sujets. Il n'a cependant pas négligé cette société puisqu'il a été l'auteur de 17 conférences données au cours des réunions ordinaires ou des assemblées générales. Les titres de ses causeries, ainsi que les très brefs résumés probablement établis par les rédacteurs, sont trop sommaires pour qu'une idée un peu plus précise de leur contenu puisse être établie. Comme on peut s'y attendre, Argand y aborde les thèmes de la tectonique

générale ou locale qui ont fait sa gloire (dérive des continents, formation des chaînes de montagnes, tectonique alpine, importance de la pesanteur). En dehors de cette orientation, il y traite également d'autres sujets comme : l'évolution morphologique du Jura, la géologie de l'Afrique, le rôle des glaciations dans la morphologie alpine. À ce sujet, il commente un document resté inédit provenant des campagnes d'Agassiz au Glacier du Rhône où ce dernier a établi une carte topographique précise des dépôts morainiques de l'extrémité de la langue de glace pour pouvoir en étudier l'évolution. Argand a également utilisé les assemblées de la Société pour faire état de ses propres travaux, publications et cartes géologiques. Lors d'un événement un peu comparable, il a commenté et fait l'éloge de la thèse de son jeune élève Tekan Huang qui venait d'être publiée dans le *Bulletin* de la Société, après 120 jours de travail de terrain dans la région physiquement et géologiquement difficile du Weissmies, dans le Pennique valaisan.

Pour sa part, Wegmann, dont la thèse entreprise dans le Pennique valaisan sous la direction d'Argand avait été publiée en allemand dans le *Bulletin* de la SNSN, est l'auteur de plusieurs conférences et notes scientifiques, dans lesquelles il fait part à la SNSN des heureuses expériences qu'il a glanées sur le terrain et auprès de savants dans les pays nordiques, notamment au Groenland où il a effectué des missions d'été de 1934 à 1938, ainsi qu'un hivernage. Durant la Seconde Guerre mondiale, alors que la Suisse assure une bonne part de son ravitaillement agricole par une intensification des cultures maraîchères, il remarque qu'il serait judicieux qu'on s'inspire des travaux géochimiques qui furent pratiqués en Norvège afin d'augmenter les rendements. Son attachement à l'enseignement reçu auprès d'Argand l'engage aussi dans des réflexions touchant la dérive des continents. Il garde une profonde admiration pour ce maître audacieux qui est parvenu à dépasser les premières spéculations pour imposer une vision d'ensemble, satisfaisant aux exigences de synthèse. Pour sa part, cependant, il préfère s'engager dans des explorations visant à tester, par un contrôle sévère sur le terrain, la validité des hypothèses. À cet effet, avec l'aide de son collègue Edmond Guyot, il établit des cartes permettant de suivre les possibles déplacements des masses continentales le long des petits cercles de la sphère. Cette solution s'imposera avec l'avènement de la tectonique des plaques. Pour Wegmann, elle est alors un élément de base d'un ambitieux plan de recherche international et multidisciplinaire devant tester la validité de la dérive des continents. Cet ambitieux projet, dont il présente les grandes lignes dans le *Bulletin*, ne sera jamais mis en œuvre. Dans l'article qu'il consacre à l'exploration des espaces intercontinentaux (Wegmann, 1950), il fait part de son intérêt pour la recherche océanographique qui, à ses yeux, comme vient de le faire l'expédition suédoise *Albatros*, apporte des éléments révolutionnaires pour la connaissance de la planète, tant dans le domaine de la tectonique que dans celui des sédiments, tout particulièrement quaternaires, où tant de résultats ont été acquis dans les pays scandinaves.

Les conférences que Wegmann donne à la SNSN abordent des problèmes de géologie générale mais également locale. En collaboration avec un architecte, il expose les qualités et les

propriétés de la « pierre jaune de Neuchâtel ». Lors d'une excursion de la Société dans la région des Verrières, il assure la visite au pied levé, en remplacement du guide malade, et explique les caractéristiques structurales et hydrologiques des paysages du haut Jura neuchâtelois.

Glaciaire

Bien que promoteur de la théorie glaciaire et principal animateur de la *Société des Sciences naturelles de Neuchâtel*, Agassiz n'a utilisé qu'une seule fois le canal de la *Société des Sciences de Neuchâtel* pour faire part de ses recherches dans ce domaine. C'est dans le premier volume du *Bulletin* qu'il présente les mesures attestant le déplacement des blocs erratiques présents à la surface du glacier de l'Aar, lui permettant d'apprécier, en différents points de ce site, les vitesses d'avancée du glacier. En dehors de cette contribution, il a placé ses autres publications glaciaires soit dans les ouvrages qu'il publie à compte d'auteur, soit dans des revues bien établies (*Bulletin de la Société géologique de France*, *Proceedings of the Geological Society of London*, *Bibliothèque universelle de Genève*, etc). Par contre, Desor, Guyot et Nicolet, ses principaux collaborateurs dans cette affaire, ont souvent publié dans le *Bulletin* les résultats de leurs recherches conduites aussi bien dans les Alpes, qu'en Suède et aux États-Unis.

C'est en 1835, un an avant qu'Agassiz ne s'engage dans les recherches glaciaires, que la *Société des Sciences naturelles* fait paraître, dans une traduction de Louis Coulon, l'article de Lyell (1835) où celui-ci relate son voyage en Scandinavie à la recherche des traces d'élévation récente de certaines parties de la Suède. Dans ce texte, le savant écossais mentionne qu'il a été surpris d'observer le long des côtes de la Baltique la présence de gros blocs erratiques de granite, ou localement de grès rouges souvent anguleux, bien qu'aucun affleurement de ces roches ne soit présent dans le paysage environnant. Les populations locales estiment que ces matériaux, situés le long des côtes au-dessus des niveaux atteints par hautes eaux, ont été transportés par des glaces de la banquise disloquée, au moment où celle-ci venait s'échouer et s'amonceler sur le rivage. Cette proposition du transport de l'erratique par les icebergs que défend alors Lyell (1835) va l'opposer durablement au transport par les glaciers qu'Agassiz impose dès 1837. Les Comptes Rendus de la Société de Neuchâtel signalent que le 1^{er} mars 1837, Charles Henri Godet présente à son tour des observations sur le voyage qu'il a fait en Suède en 1833. Il est alors mentionné que « *les blocs erratiques qui couvrent une grande partie de la Scanie donnent lieu à une intéressante discussion sur leur origine. M. le Prof. Agassiz pense qu'il faut attribuer leur présence et leur disposition à l'action et au mouvement d'immenses nappes de glace, qui les ont déposés là où ils sont, à l'époque de leur dernière apparition. Ces phénomènes, dont on retrouve des traces au centre de l'Europe, doivent se présenter sur une bien plus grande échelle encore dans les pays septentrionaux. M. Agassiz ajoute qu'on arrivera à reconnaître que ces masses de glace, qui ont précédé la création actuelle, ont produit les effets les plus étonnants : ce qui donnera la clef pour la solution de bien*

des phénomènes sur lesquels la science n'a encore que des hypothèses plus ou moins satisfaisantes » (Godet, 1839). Dans cette séance, Agassiz propose donc pour la première fois que les pays de l'Europe septentrionale ont été couverts par de grandes nappes de glace. En 1847, après son propre voyage en Scandinavie, Desor utilise la large distribution de stries glaciaires dans ces pays pour confirmer cette proposition. Il commente également le soulèvement du pays, mais insiste sur le fait que toutes ces régions ont été antérieurement marquées par une importante subsidence.

Pour sa part, à cette époque, Arnold Guyot (1807-1884), étudie la distribution de l'erratique dans les différents bassins des Alpes, en suivant les roches depuis leur source jusqu'aux points où elles furent abandonnées par les glaciers. La carte qui aurait dû présenter le résultat de ses investigations devait accompagner le second volume du *Système glaciaire* d'Agassiz. À la suite des événements politiques de 1848 et surtout du départ d'Agassiz puis de Guyot pour les États-Unis, ces documents ne furent pas publiés, mais les recherches de Guyot font l'objet de plusieurs notes dans le *Bulletin*, dont certaines font état de copies de la carte qui furent remises alors en Suisse. Une autre copie de cette carte a été retrouvée dernièrement à Princeton où Guyot a terminé sa carrière¹.

Dès le moment où l'on a envisagé que plusieurs périodes glaciaires s'étaient succédé, et parfois même avant, des savants ont avancé que la Terre aurait pu connaître des époques successives de grands froids qui auraient été en relation avec des perturbations astronomiques (Imbrie et Imbrie, 1979). Adhémard (1842) est crédité de la première contribution dans cette direction. Dans le premier volume des *Mémoires de la Société des Sciences naturelles de Neuchâtel*, un article de Henri Ladame (1835) (un parfait contemporain d'Agassiz, ancien élève des Écoles polytechnique et des ponts et chaussées de Paris et membre fondateur de la SNSN), complété par une communication ultérieure (Ladame, 1839), développe l'idée que l'excentricité et la précession du cheminement de la Terre autour du Soleil, démontrées par Laplace, conduisent à des modifications thermiques à la surface terrestre. Pour lui, celles-ci sont même la principale cause de la formation des chaînes de montagnes et de leur localisation. Aujourd'hui, on peut s'étonner que Ladame n'ait pas cherché à orienter ses réflexions vers les causes du climat de l'époque glaciaire, qui était alors au centre des préoccupations scientifiques pratiquées à Neuchâtel. En 1867, l'astronome Adolphe Hirsch (1830-1901), qui dirige l'observatoire de la ville, reprend la question des relations entre les variations climatiques et les perturbations cosmiques (Hirsch, 1867). S'intéressant principalement aux variations de l'excentricité de l'orbite terrestre et à celles de l'inclinaison de son axe de rotation, il juge qu'elles ne conduisent probablement pas à des modifications climatiques suffisantes pour engendrer des périodes glaciaires bien qu'elles conduisent, surtout dans les régions polaires, à une augmentation des écarts de température entre les saisons. Il estime, par contre, que de larges

¹ L'université de Princeton a dernièrement restitué les collections archéologiques que Guyot avait emportées avec lui aux USA. Ces objets, ainsi que la carte de la distribution de l'erratique, sont actuellement déposés au Laténium (Musée archéologique de Neuchâtel).

modifications géodésiques (soulèvements ou abaissements de larges secteurs de la croûte terrestre) pourraient être la cause de sévères perturbations climatiques qui, à leur tour, pourraient être amplifiées par celles d'origine astronomique. Signalons finalement qu'en 1867, Ladame lit lors d'une séance de la SNSN le mémoire de John-F.-W. Herschel *Sur les causes astronomiques qui ont une influence sur les phénomènes géologiques*, lu à la Société géologique de Londres en 1830. Ces faits, qui seront malheureusement ignorés, montrent le niveau de certaines personnalités qui, à cette époque, animaient les séances de la SNSN, et qui, malgré l'éloignement, restaient en contact avec les développements scientifiques de leur temps.

En 1890, Léon Du Pasquier (1864-1897) présente à la SNSN les résultats de ses travaux menés sous la direction d'Albert Heim dans le nord-est de la Suisse. C'est là qu'il a reconnu l'existence d'au moins deux, peut-être trois périodes glaciaires. Il confirme ainsi des données antérieures de Morlot, de Deicke et de Muhlethaler et est en accord avec les études d'Oswald Heer sur les flores fossiles. Revenu à Neuchâtel, Du Pasquier s'efforce d'affiner la connaissance de l'erratique du Jura, tout particulièrement celui du Val-de-Travers qui, au contraire de celui des vallées internes de la chaîne, est, à l'époque de la dernière glaciation, marqué par des apports morainiques provenant du glacier du Rhône. Lors du retrait de celui-ci, un important lac glaciaire s'installe dans cette vallée. Du Pasquier montre qu'il résulte du barrage que le glacier local issu du Creux-du-Van provoque à l'aval de la vallée. Le long de la bordure interne du Jura, il suit également l'importante moraine latérale du glacier du Rhône, depuis le pays de Vaud jusque dans la région de Soleure où il situe, à l'époque de la dernière glaciation, les moraines frontales marquant la limite de son extension en direction de l'est. Dans le Jura, au-delà des surfaces anciennement occupées par le glacier du Rhône qu'il a ainsi identifiées, il rapporte le rare matériel erratique présent à des glaciations antérieures, dont on ne retrouve que les roches les plus résistantes aux effets de l'altération, comme les quartzites.

Plus tard, les études géomorphologiques conduites par Daniel Aubert (1905-1991) dans le Jura lui permettent de montrer que les zones élevées de la chaîne de la Vallée de Joux furent, lors de la dernière glaciation, occupées par une importante calotte de glace (Aubert, 1965). Ces travaux seront repris et précisés par Robert Arn et Michel Campy (dans une contribution présentée en l'honneur de celui qui a découvert ce phénomène).

Blocs erratiques et leur protection

Dans le Jura, la recherche glaciaire à ses débuts est étroitement associée à la présence des blocs erratiques. Ces témoins de l'histoire géologique régionale y ont, de ce fait, acquis une grande force symbolique. Desor est le premier à demander que la SNSN entreprenne des démarches pour la protection de ces témoins de l'histoire géologique qui se trouvent menacés par une exploitation de plus en plus intensive. Celle-ci se trouve partiellement liée à la présence

d'ouvriers italiens appelés à la construction des lignes de chemins de fer, une main-d'œuvre qui, depuis fort longtemps, pratique l'exploitation des granites dans les vallées du sud des Alpes.

En 1892, du Pasquier se montre pressant pour qu'une attention toute particulière soit accordée à l'ensemble des blocs et qu'on en établisse un relevé pour les mettre sous la protection de l'État. Les mesures de sauvegarde prises ont conduit à d'heureux résultats mais les anciens inventaires semblent avoir été perdus. Au cours des dernières décennies, un certain nombre de blocs erratiques, prélevés dans des exploitations de dépôts glaciaires, ont été transportés dans des jardins entourant des maisons privées, dans l'espoir de donner à ces lieux bien ordonnés un aspect plus sauvage, plus alpin !

Jaccard et Schardt : la géologie au service des communautés

En complément de plusieurs cartes géologiques du Jura à 1 : 100 000 et de monographies régionales éditées par la Commission géologique de la Suisse, Auguste Jaccard (1833-1895), horloger, géologue autodidacte, a largement contribué à la connaissance du Jura central par quelque cinquante notes publiées dans le *Bulletin*. Ses travaux illustrent l'activité d'un homme passionné de science fondamentale, mais aussi très désireux de montrer que la recherche qu'il pratique trouve des applications dont peut bénéficier la Société. Dans cette perspective, ses premières recherches pratiques sont consacrées à l'étude des circulations des eaux dans le paysage karstique du haut Jura où le manque d'eau potable se fait trop souvent sentir, tant en milieu rural que dans les localités qui connaissent alors un important développement. Il est l'un des premiers à identifier, par traçages, l'étendue des bassins alimentant les résurgences karstiques et à tenter d'établir les temps de parcours souterrain des eaux depuis les zones de pertes jusqu'aux sources. Jaccard s'efforce également de recenser les matières premières qui pourraient être exploitées dans cette partie du Jura qu'il connaît si bien. Fer, phosphates et roches à ciment seront prospectées, mais c'est surtout les recherches de pétrole qui, avec les mines d'asphalte de la Presta, accaparent la plus large part de ses préoccupations de géologie appliquée. Même si ses recherches ne conduisent à aucun succès économique, elles lui permettront d'acquérir une connaissance suffisante des pétroles, de leur genèse et de leur exploitation, pour publier en 1870, à Paris, un important traité sur le sujet, où il défend avec ferveur l'origine organique du pétrole.

Par l'ensemble de sa production consacrée au Jura neuchâtelois et aux régions avoisinantes, Schardt, auteur de 60 notes publiées dans le *Bulletin*, est incontestablement le géologue qui a le plus apporté à la connaissance du Jura neuchâtelois, tant au point de vue de la structure, de l'hydrologie, de la stratigraphie du Jurassique, du Crétacé, du Tertiaire, du Quaternaire que de l'évolution morphologique (érosion, glissement) ou que de l'exploitation des gisements de pierres et de ceux de l'asphalte. C'est un observateur attentif, dont les notes présentent des croquis précis, qui tente toujours d'intégrer les données recueillies dans le cadre

de la géologie régionale et générale. Peut-être trop engagé dans des expertises privées et ses activités d'enseignement en dehors de ses cours universitaires – il enseigne les sciences naturelles au collège de Montreux – il ne sera pas le premier géologue à proposer que l'ensemble de la couverture plissée du Jura se trouve décollée de son socle et charriée.

Hydrogéologie

Dans les dernières décennies du XIX^e siècle, la croissance économique que connaît le pays de Neuchâtel conduit à une augmentation des populations urbaines, désireuses de disposer, sans trop de restriction, d'eau de qualité. Les aménagements nécessaires pour satisfaire leurs besoins ont conduit à des recherches touchant à la circulation des eaux dans le sous-sol, à l'hygiène, au transport de l'eau, ainsi qu'à l'aménagement hydroélectrique que ces travaux demandaient, favorisaient. Les comptes rendus des séances et les publications de la SNSN accordent alors une grande attention à ces problèmes dans lesquels la géologie et surtout l'hydrogéologie jouent souvent un rôle central, tout en étant intimement enchevêtrées avec des questions issues d'autres disciplines. Pour rendre compte de ces activités, nous avons jugé qu'il était par trop difficile de suivre l'ensemble des développements avec un regard strictement chronologique. Nous avons préféré présenter cette analyse en isolant les contributions des différentes disciplines, tout en sachant que, par ce point de vue, nous perdons la vision d'interconnexions qui a souvent été déterminante dans ces recherches et dans les réalisations appliquées qui furent alors projetées et parfois réalisées. On présentera quelques touches montrant l'importance de certaines personnalités qui sont parvenues à imposer ou non leurs visions sans que parfois celles-ci reposent sur une approche rationnelle.

Bien que le pays de Neuchâtel bénéficie d'un régime de précipitations assez élevé (100-150 cm/an), il se trouve assez souvent victime de pénuries d'eau affectant l'agriculture, l'élevage ainsi que l'alimentation des populations qui, trop souvent, sont alors touchées par des épidémies de choléra et de typhoïde. Dans ces conditions, il est assez normal que l'attention des chercheurs se soit penchée sur ce problème pour examiner la façon dont il était possible de remédier à ces manques d'eau passagers. Notons que les premières observations régionales de nature hydrologique précèdent la création de la SNSN. En 1782, lors de son voyage en pays de Neuchâtel, Jean-André Deluc (1728-1817) note que, dans le Jura, même en période d'abondantes précipitations, l'écoulement superficiel reste limité car les eaux s'infiltrent rapidement dans les calcaires à la faveur de fissures et de gouffres qu'on observe un peu partout. Il indique qu'après un parcours souterrain, elles ressortent, sous forme de sources abondantes, au point bas des vallées. Les observations que le savant glane à ce sujet dans le Val-de-Travers et le Val-de-Ruz sont tout à fait remarquables pour l'époque, mais elles ne paraissent pas avoir été connues dans le pays. Parmi les observations précoces, on peut également mentionner celles réalisées par Leopold von Buch lors de son passage dans le Canton en 1802-1803, lorsqu'il mentionne la présence des sources froides de la région du

Creux-du-Van et qu'il s'interroge sur les raisons leur permettant de maintenir une température pratiquement constante au cours de l'année. Dans les publications de la SNSN, c'est le pharmacien de La Chaux-de-Fonds Célestin Nicolet qui est le premier à faire part des particularités de l'écoulement des eaux dans le Jura. Comme Deluc, il signale que les eaux des fortes précipitations ou celles qui sont associées à la rapide fonte des neiges sont très rapidement évacuées par de nombreuses fondrières (les dolines). Dans la région entre le Crêt du Locle et à l'ouest de La Chaux-de-Fonds, il signale que « *de nombreuses fondrières (dolines) [...] servent de réceptacles aux eaux qui s'accumulent à l'époque de la fonte des neiges, eaux qui sont parfois si abondantes qu'elles interceptent toute communication. [...] Ces fondrières servent continuellement de moyen d'écoulement des eaux [...] principalement de celles des tourbières : quelques-unes sont situées sur le terrain crétacé, les autres sont toutes aux limites des marnes supérieures à la Molasse et du Calcaire d'eau douce ; elles sont très rapprochées les unes des autres et peuvent servir d'horizon pour reconnaître et limiter rigoureusement les deux dépôts. Elles remplissent plusieurs cavités du calcaire portlandien.* » (C. Nicolet, 1839, p. 23-24).

Connaissance du karst neuchâtelois

Les premiers essais de traçage entrepris par Desor le conduisent à confirmer les relations qui étaient proposées entre les bassins des hautes vallées et les sources karstiques (Desor 1864) ; les résultats de ces traçages entrepris avec de l'amidon furent ultérieurement remis en question. Jaccard se penche à son tour sur la relation existant entre les pertes du petit lac des Taillères, situé dans la vallée synclinale de la Brévine (altitude 1 030 m), et la source vaclusienne de l'Areuse (altitude 799 m) distante de 6,5 km du lac. Profitant d'une période de très basses eaux, marquée par un très faible débit de la source, il procède à l'ouverture des écluses retenant les eaux du lac. Douze heures après cette manoeuvre, il observe une augmentation du débit de la source qui, après la fermeture des écluses, retrouve assez rapidement son niveau d'étiage. Cette expérience permet à Jaccard de conclure que « *la nappe lacustre du lac des Taillères et [d'autres lacs de ce type], n'ont point l'importance régulatrice ou de réservoirs d'alimentation qu'on se plaisait à leur attribuer. Cette propriété est acquise d'une manière indiscutable aux cavités souterraines de nos grands massifs de calcaire jurassique supérieur* » (italiques originales) (Jaccard 1886, p.62). Elle confirme ses propositions antérieures « *que dans le Jura, la pénétration [de l'eau] a lieu de deux manières :*

a) *d'une part, on voit les eaux atmosphériques se réunir dans des fossés et des rigoles à celles de petites sources et disparaître dans des entonnoirs (connus sous le nom d'emposieux). Notons en passant que ceux-ci ne se trouvent pas uniquement dans le voisinage des marais tourbeux.*

b) d'autre part, l'infiltration de l'eau a lieu directement à travers une mince couche de terre végétale dans les roches fissurées du calcaire jurassique » (Jaccard 1884, p. 64).

Apports latéraux

À cette date, les importantes sources du Jura neuchâtelois paraissent donc être liées aux infiltrations dans les séries calcaires, principalement dans celles de la série jurassique situées à l'amont des sources. Celles-ci sont alimentées par les précipitations tombant sur les synclinaux et leurs bordures. Pour l'ingénieur Ritter, cette vision paraît trop simpliste et incompatible avec les faits et les études de bilan. Ainsi l'importante source de Combe Garot située en rive droite, à l'aval de la partie médiane des gorges de l'Areuse, demande d'autres interprétations. Son bassin versant paraît bien trop réduit pour assurer les débits observés : il propose que cette abondance d'eau provient des alluvions récentes tapissant le lit même de la rivière. Dans ses frustes croquis, Ritter montre que la rivière doit couler sur d'importants dépôts quaternaires formant un aquifère placé au cœur d'un synclinal du Jurassique supérieur rendu étanche par les marnes argoviennes. Pour Jaccard, cette proposition ne s'accorde pas avec les variations de débit de cette source qui ont les caractéristiques typiques des sources vaclusiennes. De plus, elle possède une température relativement constante, différente de celles de la rivière ; il paraît donc improbable qu'elle soit alimentée par des apports importants provenant de la rivière et de ses alluvions. Pour rendre compte des débits observés, il propose qu'une large part de ceux-ci dérivent d'apports karstiques latéraux (Jaccard, 1844) issus des précipitations tombant sur de larges zones calcaires jurassiques situées en altitude, plus à l'ouest, une proposition qui s'accorde avec la présence d'une faille verticale observée au niveau de la source, mettant en contact les calcaires redressés du Jurassique avec les niveaux marneux de l'imperméable local.

Dans son étude des sources de Bonvillars, Ritter revient sur le problème des sources de Combe Garot afin de montrer, pense-il, que dans le karst, « *les écoulements souterrains latéraux sont impossibles à grande distance* » (Ritter, 1889, p. 27), réfutant les hypothèses soutenues par ses contradicteurs qui admettent des apports latéraux pouvant être parfois distants de plus de 20 km. Son argumentation utilise des observations faites sur le flanc sud d'un anticlinal voisin (montagne de Boudry-Soliat- Mont-Aubert) qui est assimilé à une « *immense dalle inclinée de Jurassique supérieur enserrée entre deux matelas imperméables : l'un inférieur, l'oxfordien marneux [...] l'autre le néocomien, marneux également, qui recouvre la dalle sur le pied de la montagne seulement à des hauteurs variables, et dont chaque point bas est dû à l'effet de l'érosion des eaux torrentielles ou surgissantes de la dalle engorgée* » (Ritter, 1889, p. 33-34).

Les eaux qui en sortent, soumises aux lois de la gravité, s'orientent en fonction de la pente ; les possibilités d'écoulements latéraux sont donc des plus réduites. La schématisation proposée par Ritter ignore alors, et c'est normal, les complexités structurales du Jura et celles

de ce secteur (décrochements, chevauchements, plis secondaires, hétérogénéité de la fracturation, plongement axial des plis) qui ne seront reconnues que plus tard. À l'époque, l'argumentation directe, d'un scientifique persuadé de détenir la vérité, a certainement ébranlé plus d'un acteur par ses propos évoquant « *des démonstrations hydrostatiques et dynamiques relatives à l'état des eaux dans les couches absorbantes* ». Il est intéressant de constater que la vision présentée par Jaccard, son principal contradicteur, moins flamboyant, et parfois hésitant, n'a pas été totalement submergée. Elle devait pourtant paraître assez peu crédible avec ces transports souterrains latéraux à grande distance que la morphologie ne semblait pas soutenir. On remarquera même que, lorsque Schardt et Dubois (1901-1902) font l'inventaire des sources des Gorges de l'Areuse, ils ne placent pas celles de Combe Garot dans les sources vauclusiennes, mais dans les sources de débordement, et qu'ils ne se prononcent pas sur l'origine de leurs eaux. Dans cette confrontation, les remarques de Ritter ne sont pas toutes à rejeter ; il distingue ainsi deux types de porosité dans les aquifères karstiques: celle de l'eau de carrière et celle des grands chenaux formant couloirs et cavernes pouvant localement servir de réservoirs et de régulateurs.

Une synthèse

La contribution de Schardt sur l'*Origine de la source de l'Areuse (la Doue)* (Schardt 1904) représente une synthèse sur des écoulements karstiques dans le Jura ayant fait date.

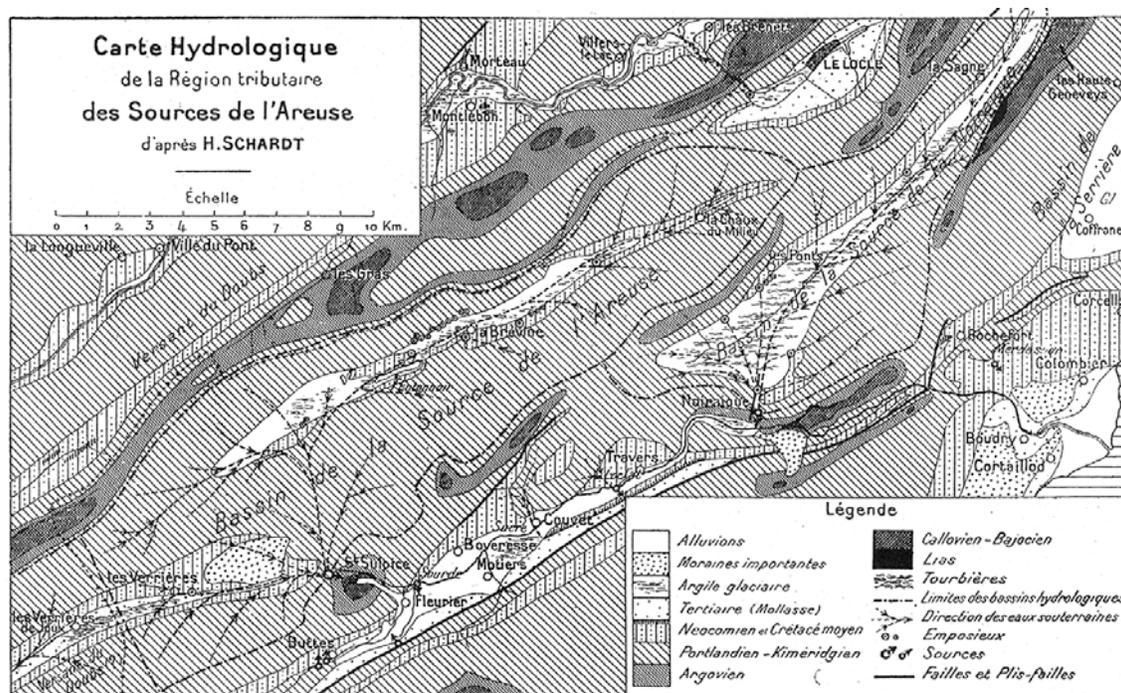


Fig. 5a. Carte hydrologique du bassin de la Source de l'Areuse (Schardt, 1904). [La présente figure est reproduite d'après E. de Margerie (1922). *Le Jura*, Fig. 172.]

À la source voisine de la Noiraigue, Schardt constate que les eaux superficielles alimentées par des eaux de la vallée des Ponts ne subissent aucune filtration avant de gagner les zones de pertes et que, de ce fait, elles entraînent une forte proportion de matières humiques, particulièrement en période de hautes eaux. En période de basses eaux, bien que les ruisseaux de la vallée restent très colorés, la source est alors relativement peu teintée car, dans cette situation, les écoulements de surface ne représentent qu'une très faible part de l'alimentation de la source qui est marquée par des eaux claires d'une autre provenance. Une situation semblable se rencontre à la fin des crues. Ces constatations sont un nouvel indice pour considérer que le flux sortant du karst peut posséder deux origines différentes.

Aspects sanitaires du karst neuchâtelois

Les recherches sanitaires ont été déterminantes pour assurer aux populations un approvisionnement de qualité. Elles ont également joué un rôle non négligeable pour la connaissance des circulations karstiques en pays neuchâtelois. Dans ces régions, marquées par la rapide disparition des eaux de pluie en profondeur, où les sources de qualité sont rarement disponibles près des deux principales villes, les premières recherches se sont orientées vers un approvisionnement par des puits aux ressources limitées, complétées par la récolte et le stockage des pluies dans des citernes. Avec l'augmentation de la population entraînée par l'industrialisation, l'approvisionnement local est devenu rapidement précaire. La situation se dégrade par les difficultés rencontrées pour l'élimination des déchets et des immondices dans une ville comme La Chaux-de-Fonds où les conditions de drainage naturel sont médiocres. L'eau des puits est fréquemment polluée, de même que certaines sources. À Neuchâtel, l'eau des sources est peu abondante, la rivière locale nauséabonde, polluée et proche des principaux puits qui sont rapidement contaminés. Il faut donc se rabattre sur des apports extérieurs que représentent lacs, rivières ou les grandes sources karstiques lointaines, des solutions qui demandent hélas d'importants investissements et peut-être des risques du point de vue sanitaire auxquels les connaissances scientifiques de l'époque n'apportaient que des réponses partielles qui devaient être améliorées.

Qualité des eaux

Au niveau de l'eau des lacs, Ritter se distingue rapidement par ses positions tranchées. En présentant son projet d'amener des eaux du lac de Neuchâtel à Paris (Ritter, 1888) en déclarant « *l'eau du lac de Neuchâtel [...] est une eau d'excellente qualité et d'une fraîcheur de 4° centigrades, captée à 100 mètres de profondeur.*

« *L'analyse démontre qu'elle est indemne de toute substance organique dangereuse ; elle n'accuse ni présence d'ammoniaque ni d'azotites...*

« Son degré hydrotimétrique est excellent, car elle [...] ne contient que 13/10 000 de carbonates de chaux ; de ce fait la ville de Paris économiserait pour plusieurs millions de francs de savon annuellement par son emploi substitué à celui de l'eau de la Seine » (Ritter, 1888, p. 157). Dans la séance de la SNSN du 20 décembre 1888, il ajoute « le lac de Neuchâtel, à une profondeur de 80 à 100 mètres, fournirait de l'eau potable la plus pure qui se puisse voir ».

Ses propositions sont cependant vivement critiquées par des experts français. On craint que des mélanges se produisent entre les eaux de surface susceptibles d'être polluées et les eaux profondes recherchées. Pour Ritter, les prélèvements profonds qu'il propose s'effectuant dans des milieux où les courants n'existent pas ; les risques de mélanges sont inexistant du fait que les eaux d'origine différente possèdent des densités différentes. À Zurich et à Genève, où l'alimentation est assurée par l'eau des lacs en pompant à des profondeurs moindres que celles qu'il envisage, ces solutions donnent toute satisfaction. Elles lui paraissent être une garantie suffisante et sans appel.

Ultérieurement, des analyses d'eaux du lac de Neuchâtel prélevées le 18 mars 1903 à 400 mètres du rivage, à la profondeur de 25 m et à plus de 5 m du fond « attestent une eau de premier ordre, égale, sinon supérieure à celles des meilleures sources des Gorges de l'Areuse » (Conne, 1904). Les prélèvements effectués dans les mêmes conditions, le 10 juin de la même année, présentent par contre des traces d'ammoniaque albuminoïde relativement importantes, associées à une petite quantité de bactéries. Cet azote organique provient de la matière organique vivante du plancton qui peut être éliminée par filtration. Cette eau du lac « est donc parfaitement salubre et répond à tout ce qu'on peut exiger d'une bonne eau d'alimentation, elle est très douce, peut-être paraît-elle un peu fade » (Conne, 1904) par rapport aux eaux de sources plus chargées en carbonates. De nos jours, cette matière organique vivante reste un problème qui ne peut être ignoré.

Du compte-rendu de la séance du 22 janvier 1904, Frédéric Conne et le docteur Sandoz « constatent que la ville de Neuchâtel n'a plus de sources en réserve dans les Gorges de l'Areuse ; si ses besoins augmentent, comme cela est le cas depuis vingt ans, [...] il faudra s'adresser au lac.

M. H. Schardt se déclare partisan convaincu des eaux de sources quand elles sont captées dans de bonnes conditions. Neuchâtel ne doit du reste pas craindre une disette d'eau [...]

Ritter appuie ce qu'a dit M. Schardt. Toutefois, l'eau du lac prise au bon endroit, à 100 m de profondeur est fraîche, tellement aérée qu'elle pétille comme du champagne... !

Qualité des sources calcaires et de leur captage

Plusieurs notes du *Bulletin* font état de pollution provenant de sources captées dans les calcaires. Les études un peu sérieuses montrent que, dans ces situations, la pollution provient de contaminations associées à des eaux de surface ou de captages mal protégés ; elles sont fréquemment associées à des périodes de hautes eaux. Un tel accident s'est encore produit à Neuchâtel après que la ville a été alimentée par les nouveaux captages des gorges de l'Areuse. À la suite des importantes précipitations du 9 et 10 décembre 1899, la nouvelle eau potable disponible en ville présente un trouble marqué. Cette situation provoque une vive irritation de la population, mais les analyses microscopiques révèlent que la pollution est essentiellement de nature inorganique, argileuse. Les études bactériologiques ne révèlent heureusement aucun organisme pathogène.

Quelques années plus tard, Schardt présente une remarquable mise au point des questions liées à l'approvisionnement des populations par les eaux issues des formations calcaires. En 1903, il participe au XIII^e Congrès d'hygiène et de démographie tenu à Bruxelles. Le *Bulletin* de la SNSN publie ses commentaires de cette réunion et le résumé de son *Rapport sur l'utilisation en Suisse des eaux de sources issues de terrains calcaires* (Schardt, 1904), un remarquable document. Cette rencontre devait « *Etablir, au point de vue des exigences de l'hygiène les conditions que doivent remplir les eaux issues des eaux calcaires* ». Des pays concernés par ces questions, seuls huit ont adressé les rapports écrits qui avaient été sollicités : trois de Grande-Bretagne, deux de France, un d'Italie, de France et de Suisse, alors que l'Allemagne et l'Autriche, très touchées par ces problèmes, n'ont pas fait part de leurs points de vue.

Schardt relève « *que M. Martel, le savant spéléologue, impressionné par les résultats de ses explorations souterraines qui lui ont révélé la facilité extrême de la pénétration des eaux de surface dans les cours sourciers est d'un pessimisme effrayant et place en tête de son rapport les mots sinistres. Les eaux issues des terrains calcaires sont la plupart du temps dangereuses, - toujours suspectes,² - on ne doit les utiliser qu'après l'étude la plus sérieuse de leur origine [...] il ne faut se résoudre à leur emploi que s'il est impossible d'en utiliser d'autres [...]* (Schardt 1904, p. 223). Le pessimisme de Martel n'est cependant pas partagé par tous.

M. Van den Broeck (secrétaire de la Société belge de Géologie) est également d'un avis fort pessimiste en demandant une surveillance continue pour les approvisionnements destinés à l'alimentation.

Dans son propre rapport, Schardt remarque que, comme les roches calcaires couvrent une large partie de la surface de la Suisse, il est impossible de renoncer à ces ressources. Il

² En italique dans l'original.

évoque les mesures qui ont déjà été prises et celles qui devront être envisagées, dont certaines de nature législative pour préserver leur utilisation alimentaire.

« Malgré la situation très favorable dans laquelle nous nous trouvons, il faut envisager l'avenir et prendre toutes les précautions possibles »(Schardt 1904, p. 223).

« La nature des eaux de sources dépend directement de l'état dans lequel se trouve le champ nourricier de celles-ci [et] le calcaire [est] lui-même absolument incapable de produire un effet filtrant, la bonne qualité des eaux dépendant des possibilités de filtration au niveau de la surface collectrice » (Schardt 1904, p. 232). Il importe donc de préserver la couverture végétale et le sol qui jouent cet effet filtrant et régulateur et éviter de laisser entrer des eaux usées et polluées dans des masses calcaires.

Les conditions hydrologiques des sources sortant des terrains calcaires ne sont donc pas trop défavorables au point de vue hygiénique : « Avec l'augmentation de la population [...] ces conditions se modifient [...]. Nous n'avons pas encore de lois spéciales prescrivant des zones de protection autour des sources utilisées pour l'alimentation publique. Le moment viendra, sans doute, où la nécessité d'une pareille législation sera reconnue dans l'intérêt de l'avenir » (Schardt 1904, p. 237).

Schardt commente également les approvisionnements en eau pratiqués dans les lacs suisses « dont l'eau devient de plus en plus infectée, tant par les égouts et les immondices que par les eaux industrielles, si bien que quoique filtrée, elle conserve un goût désagréable » (Schardt 1904, p. 239).

Pour clore ce propos, signalons qu'actuellement la distribution des eaux dans le canton de Neuchâtel dépend pour 85 % des eaux de source, le reste provenant de pompages effectués dans le lac depuis 1947.

Nouveau départ de l'hydrologie

Avec le départ de Schardt de Neuchâtel en 1911, les notes scientifiques de caractère hydrologique disparaissent assez rapidement des publications de la SNSN. Elles reprendront, pour un temps, à partir des années soixante, à la suite de la création d'un enseignement d'hydrologie à l'université de Neuchâtel, pour disparaître presque totalement dès le moment où le Centre d'hydrogéologie de Neuchâtel, crée sa propre publication : le *Bulletin du Centre d'Hydrogéologie*.

En 1956 déjà, André Burger, qui venait d'achever une thèse sur le Bassin de l'Areuse sous la direction d'Eugène Wegmann, publie une courte note (Burger 1956) qui renouvelle l'approche des écoulements dans le karst. L'analyse mathématique des courbes de décrue qu'il aborde,

pratiquée sur les données de l'Areuse, le conduit à proposer que le débit de cette rivière comprend deux composantes, l'une alimentée par les larges chenaux, l'autre par des eaux de rétention associées aux terrains meubles superposés, ainsi qu'aux eaux de suintement des fentes capillaires. Burger a reçu une formation en biologie et en géologie. Par la suite, il a occupé une fonction dans le cadre de la gestion des eaux à l'État de Neuchâtel où il a acquis, entre autres, une riche expérience dans les problèmes de la distribution de l'eau au niveau régional. Il sait que celle-ci se trouve naturellement emmagasinée en altitude dans les grands aquifères karstiques perchés, mais que son exploitation se pratique dans les zones basses là où sont situées les résurgences. Pour la rendre disponible aux communautés, après son captage, il faut donc la refouler en altitude, occasionnant ainsi d'importantes dépenses. Il sait également que l'exploitation des ressources hydrauliques est fortement pénalisée par leur régime à fortes variations de débit. Dans ces deux cas, il se demande si une meilleure connaissance du comportement des eaux prises dans les réservoirs du Jurassique supérieur permettrait de résoudre ou au moins d'améliorer cette question. Fondateur du Centre d'hydrogéologie de l'université, cette interrogation formera la base de son action d'enseignement et de recherche dans le groupe qu'il anime, marqué par des personnalités passionnées, restées assez soudées malgré des approches passablement divergentes. Autour de Bernard Mathey et de Jean-Pierre Tripet se constitue un groupe de chercheurs préoccupés par de possibles applications, qui font état de leurs travaux entrepris dans le Jura voisin où ils examinent d'éventuelles relations entre la fracturation des roches, la morphologie régionale et le développement de cavités karstiques, ainsi que par les problèmes touchant l'hétérogénéité des gradients hydrauliques, les variations de niveaux piézométriques, parfois l'hydrochimie. Laszlo Kiraly prend, pour sa part, une approche beaucoup plus théorique qui se marque dans son élaboration de la *Carte hydrogéologique du Canton de Neuchâtel* à 1 : 50 000 (Kiraly, 1973), mais surtout dans son approche des écoulements au moyen de la modélisation. Cette carte, publiée comme supplément du *Bulletin* de la SNSN, présente de façon synthétique et assez novatrice les caractéristiques des principaux aquifères régionaux. Une attention toute particulière a été donnée à ceux du Jurassique supérieur, à leur géométrie ainsi qu'à leurs systèmes d'écoulement. On a précisé les limites des principaux bassins karstiques, celles des nappes captives du Malm, ainsi que la position des forages, des sources souterraines, captées ou non captées, avec des indications de débit moyen, etc. La carte est basée sur une analyse structurale soignée ayant regroupé toutes les informations disponibles pour présenter, par des isohypses, la géométrie précise du toit de l'Argovien marneux limitant les aquifères du Malm. Une attention particulière a été donnée aux diverses discontinuités, décrochements, failles et chevauchements ainsi qu'aux plis secondaires. Cette documentation structurale que l'auteur pensait utiliser pour des études portant sur la cinématique et la dynamique des plis du Jura a été publiée de façon indépendante (Kiraly, 1969). Dans la notice de la carte, l'auteur présente une analyse des problèmes de la perméabilité des calcaires en milieu karstique, une donnée de base très variable en fonction de l'effet d'échelle. Alors qu'elle se situe principalement entre $5 \cdot 10^{-6}$ et 10^{-7} m/s dans les sondages, elle peut atteindre des valeurs de l'ordre de 10^{-3} m/s dans

les bassins synclinaux du Malm, permettant ainsi d'expliquer les grands débits des sources alimentées par des aquifères à faible gradient. Cette situation est le reflet d'un réseau karstique, globalement de faible volume, mais très perméable, qui recoupe un milieu poreux peu perméable mais de volume très important.

Après la création du *Bulletin du Centre d'Hydrogéologie*, Imre Muller est le seul chercheur d'hydrogéologie à publier encore quelques notes dans le *Bulletin* de la SNSN. Il y préconise l'utilisation de méthodes géophysiques, qu'il pratique avec des appareils de sa fabrication, dont des équipements électromagnétiques VLF-R, devant permettre une meilleure connaissance de l'hétérogénéité des aquifères karstiques et d'autres paramètres géologiques.

À Neuchâtel, les échanges et les dialogues interdisciplinaires qui avaient caractérisé et animé la vie de la Société durant la fin du XIX^e siècle ne sont pas absents des milieux où se pratique cette nouvelle approche de l'hydrogéologie, mais celle-ci se développe principalement en dehors de la SNSN, souvent en milieu plus fermé. Ce changement, partiellement lié à la spécialisation des sciences, a certainement conduit à un affaiblissement de l'esprit de collaboration qui dominait la SNSN au moment de sa création.

Morphologie et pédologie

La connaissance du paysage et celle de son évolution font partie intégrante des préoccupations des géologues du XIX^e siècle et imprègnent alors toutes les études de caractère régional. Dans le Jura plissé neuchâtelois, ce sont les relations entre la tectonique et la morphologie qui intéressent avant tout les chercheurs, ainsi que celles associées aux changements de faciès dans certains horizons. Par la suite, on s'intéresse surtout aux traces laissées par les glaciers, à l'évolution du réseau hydrographique et aux éboulements. Plus tard encore, principalement sous l'influence de Daniel Aubert, la dissolution des calcaires soumis aux influences structurales, climatiques et pédologiques devient prépondérante dans l'approche morphologique. Le volume 113 du *Bulletin* de la SNSN, qui publie les travaux présentés lors d'une réunion dans laquelle ce chercheur était honoré, situe l'importance de son influence sur les recherches qu'il a conduites et inspirées dans le Jura.

À la SNSN, les débuts de l'approche quantitative de la dissolution des calcaires dans le Jura sont liés à une thèse conduite en collaboration entre les instituts de chimie et de géologie de l'université. On y montre que l'eau apportée dans le lac de Neuchâtel par les effluents y subit une décalcification d'environ 30 % qui conduit, dans le lac, à la formation de dépôts annuels de craies lacustres, épaisses de 0,7 mm (Portner, 1952).

Avec des précipitations de l'ordre de 1500 mm, dont un tiers disparaît par évaporation, les calcaires du haut Jura sont ainsi soumis à une importante action de dissolution par les eaux qui, après avoir corrodé la surface, s'enfoncent dans les fissures qu'elles contribuent à élargir.

L'hétérogénéité de la fissuration des calcaires conduit à une différenciation de cette action de dissolution et à la formation de dépressions karstiques que sont les crevasses, dolines ou emposieux. Aubert (1967 et 1969) montre, qu'en moyenne, l'ablation superficielle dans le Jura est de l'ordre de 50 mm par millénaire. Par la suite, il réduit cette donnée de moitié (Aubert, 1975). Au cours des temps géologiques, le Jura a connu deux épisodes d'érosion karstique. Le plus ancien, qui marque la fin du Crétacé et se poursuit jusqu'au Miocène, semble s'être manifesté sur une surface d'érosion assez uniforme, tranchant sous un petit angle les séries stratigraphiques qui ne sont encore que peu marquées par la fracturation dans un paysage de faible relief. Lors du plissement et par la suite, l'érosion karstique s'est poursuivie non plus uniformément, mais en se différenciant, comme dans le karst actuel, en fonction des structures, tout particulièrement celles des zones de fissuration (Aubert, 1975).

Dans le Jura, la morphologie a également été affectée par l'ancienne présence de glaciers qu'Agassiz avait déjà signalés. Considérées alors comme de modestes appareils, les recherches de Daniel Aubert (1966 et 1967) l'amènent à reconnaître, dans le Jura vaudois, la présence d'une ancienne calotte de glace épaisse de plusieurs centaines de mètres, qui a provoqué un important travail d'érosion, très différent de ceux des glaciers des vallées. Les régions anciennement recouvertes par ces appareils sont caractérisées par un paysage rocheux où les bancs calcaires en relief sont séparés par des couches marneuses. Dans les régions où cette calotte n'était pas présente, comme dans le Jura neuchâtelois, le sol est occupé par des prairies et des cultures qui masquent le relief rocheux sous-jacent, c'est le « *Jura des pelouses* ».

Par ses études sur les sols du Jura, Michel Pochon a apporté une importante contribution à la compréhension du paysage jurassien et de son évolution (Pochon, 1973 et 1975). Ces deux notes, qui résument des conférences présentées par l'auteur dans le cadre des séances de la SNSN, montrent que les sols du Jura, anciennement associés à un héritage direct à partir des résidus de décarbonatation des calcaires de leur substratum, résultent en fait d'apports éoliens caractérisés par des associations minéralogiques avec quartz, feldspaths (plagioclases surtout) et différents silicates absents du résidu insoluble des calcaires. Cette donnée le conduit à les associer à un flux d'origine éolienne. Ils se sont principalement accumulés dans les dépressions d'altitude, où, épais, ils peuvent évoluer vers des sols bruns lessivés. Ces notes ont fourni la matière d'un important travail publié en dehors de la SNSN (Pochon, 1978).

Dans un registre différent, Michel Montbaron (1973) présente, par une analyse quantitative soignée, les conséquences d'une trombe d'eau ayant, dans le Val-de-Travers, causé de spectaculaires modifications morphologiques le long de torrents à écoulement temporaire. Il compare les effets exceptionnels de cette petite catastrophe par rapport à la dissolution considérée comme étant un phénomène continu à l'échelle de l'année. Il montre que, dans le temps très limité d'un gros orage, on assiste à une érosion de 6 300 m³ de matériaux correspondant à une ablation moyenne de 2,62 mm sur l'ensemble du petit bassin de réception

local, qui provoque cependant une érosion moyenne de 1,5 m au niveau du chenal d'érosion. Ces données permettent d'approcher d'heureuse façon le problème du continu et du discontinu, de l'uniformitarisme et du catastrophisme dans un même espace et en un temps très court.

Applications des connaissances acquises

Pour assurer l'approvisionnement des populations en eaux de qualité et en quantité suffisante, on juge que quatre types de sites peuvent être envisagés :

a) recherche de sources connues ou à découvrir près des centres de consommation ; ces objectifs présentent la plupart du temps des garanties de qualité mais manquent de satisfaire aux besoins de quantité ;

b) recherche d'eaux captives ; ces solutions paraissent très incertaines dans le Jura ;

c) les captages de sources abondantes mais lointaines demandent de gros investissements et sont souvent situés en basse altitude ;

d) l'exploitation des eaux des lacs ; elles n'ont pas une bonne réputation sanitaire ; elles sont parfois lointaines et de plus situées à basse altitude.

C'est dans la région de la Chaux-de-Fonds que la SNSN mentionne les premières recherches d'eaux basées sur des critères géologiques. Dans cette localité, située à plus de 1 000 m d'altitude, qui connaît alors un important développement, l'approvisionnement en eau présente des difficultés qui ne cessent d'augmenter tant sur le plan des quantités que sur celui de leurs qualités. Célestin Nicolet pense que les calcaires d'eau douce du Miocène plissés, disloqués et fracturés situés au cœur du synclinal sur lequel la ville est construite, présentent une structure en bassin favorable pour que les eaux s'y accumulent au-dessus des niveaux imperméables sur lesquels ils reposent. En creusant trois ou quatre puits et en les poussant au-dessous du niveau piézométrique local, Nicolet estime qu'on devrait y rencontrer de grandes réserves d'eau.

En 1875, les résultats de forages entrepris sous la direction de Jaccard, dans la perspective des propositions de Nicolet, ne sont pas aussi prometteurs qu'on l'avait espéré. La structure synclinale à bords relevés à la verticale de la vallée que prédisait Nicolet est plus complexe que ne l'indiquent ses profils géologiques. À faible profondeur, les débits rencontrés restent modestes. Jaccard espère bien qu'ils pourront sensiblement augmenter lors de leur approfondissement. Malheureusement cette attente ne se confirme pas. Les espoirs de découvrir un approvisionnement local paraissent fortement compromis (Jaccard, 1875).

À Neuchâtel également, plusieurs travaux entrepris n'apportent pas de solutions satisfaisantes. Pour y remédier, l'ingénieur Guillaume Ritter (1835-1912), formé aux ponts et

chaussées de Paris, propose d'abord d'aménager une dépression naturelle marneuse, située sur les hauts de Neuchâtel, pour la transformer en un grand réservoir à l'air libre dont l'alimentation serait assurée par un aqueduc déviant les eaux d'un cours d'eau voisin (Ritter, 1864). Le site de l'accumulation d'eau placé dans la partie supérieure de la ville servirait aussi bien aux eaux destinées à l'alimentation qu'à fournir un potentiel de force motrice pour les industries locales. Ce projet, assez audacieux pour l'époque, n'est pas retenu du fait qu'il propose des prélèvements d'eau au niveau d'une rivière présentant de sérieux risques de pollution.

Après cet échec, Ritter lance un nouveau projet plus ambitieux (Ritter, 1878) qui devrait apporter de l'eau aux deux communes principales du canton : Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds. Devisé alors à 3,5 millions de francs, il propose de capter, par galeries, des eaux qui d'après lui doivent être présentes dans les sédiments quaternaires du fond du Val-de-Travers. De là, avec un débit estimé de 10 000 l./sec, les eaux seraient conduites par un aqueduc jusqu'à une usine électrique située 30 m plus bas, où une partie de ce flot serait refoulé 300 mètres plus haut, en utilisant la force hydraulique gagnée pour assurer les besoins de La Chaux-de-Fonds (altitude 1000 m). Le solde du débit serait ensuite conduit par gravité vers les réservoirs de Neuchâtel. Au cours de cette première étude, Ritter a fait l'inventaire de très nombreuses sources présentes à l'aval dans les gorges de l'Areuse, qu'il serait possible de capter pour les amener à Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds. Il renonce d'abord à envisager leur captage du fait qu'elles sont situées à des altitudes inférieures et, de ce fait, elles augmenteraient sensiblement les besoins en énergie.

Les incertitudes quant aux possibilités de pouvoir capter les eaux situées dans les sédiments du fond du Val-de-Travers et surtout les réserves formulées sur leur qualité conduisent tout de même Ritter à se rabattre sur ces sources dont les eaux seront acheminées par deux conduites, l'une de 13 km vers Neuchâtel, l'autre de 20 km vers La Chaux-de-Fonds, avec un refoulement de près de 500 m. La réalisation de ces importants travaux pour l'époque, exécutés entre 1886-1887, conduit l'ingénieur Ritter à se lancer dans une autre aventure, plus ambitieuse encore.

Alimentation de Paris par les eaux du lac de Neuchâtel (Ritter, 1888)

En 1888, Ritter présente et publie à la SNSN le projet qu'il a mis au point pour apporter, par une déviation des eaux du lac de Neuchâtel, un complément d'eau qui paraît nécessaire à l'approvisionnement de la capitale française. À cette époque, malgré des travaux importants, cette ville souffre assez souvent de pénurie dans son approvisionnement en eaux de qualité. Pour remédier à cette situation, en cas de besoin, on introduit dans les systèmes de distribution des eaux de la Seine riches en microbes. Ces actions ont conduit à des recrudescences du

typhus et à des augmentations – pouvant atteindre 300 % – du nombre de malades reçus dans les hôpitaux.

Les prélèvements dans le lac de Neuchâtel seraient effectués par aspiration à des profondeurs de 100 m dans des niveaux à 4° C, jugés immobiles et sans relation avec les eaux de surface. Les analyses microbiennes confirment leur bonne qualité sanitaire. Pour conduire les eaux à Paris, le Jura serait traversé par un tunnel de 37 km, dont l'exécution devrait pouvoir se réaliser en quatre années au plus grâce à de multiples attaques qui pourraient être pratiquées à partir de gorges profondes présentes dans ces régions. D'après l'auteur, le percement ne devrait pas présenter de sérieuses difficultés (faible température, pas ou peu de risques d'infiltration par des nappes souterraines). Il permettrait même de résoudre la question de la possible existence de houille sous la couverture du Jura. L'ouvrage comporterait plus de 23 km de tunnel, 118 km de ponts, 29,5 km de siphons et 255 km de tranchées pouvant apporter à Paris 4 à 500 000 m³ d'eau de qualité par jour arrivant dans la capitale française à une température estimée à 10° C. Le long de son voyage, elle pourrait alimenter 1 000 à 1 500 localités. Le projet prévoit même que les eaux, arrivant à Paris à une altitude de 120 m, pourront être utilisés pour produire assez d'électricité pour assurer l'éclairage des rues et des places de Paris. Toujours optimiste, Ritter juge que les prélèvements effectués au niveau des lacs jurassiens n'auraient aucune influence néfaste du fait qu'ils ne représentent que le 1/8 ou 1/10 de leur renouvellement.

Rôle de la SNSN et conséquences

À la SNSN, lors des séances où l'on débattait des recherches sur l'exploitation des eaux, les controverses furent parfois vives entre les ingénieurs (surtout Ritter), les géologues, les chimistes, les médecins et quelques amateurs éclairés. Il paraît certain que ces séances ont donné une certaine légitimité à la Société qui organisait de tels débats où l'intérêt des populations locales était au centre de la discussion. La plupart des arguments présentés par les intervenants sont accessibles aux personnes présentes (une minorité de la population). Dans un sens, on paraît plus attaché à défendre des positions qui ne dépendent pas toujours de la rationalité. On est partiellement étonné de constater que Schardt, par exemple, qui est l'auteur d'un remarquable article sur les risques liés à l'exploitation des sources provenant des massifs calcaires, leur donne la préférence par rapport aux risques liés aux prélèvements dans les lacs, sans qu'il justifie les raisons de ses craintes.

Le rôle de Ritter à la SNSN

Ritter n'a pas seulement été un ingénieur cherchant à exploiter les eaux. Il a aussi été l'auteur de soixante communications dans le *Bulletin* de la SNSN où, au-delà de sujets techniques et d'ingénieurs, il aborde des questions variées touchant la géomorphologie, la

paléontologie, l'archéologie et la sédimentologie, tout particulièrement celle des dépôts quaternaires et des évolutions actuelles.

Par son activité, ses communications techniques et scientifiques, Guillaume Ritter se place dans le courant des fondateurs de la SNSN. Il est de ceux qui sont persuadés que les applications scientifiques apportent des ressources pour élever le bien-être des populations. Il est convaincu que les sciences demandent une approche multidisciplinaire qu'il pratique lui-même. Son engagement à communiquer participe à l'éducation de chacun afin que la marche en avant de la société soit facilitée. Son enthousiasme débordant le conduit parfois à outrepasser les connaissances géologiques qu'il a acquises en amateur passionné.

Paléontologie et stratigraphie

La paléontologie ne joue qu'un rôle mineur dans la production de la *Société des Sciences naturelles de Neuchâtel*. Elle n'est bien représentée qu'à l'époque où Agassiz réside à Neuchâtel. Par la suite, en dehors de notes historiques, ou de son association avec des notes stratigraphiques, elle disparaît presque totalement jusqu'en 1989 où paraît le *Mémoire* 11 de la SNSN consacré à la révision de l'étage Hauterivien. Dans cet important travail, les faunes et les flores ayant une importance stratigraphique (ammonites, échinides, térébratules, ostracodes, nannoplancton, palynologie, algues calcaires) sont présentées et placées dans le cadre lithologique précis des affleurements locaux.

Le premier *Mémoire* de la Société contient l'importante contribution historique de Louis Agassiz (1835a) : *Notice sur les fossiles du terrain Crétacé du Jura* (Agassiz, 1837) ainsi la première publication que cet auteur consacre aux échinodermes (Agassiz, 1835b). Dans le *Mémoire* 2, Agassiz étend ses travaux sur ces organismes (Agassiz, 1839a) et présente une étude sur les moules et mollusques vivants (Agassiz, 1839b). Le volume 4 des *Mémoires* publie deux contributions de Loriol (de Loriol, 1874a et b) sur les oursins ainsi que le travail de thèse de Maurice de Tribolet (1874) : *Recherches géologiques et paléontologiques dans le Jura neuchâtelois. 1ère partie*. Cette contribution illustre la façon dont la paléontologie est alors associée à la stratigraphie. Dans la suite des séries sédimentaires, M. de Tribolet et de nombreux géologues de son entourage, estiment que les limites d'étages sont associées à des changements de faciès. À l'intérieur de ces limites, l'ensemble des faunes récoltées est regroupé, déterminé de façon assez sommaire, très rarement illustré, pour établir de longues listes de fossiles devant permettre d'identifier la suite des étages (en fait des formations), sans que la position des récoltes soit précisée à l'intérieur de ces unités. Au-delà des premiers inventaires, présentant la suite des faunes définissant les « étages », Tribolet complètera ce premier travail, par une suite de petites notes, des compléments rapportant les résultats de nouvelles récoltes. De semblables recensements accompagnent alors la plupart des études régionales.

Il faudra attendre l'arrivée de Schardt à Neuchâtel, un peu avant 1900, pour que stratigraphie et paléontologie soient traitées avec plus de rigueur. L'ancienne approche persistera cependant dans de nombreux travaux régionaux ultérieurs. Cette situation est d'autant plus étrange qu'elle est pratiquée dans un pays où Gressly avait rédigé son œuvre sur la variabilité des faunes en fonction des différents faciès. On assiste à des études plus soignées avec des déterminations plus précises des faunes et leur localisation exacte dans la succession des strates. Les séries crétacées du Valanginien étudiées par Baumberger et Moulin (1898) sont les premières à bénéficier de ce développement. Ultérieurement, Jeannet et Jurod (1925 et 1926) précisent la succession des faunes d'ammonites présentes dans les lithologies marquant la passage du Jurassique moyen au Jurassique supérieur dans le canton. Un certain nombre de petites notes du *Bulletin*, le plus souvent sans illustrations, mentionnent la découverte de fossiles inattendus permettant de préciser l'âge de certaines formations.

Dans les études lithologiques, on doit signaler les nombreux travaux entrepris sur la minéralogie des séries jurassiques, crétacées et tertiaires. Ces travaux entrepris sous la direction du professeur Bernard Kübler ont débouché sur des analyses comparatives entre associations minéralogiques, argiles principalement et microfaciès, afin de mieux approcher les milieux de dépôt de ces séries (Adatte et Rumley ; 1984, Bolle *et al.*, 1998)

Une mention spéciale doit être faite de l'important mémoire consacré à la révision de l'étage Hauterivien (Remane *et al.*, 1989). Il est également nécessaire de signaler les études que Jeannet a consacrées à la révision des originaux des faunes fossiles d'Agassiz conservés à Neuchâtel : poissons (Jeannet, 1927 et 1928b), échinides (Jeannet, 1928a) et trigonies (Jeannet, 1932), qui, pour un temps, se trouvaient à l'Institut de géologie de Neuchâtel, mais qui ont actuellement été déplacées au Muséum de la ville.

Conclusions

Tant par des approches globales que par des analyses de détail, les publications de la SNSN ont contribué à l'amélioration des connaissances géologiques régionales et ont abordé, avec un certain succès, quelques questions générales. Au moment de sa fondation, cette activité visait avant tout à établir des échanges à l'intérieur d'un petit groupe désireux de bénéficier des compétences de chacun, mais aussi pour en faire profiter la communauté locale, en particulier pour servir aux bienfaits de l'éducation. Les chercheurs de ces époques anciennes étaient certainement conscients que leur générosité affichée pouvait également servir leur gloire et leur destin. Dans un monde où les échanges étaient difficiles, ces structures, qui sont restées vivantes, ont pu se maintenir durant près d'un siècle. Le civisme de personnalités rayonnantes comme Jaccard, de Montmollin ou Schardt, fortement attachés aux territoires sur lesquels ils portaient leur regard, a permis de maintenir l'élan généreux des fondateurs. Les modifications survenues dans le domaine des publications scientifiques, les facilités d'échanges, la

spécialisation de la recherche comme celle des revues, ont fait perdre leur éclat aux *Bulletins* et aux autres activités de sociétés comme la SNSN qui désiraient maintenir une approche multidisciplinaire. De nos jours, les modifications de structure et d'intérêt de ce type de sociétés servent presque exclusivement à la présentation de travaux de débutants qui, par les contraintes de leur formation, ne peuvent le plus souvent qu'aborder des sujets limités dont la signification échappe souvent à ceux qui sont extérieurs à la discipline. Cette situation est encore aggravée par le peu d'importance que la communauté internationale accorde aux publications issues de revues à caractère régional. Les sociétés comme la SNSN ont joué un rôle non négligeable en favorisant un certain contact entre les chercheurs et le public en général.

Remerciements

L'auteur exprime sa gratitude au secrétariat de l'Institut d'hydrologie de l'université de Neuchâtel qui lui a apporté son aide dans l'élaboration de ce travail.

Bibliographie

Prochainement, toutes les publications de la SNSN seront accessibles sur la toile à l'adresse : <http://www.unine.ch/SNSN/publications.html>

ADATTE, T. et RUMLEY, G. (1984). Microfaciès, minéralogie, stratigraphie et évolution des milieux de dépôts de la plate-forme berriaso-valanginienne de la région de Sainte-Croix (VD), Cressier et du Landeron (NE). *Bull. SNSN*, **107**, p. 221-239.

ADHEMARD (1842). *Révolution de la mer*, Ouvrage publié à compte d'auteur, Paris.

AGASSIZ, L. (1835a). Notice sur les fossiles du terrain crétacé du Jura. *Mém. SNSN*, **1**, p. 126-145.

AGASSIZ, L. (1835b). Prodrôme d'une monographie des Radiaires ou Echinodermes. *Mém. SNSN*, **1**, p. 168-199.

AGASSIZ, L. (1837). Discours prononcé à l'ouverture des Séances de la Société Helvétique des Sciences naturelles à Neuchâtel le 24 juillet 1837. *Actes Soc. Helv. Sciences naturelles 1837*, p. V-XXXII.

*AGASSIZ, L. (1839a). Notice sur quelques points de l'organisation des Euryales accompagnée de la description détaillée de l'espèce de la Méditerranée. *Mém. SNSN*, **2**, 14 p.

*AGASSIZ, L. (1839b). Mémoire sur les moules de Mollusques vivants et fossiles. 1ère partie : moules d'Acéphales vivants. *Mém. SNSN*, **2**, 48 p.

* Dans les volumes 2 à 4 des *Mémoires*, chaque note possède sa propre pagination. Le volume 1 des *Mémoires* possède un bulletin bibliographique (traduction de l'article de Lyell avec sa propre pagination).

- ARN, R. et CAMPY, M. (1989). Un problème de paléogéographie glaciaire au maximum würmien dans la zone circumalpine : le glacier jurassien. *Bull. SNSN*, **112**, p. 115-131.
- AUBERT, D. (1965). Calotte glaciaire et morphologie jurassienne. *Eclogae geol. Helv.*, **58/1**, p. 555-578.
- AUBERT, D. (1966). Structure, activité et évolution d'une doline. *Bull. SNSN*, **89**, p. 113-120.
- AUBERT, D. (1967). Estimation de la dissolution superficielle dans le Jura. *Bull. Soc. vaudoise Sci. nat.*, **69/8**, p. 365-376.
- AUBERT D. (1969). Phénomènes et formes du karst jurassien. *Eclogae geol. Helv.*, **62/2**, p. 325-399.
- AUBERT, D. (1971). Le relief calcaire jurassien. *Bull. SNSN*, **94**, p. 135-136.
- AUBERT, D. (1975). Evolution du relief jurassien. *Eclogae geol. Helv.*, **68/1**, p. 1-64.
- BEGUIN, F. (1900). Un pli-faille à Châtollion. *Bull. SNSN*, **28**, p. 206-214.
- BAUMBERGER, E. et MOULIN, H. (1898). La série néocomienne à Valangin. *Bull. SNSN*, **26**, p. 150-210.
- BOLLE, M. P., ADATTE, T., MANGOLD, C. et REMANE, J. (1998). Microfaciès, minéralogie, stratigraphie du Dogger de la région du Furcil (NE). *Bull. SNSN*, **119**, p. 123-144.
- BURGER, A. (1980). Progrès récents dans l'étude des nappes d'eau souterraines karstiques dans le Jura. *Bull. SNSN*, **103**, p. 141-142.
- BUXTORF, A. (1907). Vier Profile durch das nordschweizerische Juragebirge der Ketten Jura als "gefaltete Abscherungdecke" aufgefasst. *Bericht über die XXX. Versamml. des Oberrhein geol. Verein zu Lindau*, p. 19-36.
- CONNE, F. (1904). La valeur de l'eau du lac de Neuchâtel pour l'alimentation. *Bull. SNSN*, **32**, p. 215-220 + 350-353.
- DESOR, E. (1864). Expérience pour connaître le temps de parcours des eaux depuis les Ponts jusqu'aux sources de la Noiraigue. *Bull. SNSN*, **7**, p. 37-40.
- *DESOR, E. et FAVRE, L. (1874). Le bel âge du bronze. *Mém. SNSN*, **4/2**, 111 p.
- DESOR, E. et GRESSLY, A. (1859). Etudes géologiques sur le Jura neuchâtelois. *Mém. SNSN*, **4/1**, i-vii +1-159 p., avec une carte géologique.
- DU PASQUIER, L. (1894). Périodicité des phénomènes glaciaires post-miocènes (et observations). *Bull. SNSN*, **18**, p. 59-73+189-191.
- DU PASQUIER, L. (1890). Le glaciaire du Val-de-Travers. *Bull. SNSN*, **22**, p. 3-32.
- FAVRE, J. (1911) Description géologique des environs du Locle et de La Chaux-de-Fonds. *Eclogae geol. Helv.*, **11**, p. 369-475.
- FREI, E. (1925). Zur Geologie des südöstlichen Neuenburger Jura, insbesondere des Gebietes zwischen Gorges de l'Areuse und Gorges du Seyon. *Matériaux Carte géol. Suisse*, **55**, (3), p. X+98.

- *GODET, C. (1839). Résumé des travaux de la société de 1834 à 1839 inclusivement (cf. p. 13). *Mém. SNSN*, **2**, 20 p.
- HIRSCH, A. (1867). Etude sur les causes cosmiques des changements de climat. *Bull. SNSN*, **7**, p. 506-509 + 561-580.
- HUANG, T. K. (1935). Etude géologique de la région du Weissmies-Portjengrat (Valais). *Bull. SNSN*, **60**, p. 3-76.
- IMBRIE, J. and PALMER IMBRIE, K. (1979). *Ice ages, Solving the Mystery*. Macmillan, London, 224 p.
- JACCARD, A. (1875). Alimentation de La Chaux-de-Fonds (nouveau projet). *Bull. SNSN*, **10**, p. 1-18, + après p. 217.
- JACCARD, A. (1877). Carte géologique en couleurs du canton de Neuchâtel. *Bull. SNSN*, **11**, p. 354.
- JACCARD, A. (1884). Note sur les sources de Combe-Garot. *Bull. SNSN*, **14**, p. 63-68.
- JACCARD, A. 1886: Sur la source de La Reuse et le bassin des Taillères. *Bull. SNSN*, **15**, p. 60-64, 195-196.
- JEANNET, A. (1927). Les poissons fossiles originaux conservés à l'Institut de géologie de l'Université de Neuchâtel. *Bull. SNSN*, **52**, p. 102-124.
- JEANNET, A. (1928a). Les Échinides actuels et fossiles originaux conservés à l'Institut de géologie de l'Université de Neuchâtel. *Bull. SNSN*, **53**, p. 179-195.
- JEANNET, A. (1928b). Addition et rectifications à la note intitulée : Les poissons fossiles originaux conservés à l'Institut de géologie de l'Université de Neuchâtel. *Bull. SNSN*, **53**, p. 197-199.
- JEANNET, A. (1931). Les trigonies fossiles originales conservées à l'Institut de géologie de l'Université de Neuchâtel. *Bull. SNSN*, **56**, p. 369-374.
- JEANNET, A. et JUROD, C.D. (1925). Sur les terrains qui forment la limite du Dogger et du Malm dans le Jura neuchâtelois I. *Bull. SNSN*, **49**, p. 168-193.
- JEANNET, A. et JUROD, C.D. (1926). Sur les terrains qui forment la limite du Dogger et du Malm dans le Jura neuchâtelois II. *Bull. SNSN*, **50**, p. 101-119.
- KIRALY, L. (1966). Remarques sur la tectonique de Saint-Blaise (Neuchâtel). *Bull. SNSN*, **89**, p. 121-128.
- KIRALY, L. (1969). Bref commentaire à la carte structurale de la cinématique et la dynamique. Dans la notice explicative de la carte de la surface Argovien-Séquanien dans le canton de Neuchâtel. *Bull. SNSN*, **92**, p. 72-73.
- KIRALY, L. (1973). Notice explicative de la carte hydrogéologique du canton de Neuchâtel. Supplément du *Bull. SNSN*, **96**, tableau h.t. et carte.
- KIRALY, L., MEIA, J. (1967). Observations tectoniques dans une carrière de Chaumont (Jura neuchâtelois, Suisse), *Bull. SNSN*, **90**, p. 277-283.

- LADAME, H. (1835). Mémoire sur la formation de la surface du globe. *Mém. SNSN*, **1**, p. 149-167.
- *LADAME, H. (1839). Sur le soulèvement des montagnes et des continents: *Mém. SNSN*, **2**, 3 p.
- LADAME, H. (1868). Traduction du Mémoire de J. F.-W Herschel intitulé : Sur les causes astronomiques qui ont une influence sur les phénomènes géologiques. *Bull. SNSN*, **8**, p. 137-146.
- *LORIOL, P. de (1874a). Description de quelques Astérides du terrain néocomien des environs de Neuchâtel. *Mém. SNSN*, **4/2**, 19 p.
- *LORIOL, P. de (1874b). Description de trois espèces d'Échinides appartenant à la famille des Cidaridés. *Mém. SNSN*, **4**, p. 26-38.
- *LYELL, C. (1835). Sur les preuves d'une élévation graduelle dans certaines parties de la Suède (Traduction P.L.A. Coulon). *Mém. SNSN*, **1**, Bull. bibliographique des Mémoires de la Société, p. 1-35 (en fin de vol.).
- MONTBARON, M. (1973). Incidences morphologiques d'une trombe d'eau dans le Val-de-Travers. *Bull. SNSN*, **96**, p. 109-121.
- MONTMOLLIN, A. de (1835). Mémoire sur le terrain créacé du Jura. *Mém. SNSN*, **1**, p. 49-65.
- MONTMOLLIN, A. de (1839). Note explicative de la carte géologique du canton de Neuchâtel. *Mém. SNSN*, **2**, 2 p., 1 pl.
- *NICOLET, C. (1839). Essai sur la constitution géologique de la vallée de La Chaux-de-Fonds. *Mém. SNSN*, **2**, 26 p.
- NICOLET, C. (1845). Projets d'alimentation des eaux de La Chaux-de-Fonds. *Bull. SNSN*, **1**, p. 240-241.
- PORTNER, C. (1952). Différents aspects de l'étude géochimique et hydrologique du lac de Neuchâtel. *Bull. SNSN*, **75**, p. 225.
- REMANE, J. *et al.* (18 contributions) (1989). Révision de l'étage Hauterivien (région type et environs, Jura franco-suisse). *Mém. SNSN*, **11**, 8 + 322 p.
- RICKENBACH, E. (1926). Description géologique du territoire compris sur les feuilles 278 et 280 de l'atlas topographique de Siegfried (Val de Travers, entre Fleurier et Travers, cirque de Saint-Sulpice et Vallée de la Brévine). *Bull. SNSN*, **50**, p. 1-76 et carte géol au 1:25 000.
- RITTER, G. (1864). Alimentation de la ville de Neuchâtel en eau. *Bull. SNSN*, **6**, p. 494-496.
- RITTER, G. (1878). Projet d'alimenter en eau Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds. *Bull. SNSN*, **11**, p. 324-329.
- RITTER, G. (1883). Mémoire sur l'hydrologie des gorges de la Reuse et du bassin de la Noiraigue. *Bull. SNSN*, **13**, p. 329-383.
- RITTER, G. (1884). Réfutation des erreurs contenues dans le Rapport de la Commission nommée par le Grand Conseil concernant l'utilisation de la Reuse et des sources des Gorges. Remarques de C. Nicolas et A. Jaccard. *Bull. SNSN*, **14**, p.161-190, 338-340, 343, 345-346 et 349.

- RITTER, G. (1888). Alimentation de Paris par les eaux du lac de Neuchâtel, *Bull. SNSN*, **16**, p. 155-166.
- RITTER, G. (1889). Formation de quelques sources du Jura neuchâtelois et en particulier de la source néocomienne de Bonvillars. *Bull. SNSN*, **17**, p. 25-35.
- SCHAER, J.-P. (1998). *Les géologues et le développement de la géologie en pays de Neuchâtel*. Muséum d'histoire naturelle de Neuchâtel, 80 p.
- SCHARDT, H. (1910). Un décrochement transversal au chaînon de Châtoillon sur Saint-Blaise. *Bull. SNSN*, **37**, p. 390-398.
- SCHARDT, H. (1904). Origine de la source de l'Areuse (la Daux). *Bull. SNSN*, **32**, p. 118-139.
- SCHARDT, H., DUBOIS, A. (1901-1902). Description géologique de la région des Gorges de l'Areuse (Jura neuchâtelois). *Bull. SNSN.*, **30**, p. 195-352, avec une carte géol. et profils à 1 : 15 000.
- SCHARDT, H. (1904). Les sources issues des terrains calcaires et leurs qualités comme eau d'alimentation. *Bull. SNSN*, **32**, p. 221-242.
- SOMMARUGA, A. (1997). Geology of the Central Jura and the Molasse Basin (new insight in an evaporite-based foreland and thrust belt (résumé étendu en français, légendes bilingues des figures et des planches). *Mém. SNSN*, **12**, p. 1-176.
- THURMANN, J. (1832-1836). Essai sur les soulèvements jurassiques de Porrentruy. *Mém. Soc. Hist. nat. Strasbourg*, F.G. Levrault, Paris-Strasbourg, 1832. In 4°, 84 p. 1 tabl. 5 pl.
- TRIBOLET, M. de (1874). Recherches géologiques et paléontologiques dans le Jura neuchâtelois, 1^{re} partie : terrains jurassiques supérieurs. *Mém. SNSN*, **4/2**, p. 37-144.
- TRIBOLET, M. de, ROUGEMONT, Ph. de (1870-73). *Carte géologique du Canton de Neuchâtel à l'échelle 1 : 100 000*, Neuchâtel.
- WEGMANN, E. (1923). Zur Geologie der St-Bernarddecke im Val d'Hérens. *Bull. SNSN*, **47**, p. 3-63.
- WEGMANN, E. (1950). L'exploration des espaces intercontinentaux. *Bull SNSN*, **73**, p. 81-100.