



**HAL**  
open science

**Présentation de l'ouvrage collectif Histoire de la connaissance géologique du Jura franco-suisse Mémoires de la Société neuchâteloise des sciences naturelles, tome XIII, Alphil-Presses universitaires suisses et Muséum d'histoire naturelle de la ville de Neuchâtel éditeurs**

Anna Sommaruga, Thierry Malvesy, Jean-Pierre Tripet

► **To cite this version:**

Anna Sommaruga, Thierry Malvesy, Jean-Pierre Tripet. Présentation de l'ouvrage collectif Histoire de la connaissance géologique du Jura franco-suisse Mémoires de la Société neuchâteloise des sciences naturelles, tome XIII, Alphil-Presses universitaires suisses et Muséum d'histoire naturelle de la ville de Neuchâtel éditeurs. Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie, 2022, 3ème série (tome 36), pp.117-140. hal-04646271

**HAL Id: hal-04646271**

**<https://hal.science/hal-04646271v1>**

Submitted on 12 Jul 2024

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

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

**Présentation de l'ouvrage collectif**  
***Histoire de la connaissance géologique du Jura franco-suisse***  
**Mémoires de la Société neuchâteloise des sciences naturelles,**  
**tome XIII, Alphil-Presses universitaires suisses et Muséum**  
**d'histoire naturelle de la ville de Neuchâtel éditeurs, 570 p.**

Anna SOMMARUGA, Thierry MALVESY et Jean-Pierre TRIPET

**Avant-propos**

L'ouvrage (Fig. 1) présenté le 9 mars 2022 par l'un de nous (Thierry Malvesy) représente la première grande synthèse sur l'histoire de la connaissance géologique de l'Arc jurassien franco-suisse ; il retrace près de trois cents ans de recherche. L'étude couvre la région qui s'étend de Dielsdorf (à l'est de Baden, Suisse) à Voreppe sur l'Isère (France) et qui est limitée au nord par la vallée du Doubs, de Montbéliard à Dole, à

l'ouest par le fossé de la Bresse, et au sud-est par le Bassin molassique. L'ouvrage tient compte du large éventail des domaines touchant aux sciences de la Terre et de l'eau. Ses différentes parties sont consacrées respectivement à la géologie de surface, à la géologie structurale et à l'hydrogéologie. Chacune constitue un ensemble cohérent et indépendant, qui peut faire l'objet d'une lecture spécifique.

Ce travail collectif s'inscrit dans les Mémoires de la Société neuchâteloise des sciences naturelles, tome XIII, éditées par la société Neuchâteloise Alphil-Presses universitaires suisses, en collaboration avec le Muséum d'histoire naturelle de la ville de Neuchâtel.

Les auteurs sont au nombre de huit (Fig. 2).

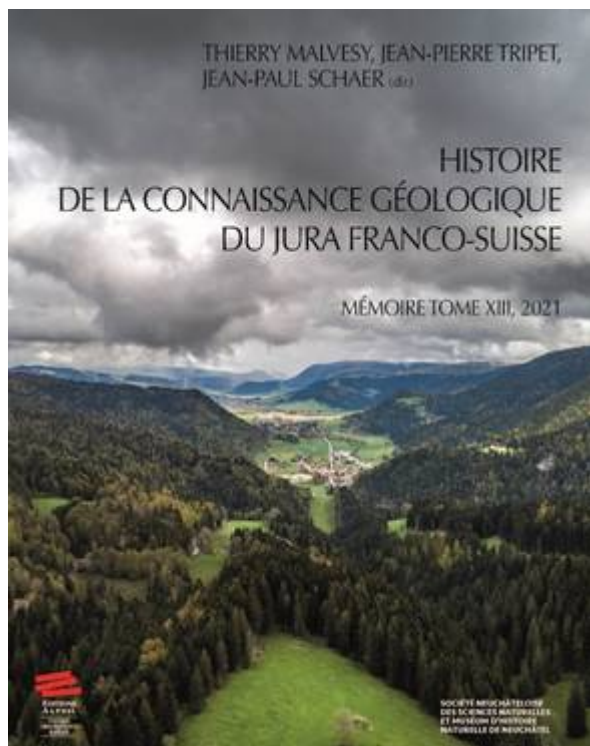


Fig. 1. Couverture de l'ouvrage.



Fig. 2. Les auteurs et les enfants de Jean-Paul Schaer lors de la sortie officielle de l'ouvrage au Muséum d'histoire naturelle de Neuchâtel, le 15 décembre 2021.



**Anna SOMMARUGA** (Fig. 3). Née en 1966 à Rome (Italie). Privat-docente en géologie à l'université Fribourg, elle est spécialiste en interprétation sismique et en tectonique. Elle a étudié à Neuchâtel, où elle a obtenu son doctorat en géologie structurale. Elle s'est spécialisée à la Rice University (USA) et a travaillé trois ans pour le Service géologique norvégien. Par ses travaux, elle a contribué à une nouvelle vision du Bassin molassique suisse, de la chaîne du Jura ainsi que de la marge passive norvégienne.



**Michel CAMPY** (Fig. 4). Né en 1940 à Lavigny (Jura), il est professeur émérite en géologie de l'université de Bourgogne de Dijon. Il y fut chercheur du Centre des sciences de la Terre, membre de l'équipe CNRS Biogéosciences de Dijon puis président du conseil scientifique régional du patrimoine naturel, de 2005 à 2012. Aujourd'hui, il est un conférencier vulgarisateur en géologie et rédacteur d'ouvrages scientifiques... tout en cultivant sa vigne !



**Pierre-Yves JEANNIN** (Fig. 5). Passionné de spéléologie depuis l'âge de quinze ans, il devient géologue, hydrogéologue puis obtient son doctorat de l'université de Neuchâtel. En 2000, il crée l'Institut suisse de spéléologie et de karstologie (ISSKA), dont il est le directeur, pour établir des ponts entre la recherche académique et la pratique.



**Jacques MUDRY** (Fig. 6). Né en 1951 à Besançon (France). Professeur d'hydrogéologie (1993-2014). Utilise l'hydrochimie pour l'étude des circulations du karst (Jura, Méditerranée) et des socles instables (Alpes), de la recharge (Alpes, Méditerranée, Sahel) et des impacts anthropiques.



**François PASQUIER** (Fig. 7). Hydrogéologue retraité. Après des études à Zurich et une thèse au Centre d'hydrogéologie de l'université de Neuchâtel (nappe alluviale au pied du Jura bernois et soleurois), il travaille dans divers bureaux privés à Berne, puis à Baden (Nagra) avant de s'installer comme indépendant à Couvet, d'où il collabore à de nombreux projets (en particulier cartographie hydrogéologique, Jura neuchâtelois et vaudois).



**Jean-Paul SCHAER** (Fig. 8). Né à Buttes en 1928 et décédé à Cressier le 14 février 2021. Après son poste au Service géologique du Maroc, de 1960 à 1964, il est nommé, en 1964, professeur ordinaire à l'université de Neuchâtel. Il sera également professeur invité à l'université de Berkeley en Californie (États-Unis). Professeur honoraire, il se consacre à l'histoire de la géologie avec une option pour la vulgarisation.



**Jean-Pierre TRIPET** (Fig. 9). Né à La Chaux-de-Fonds en 1942, il obtient son diplôme d'ingénieur géologue à l'université de Genève, puis réalise son doctorat dans le domaine de l'hydrogéologie karstique à l'université de Neuchâtel. Il collabore ensuite à des projets de géologie appliquée et d'hydrogéologie pour un bureau d'ingénieurs conseils, en Suisse et outre-mer. Après avoir exercé des fonctions d'hydrogéologue auprès de la Nagra, en Suisse, il entre au Service hydrologique et géologique national où il est responsable des domaines de l'hydrogéologie et des dangers géologiques. Passionné de spéléologie depuis son adolescence, il contribue toujours à la mise en valeur des données scientifiques récoltées dans ce domaine.



**Thierry MALVESY** (Fig. 10). Né en 1963 à Montpellier (Hérault, France). Actuellement conservateur en sciences de la Terre au Muséum d'histoire naturelle de Neuchâtel, il fut pendant quinze ans responsable du Muséum Georges Cuvier à la ville de Montbéliard (Doubs, France).

Ces trois derniers auteurs sont, d'autre part, les coordinateurs de l'ouvrage qui a reçu aussi les contributions de François Flury, hydrogéologue à Delémont (Jura), Marc Luetscher, géologue à Institut suisse de spéléologie et de karstologie (ISSKA) de La Chaux-de-Fonds (NE) et Jon Mosar, professeur titulaire, Université de Fribourg (FR)

### 1. la genèse de l'ouvrage par Thierry MALVESY

En octobre 2008, Jean Gaudant (1939-2015) alors secrétaire du COFRHIGÉO (Comité français d'histoire de la géologie) contacte Michel Campy pour lui confier l'ensemble de la rédaction d'un livre sur l'histoire de la découverte géologique du Jura. Ce projet s'inscrit dans une série d'ouvrages lancée par J. Gaudant aux éditions Presses des Mines sur l'histoire de la découverte géologique de la France, région par région. La maison d'édition Les Presses des Mines, créée par

l'École des Mines en 1995, a édité à ce jour quatre ouvrages de cette série géologique régionale ambitieuse :

- *L'exploration géologique des Alpes franco-italiennes* en mars 2011 ;
- *L'exploration géologique de la Provence* en octobre 2012 ;
- *L'exploration géologique du Massif armoricain* en janvier 2014 ;
- *L'exploration géologique du fossé rhodanien* en septembre 2014.

Après avoir donné son accord, Michel Campy consacre vingt mois, à temps complet, d'octobre 2008 à juin 2010 au projet « Jura » ; il constitue une importante bibliographie, écrit des dizaines à centaines de pages et fait ou reprend des dizaines de schémas sur le sujet. Pendant ce temps, J. Gaudant sollicite Danielle Decrouez pour s'occuper de la stratigraphie et de la paléontologie du Jura, qui accepte le 10 octobre 2013. M. Campy lui envoie alors la trentaine de pages qu'il avait déjà rédigées sur le sujet : précurseurs, biographies, grandes découvertes... Auparavant, M. Campy avait élaboré une bibliographie sur la tectonique à partir de laquelle il construisit un projet de rédaction (une vingtaine de pages, une quinzaine de schémas) qu'il envoya à Jean-Paul Schaer de Neuchâtel, en septembre 2011 ; ce dernier avait aussi été sollicité par J. Gaudant avec succès. M. Campy et J.-P. Schaer décident que ce dernier serait le responsable de la rédaction de la partie tectonique ; J.-P. Schaer contacte alors Anna Sommaruga pour participer au projet et propose d'inclure aussi la région orientale du Jura suisse. En novembre 2013, tous les intéressés se rencontrent à Neuchâtel en présence de J. Gaudant : l'équipe franco-suisse est donc composée de Michel Campy pour la géologie de surface, Danielle Decrouez pour la stratigraphie-paléontologie, Jean-Paul Schaer pour la tectonique et Anna Sommaruga qui rédige un texte d'introduction remis à J. Gaudant courant 2014. Dans les domaines de la géologie de la surface, M. Campy rédige une vingtaine de pages et autant de schémas dans lesquels il regroupe les sujets « Relief et morphologie jurassienne », « Le problème des surfaces d'érosion », « Glaciaire et glaciations » et « Hydrogéologie et karst ». Pour des raisons personnelles, M. Campy se retire alors du projet en octobre 2014, en prenant soin d'envoyer tous les textes qu'il avait déjà écrits à J. Gaudant et J.-P. Schaer. Le décès brutal de J. Gaudant le 6 décembre 2015 semble définitivement enterrer le projet...

Pourtant, à l'initiative de Jean-Paul Schaer, le projet est relancé en Suisse dès 2016. Des contacts sont repris avec Michel Campy, personnage clé dans cette aventure, qui accepte de réintégrer l'équipe. Auparavant, Jean-Paul Schaer avait confié la partie « Hydrogéologie et karst » à une équipe nouvelle constituée par Pierre-Yves Jeann

in, Jacques Mudry, François Pasquier et Jean-Pierre Tripet. Ce dernier va mener de manière exemplaire et rigoureuse les réunions de travail régulières du groupe « Hydrogéologie » qui débute en septembre 2014 et dont la 25<sup>e</sup> séance s'est tenue en janvier 2020. Il sut aussi entretenir les contacts entre les membres de l'équipe et maintenir à bout de bras cette partie pour l'amener à son terme et en faire la partie la plus conséquente de l'ouvrage actuel. Il fut enfin d'une aide et d'une force de propositions plus que précieuses auprès du futur coordinateur de l'ouvrage. Si lors de la première rencontre du groupe « Hydrogéologie et karst » en 2014, le titre était déjà trouvé, l'estimation du nombre de pages laissait quelque peu à désirer: 30 pages !

Après le décès de J. Gaudant, la désignation de l'éditeur et d'un coordinateur restait à résoudre. Sans J. Gaudant, le projet avec les éditions des Mines pouvait-il continuer ? En novembre 2016 des contacts de la part des auteurs sont pris avec les Presses des Mines et Philippe Grandchamp, éditeur des *Travaux du COFRHIGEO* et successeur de J. Gaudant pour le suivi de cet ouvrage. La situation semble peu claire entre les différents partenaires français. Jean-Paul Schaer prend alors un contact préliminaire et sans engagement avec la Société neuchâteloise des sciences naturelles (SNSN) et les éditions Alphil, à Neuchâtel, pour la possibilité d'une publication en Suisse ; la SNSN serait en principe intéressée. Suite aux échanges de courriels avec Ph. Grandchamp et devant l'impossibilité de trouver un coordinateur, les auteurs du projet « Jura » cessent leur participation aux travaux de l'éditeur de Paris ; Ph. Grandchamp en prend acte en avril 2017. Des démarches pour une « option suisse » sont alors mises en place. Courant juin et juillet 2017, des rencontres sont organisées avec la SNSN, le directeur du Muséum d'histoire naturelle de Neuchâtel, Christophe Dufour à l'époque, et le nouveau conservateur en science de la Terre de ce même musée, Thierry Malvesy. Cela débouche sur plusieurs prises de décision : le titre provisoire proposé pour l'ouvrage est *Histoire du développement de la géologie du Jura*. Thierry Malvesy, au nom du Muséum de Neuchâtel assurera la coordination globale du projet et l'ouvrage sera inclus dans la série des Mé-



moires de la SNSN, dont le dernier numéro remonte à 1997 avec la thèse de doctorat d'Anna Sommaruga. Entre-temps, J.-P. Tripet reprend contact en début d'année 2017 avec Danielle Decrouez, qui accepte de reprendre sa participation au projet en juillet 2017. Au cours des années 2018 et 2019, les différentes parties avancent à des rythmes différents. Les parties « Introduction générale ; les grandes lignes de la géologie du Jura franco-suisse » d'Anna Sommaruga et « Géologie de surface » de Michel Campy sont terminées et « Hydrologie et karst » avance à pas de géant. En revanche, il fut très compliqué de trouver des contributeurs des deux côtés de la frontière pour épauler Danielle Decrouez dans sa tâche. Plusieurs réunions, de nombreux contacts, des accords, des désistements n'ont permis au final la mise en place d'une petite équipe qu'à la fin 2019. Trop tard néanmoins pour intégrer ce thème dans le présent Mémoire, mais avec la volonté et l'espoir de publier le résultat du travail sur la « Stratigraphie et Paléontologie » dans un second temps. La partie « Tectonique » de Jean-Paul Schaer était très bien avancée; hélas, fin 2017, début 2018, la maladie entra dans son quotidien. Il comprit très vite lui-même qu'il ne pourrait plus terminer sa tâche. Il fut décidé que le coordinateur T. Malvesy l'aiderait. Après avoir récupéré plus d'une centaine de fichiers Word dans son ordinateur, le travail de puzzle pouvait commencer. Très vite, deux thèmes distincts semblaient émerger : l'histoire des idées sur la tectonique dans le Jura et la théorie glaciaire. Cette dernière, faute de temps à y consacrer, connaîtra le sort de « Stratigraphie et Paléontologie », c'est-à-dire une éventuelle publication ultérieure. Concernant la partie « Tectonique », elle fut certes amenée à son terme, mais certains lecteurs trouveront à juste titre des manques, des incompréhensions ou des raccourcis. Il va de soi que n'étant pas tectonicien – mais paléontologue – T. Malvesy a dû reprendre tous les travaux de J.-P. Schaer en essayant de les mettre bout à bout avec la volonté de trouver une logique et une respiration suffisante à la lecture. En revanche, si manques il y a, le co-auteur n'a pas souhaité combler ces lacunes, n'ayant pas le temps et les compétences suffisantes.

Véritable miraculé, ce projet d'histoire de la connaissance géologique du Jura franco-suisse voit enfin le jour après douze ans de labeur et d'incertitudes. En partie inachevé, et décousu parfois, il est ce qu'il est ! Mais tous les auteurs qui y ont contribué sont conscients d'avoir essayé de regrouper tous les savoirs accumulés depuis plus de deux siècles sur la connaissance de la géologie jurassienne. Les 76 pages de la bibliographie sont la preuve de cette volonté de compilation et de synthèse pour la sauvegarde de ce patrimoine scientifique et le plaisir de toutes et de tous.

## 2. Présentation de l'ouvrage

*par Jean-Pierre TRIPET*

La publication débute par un Préambule de Thierry Malvesy, relatant la genèse, l'historique et l'évolution de l'ouvrage ; son contenu est exposé dans la partie ci-dessus. Ce préambule est suivi d'un Avant-propos de Jean-Paul Schaer qui commente l'influence de la structure administrative spécifique à la France et à la Suisse sur le développement de la connaissance géologique et la publication des données : la France est marquée par son caractère centralisé, et la Suisse par sa subdivision en unités possédant des compétences propres, les cantons.

Le corps principal de l'ouvrage, quant à lui, est subdivisé en quatre parties principales dont un aperçu est donné ci-dessous.

### **2.1. Introduction : les grandes lignes de la géologie actuelle du Jura franco-suisse**

*Auteure : Anna SOMMARUGA*

Après avoir défini la situation géographique et géologique du domaine traité (Fig. 11), cette partie introductive donne un aperçu de la géologie du Jura franco-suisse telle qu'elle se présente actuellement. Les grandes lignes de la stratigraphie, des unités structurales, de la formation du Jura et de la morphologie régionale y sont présentées. Cette section de 20 pages précède les trois parties où est exposée l'analyse historique de l'évolution des connaissances.

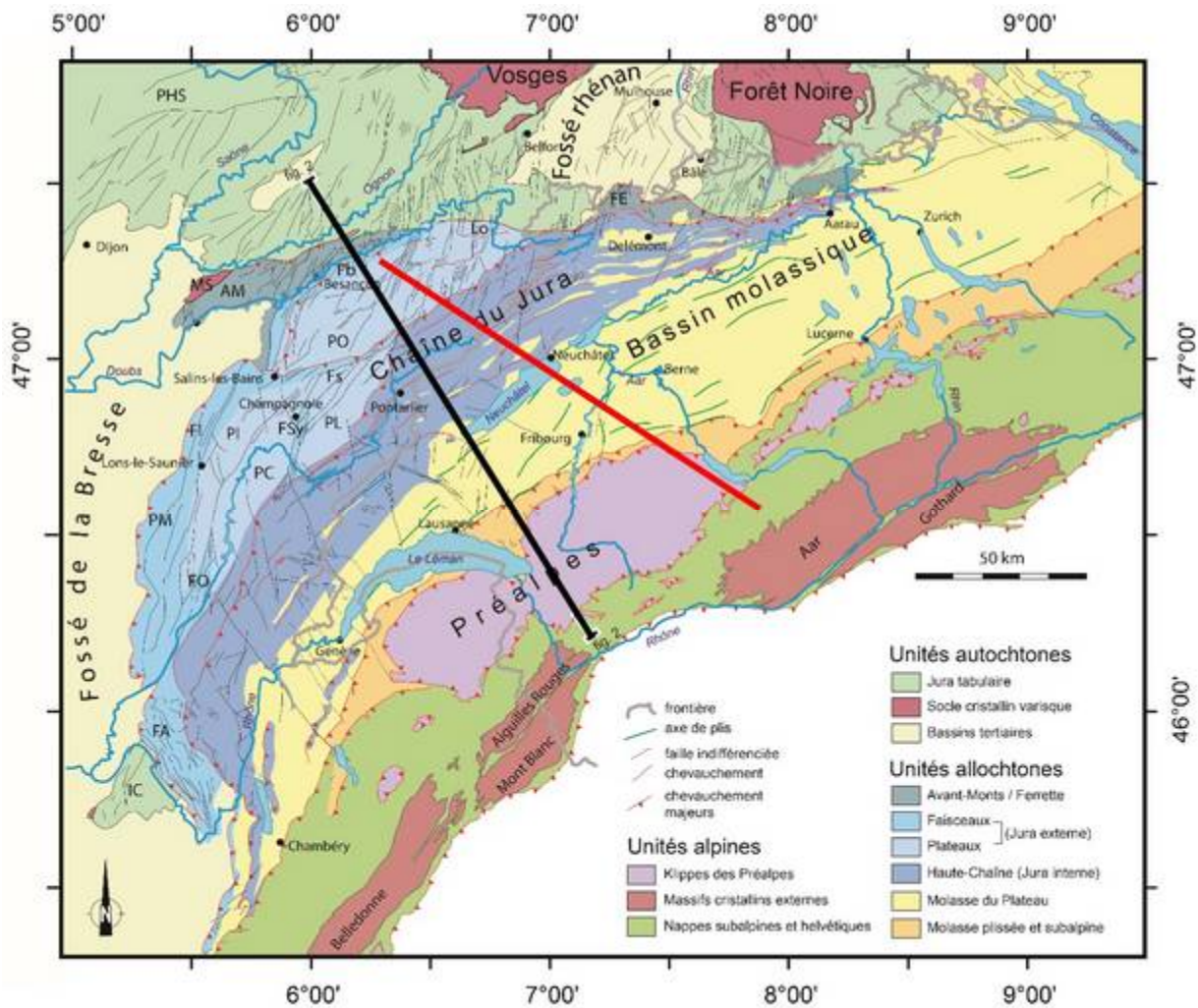


Fig. 11. Unités structurales et contexte géologique de la chaîne jurassienne. Modifié d'après SOMMARUGA (1997) et SOMMARUGA *et al.* (2017).

En rouge (trait de droite) la coupe géologique de von Buch 1803 (Fig. 22)

En noir (trait de gauche) la coupe géologique de Sommaruga *et al.* 2017 (Fig. 23)

Explication des abréviations : Plateaux ; PC : P. de Champagnole, PL : P. de Levier, PI : P. lédonien, PO : P. d'Ornans. Faisceaux ; FA : F. d'Ambérieu, Fs : F. salinois, FSy : F. de Syam, Fb : F. bisontin, Lo : Lomont, FI : F. lédonien, FO : F. d'Orgelet, PM : Petite Montagne. Autres lieux ; AM : Avant-Monts, IC : Île-Crémieu, FE : Ferette, PHS : Plateau de Haute-Saône, MS : Massif de la Serre.

## 2.2. Géologie de la surface

Auteur : Michel CAMPY

Sous le titre de « Géologie de la surface » sont exposés en 28 pages les résultats de deux siècles de recherche propres au Jura sur les formes du paysage (« La géomorphologie : le relief juras-

sien » ; Fig. 12), les surfaces d'érosion ainsi que les glaciations (Fig. 13). Les différentes interprétations de la notion de surface d'érosion font l'objet d'une analyse attentive. Les formes et phénomènes du karst superficiel (« épikarst ») et leur rôle dans l'évolution morphologique du Jura sont présentés et commentés.

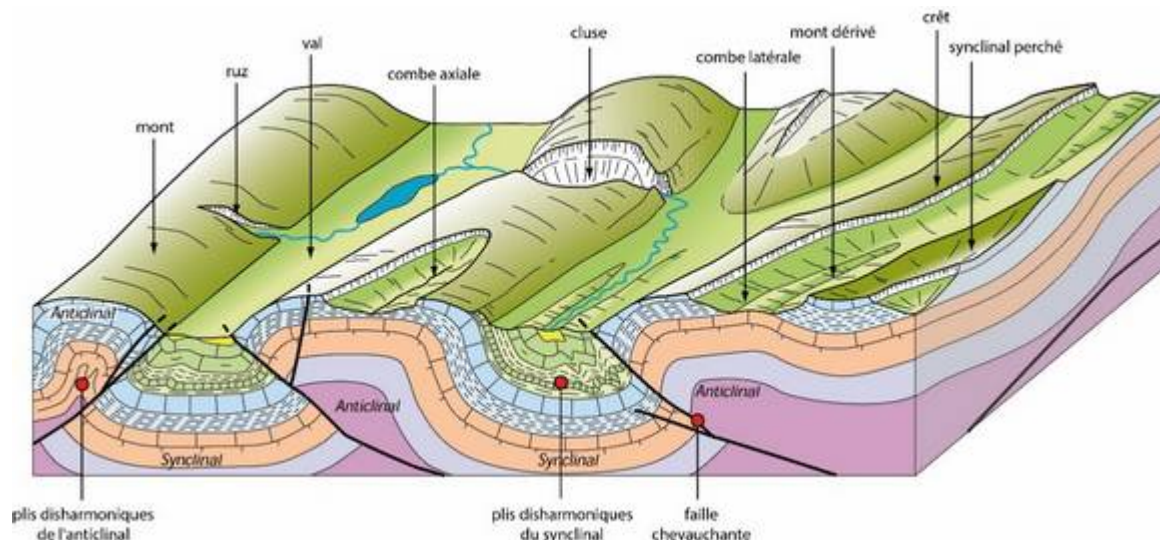


Fig. 12. Conception actualisée de la relation entre l'organisation structurale et le relief jurassien (extrait de BICHET & CAMPY, 2008).

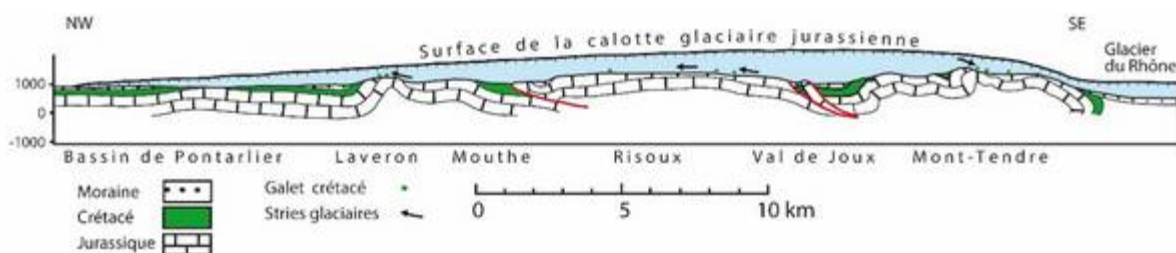


Fig. 13. Profil transversal schématique de la calotte glaciaire jurassienne et de son substratum (extrait de AUBERT, 1965).

Ce schéma proposé par D. AUBERT, présentant une calotte jurassienne indépendante du glacier du Rhône, s'appuie sur deux observations majeures :

1. La direction des stries glaciaires est perpendiculaire aux reliefs jurassiens ; leur sens est SE-NW pour le Laveron et le Risoux, et NW-SE pour le Mont Tendre,
2. Les terrains crétacés affleurant seulement dans les synclinaux, se retrouvent sous forme de galets erratiques au sommet des anticlinaux (Laveron, Risoux, Mont Tendre).

Cette proposition est complètement nouvelle par rapport aux théories antérieures dominantes qui présentaient un glacier jurassien totalement tributaire du glacier alpin, supposé pénétrant le massif jurassien par les cols de la Haute-Chaîne.

### 2.3. Tectonique, structure et généralités

Auteurs : Jean-Paul SCHAER  
& Thierry MALVESY

La partie intitulée « Tectonique, structure et généralités » (176 pages) est organisée de la manière suivante : 1 - Les Pionniers (avant 1840 : H.-B. de SAUSSURE, J.-A. DELUC et L. von BUCH) ; 2 - Plis de soulèvement vs théorie des refoule-

ments ; 3 - Les premières études locales ; 4 - Premiers tunnels ferroviaires et cartes géologiques ; 5 - Les grandes réunions géologiques de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle ; 6 - Le passage XIX<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècle : l'époque des grandes synthèses, et les contributions de Albert HEIM (Fig. 14), Hans SCHARDT et August BUXTORF ; 7 - L'après-guerre : l'empreinte de Hans Peter LAUBSCHER ; -



8 - Les éléments structuraux, avec, entre autres, le rôle joué par les structures à grande échelle (décrochements, abaissement d'axes, Fig. 14) et la microtectonique (fracturation, stylolites, Fig. 15); 9 - Les recherches modernes sur la tectonique profonde.

Cette partie présente l'analyse de l'évolution des connaissances sur les processus de déformation et de plissement du massif jurassien et sur le rôle des éléments structuraux, par exemple des décrochements. Les méthodes d'observation présentées s'étendent de l'approche naturaliste des

précurseurs dès le milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle, à l'analyse moderne des structures par sismique réflexion. Il est fait mention de grands projets, qui ont permis une avancée considérable dans la compréhension de la structure géologique du Jura ; ils vont du percement des premiers grands tunnels ferroviaires dès le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, aux études récentes de la Nagra (profils sismiques, forages profonds) sur la tectonique profonde en vue de l'entreposage de déchets radioactifs dans le nord de la Suisse ; la Nagra est la Société coopérative nationale pour l'entreposage de déchets radioactifs

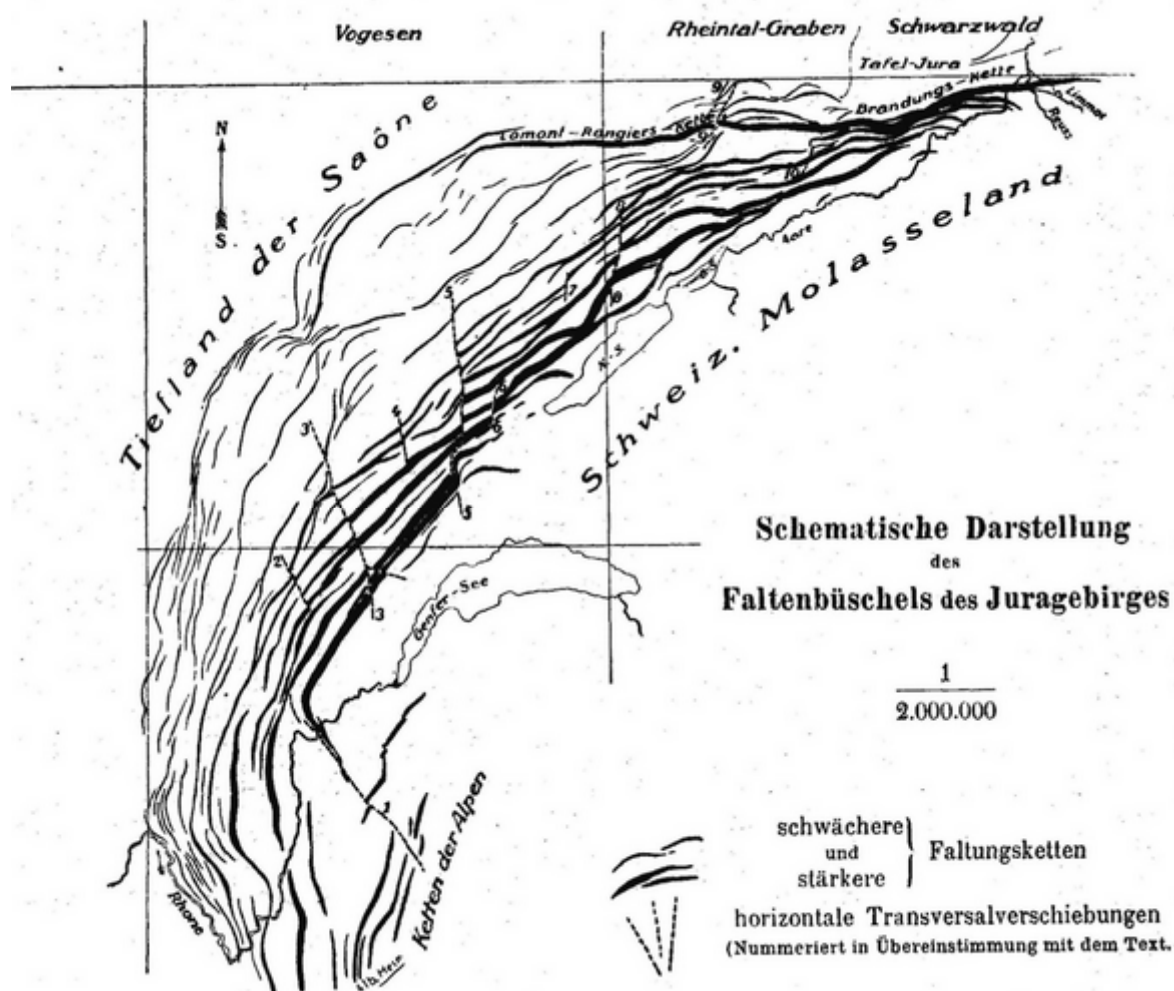


Fig. 14. Carte schématique de l'ensemble de la chaîne montrant les grands décrochements et l'importance relative des plis, par Albert HEIM en 1915. Les failles numérotées sont : 1. Vuache ; 2. Saint-Claude ; 3. Morez ; 4. Mouthe ; 5. Pontarlier ; 6. Suchet ; 7. La Tourne ; 8. La Ferrière ; 9. La Caquerelle ; 10. Faille de Gännsbrunnen.

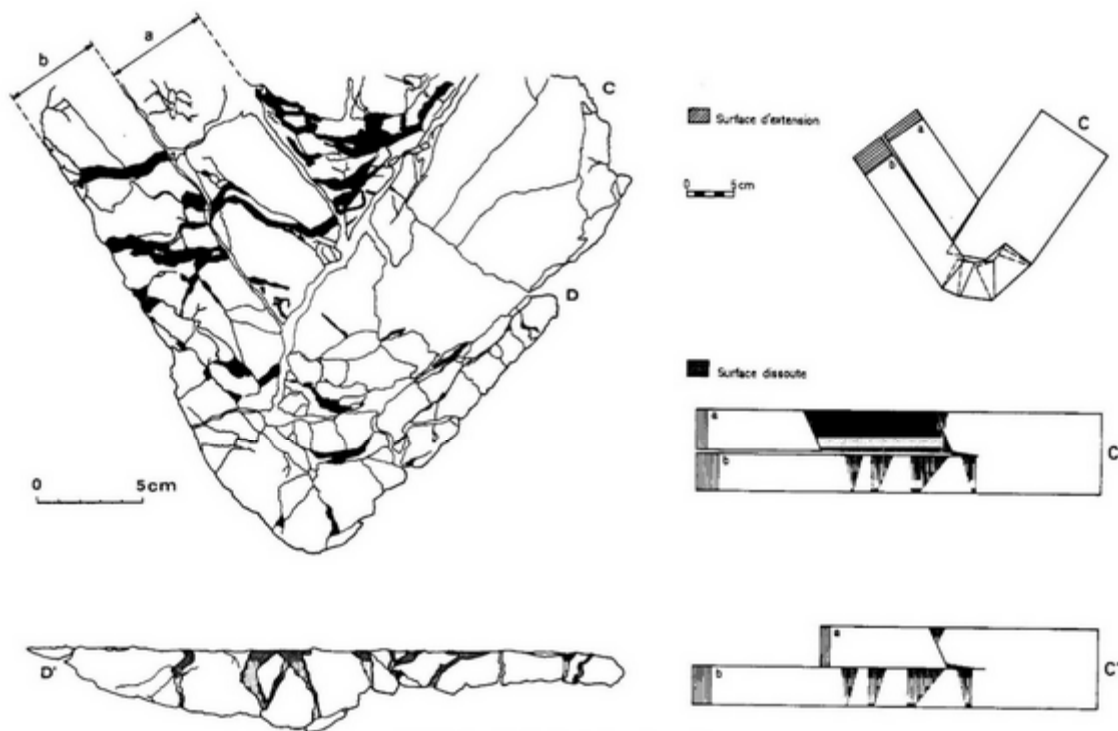


Fig. 9. Synclinal II, étude de surface polie.

La position de l'échantillon analysé est indiquée dans le cadre en haut et à gauche de la figure 7, en *d*. La couche C, sous l'effet du plissement, se divise en deux sous-couches *a* et *b*. Le fond du synclinal est marqué par une couche *D* qui a été dépliée en *D'* pour souligner l'importance des surfaces dissoutes (surfaces grisées).

Sur la droite, modèle de plissement pour situer l'importance des surfaces dissoutes de la couche C (cf. texte).

Fig. 15. Détails de l'évolution de la surface polie d'un pli synclinal. La couche C, sous l'effet du plissement, se divise en deux sous-couches *a* et *b*. Le fond du synclinal est marqué par une couche *D* qui a été dépliée en *D'* pour souligner l'importance des surfaces dissoutes (surfaces grisées). Extrait de A. DROXLER et J.-P. SCHAER en 1971.

## 2.4. Hydrogéologie et karst

Auteurs : Pierre-Yves JEANNIN, Jacques MUDRY, François PASQUIER, Jean-Paul SCHAER et Jean-Pierre TRIPET)

Le domaine traité dans la partie « Hydrogéologie et karst » (232 pages) est représenté dans la Fig. 16. Cette partie comprend les subdivisions suivantes : 1 - Introduction – Réseau hydrographique et hydrogéologie ; dans ce chapitre est décrite, entre autres, l'évolution dans le temps du réseau hydrographique du domaine jurassien et des régions avoisinantes, de l'Éocène à la période actuelle. 2 - Les précurseurs (du XVII<sup>e</sup> siècle aux années 1930). 3 - Grands travaux à l'époque des précurseurs (tunnels, Fig. 17, et travaux d'aménagement hydraulique). 4 - Les fondateurs de l'hydrogéologie moderne ; dans ce chapitre est souligné, entre autres, l'apport des universités de Besançon (création du Centre

de troisième cycle de géologie appliquée par Maurice Dreyfuss en 1960, auquel succédera Pierre Chauve) et de Neuchâtel (création du Centre d'hydrogéologie par André Burger en 1965). 5 - Évaluation et utilisation des ressources en eau souterraine. 6 - L'eau dans le milieu karstique. 7 - Protection des eaux souterraines. 8 - Cartes hydrogéologiques. 9 - Applications particulières récentes ; quatre thèmes sont développés à titre d'exemple dans ce chapitre : les grands travaux d'infrastructure, l'entreposage de déchets spéciaux, l'eau souterraine comme cause de danger naturel et le lien entre changements climatiques et hydrogéologie. 10 - Dans la dernière section, intitulée « Les hydrogéologues s'adressent au public », est décrite l'évolution de la manière de diffuser les connaissances, des naturalistes des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles aux milieux scientifiques à partir des années 1990.

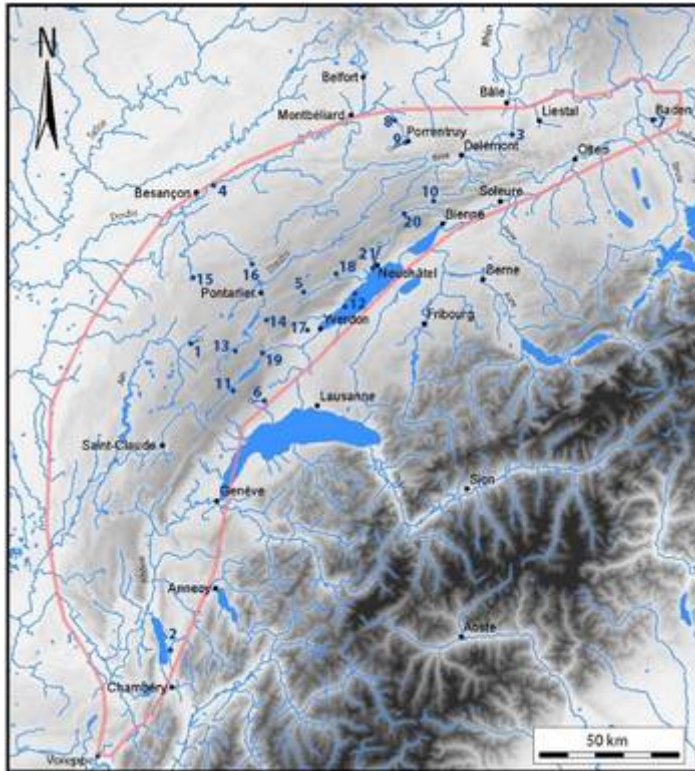


Fig. 16. Situation du domaine traité dans la partie hydrogéologie et karst (Image ISSKA). Les limites de l'Arc jurassien sont indiquées par une ligne épaisse. Les sources importantes sont représentées par un point accompagné par un numéro d'ordre. Quatre sources de trop-plein d'un intérêt particulier sont figurées par un petit cercle et reliées à la source principale par un tireté. Il s'agit des groupes suivants : n° 1 – Source de la Papeterie, trop-plein = source de l'Ain ; n° 6 – Source de l'Aubonne, trop-plein = source du Toleure ; n° 9 – Source de la Beuchire, trop-plein = Creugenat ; n° 21 – Source de la Serrière, trop-plein = gouffre du Torrent.



Fig. 17. Tunnel du Weissenstein (construction 1903-1908), étais lors de la construction, au km 3,449 à partir du portail sud, partie sous pression. La géologie et les venues d'eau ont causé beaucoup de problèmes aux constructeurs (Bibliothèque EPF Zurich, archives iconographiques / Photographe : Schenker-Wirz, E. / Hs\_1002-0007-014 / CC BY-SA 4.0.).

Dans la cette dernière partie de l'ouvrage, l'évolution des connaissances est analysée sous deux points de vue. D'une part est exposé l'apport des personnalités marquantes, de l'époque des pionniers (milieu du XVII<sup>e</sup> siècle) aux années charnières qui suivent le milieu du XX<sup>e</sup> siècle et qui ouvrent la période dite « moderne ». À partir du milieu des années 1960, apparaît une évolution particulièrement marquée

et rapide de l'hydrogéologie ; d'une discipline à dominante naturaliste on passe à une application de méthodes quantitatives toujours plus performantes. Des modèles conceptuels toujours plus fiables sont établis (Fig. 18), des modèles de l'écoulement souterrain tout d'abord analogiques (Fig.19) puis numériques (Fig. 20) sont développés.

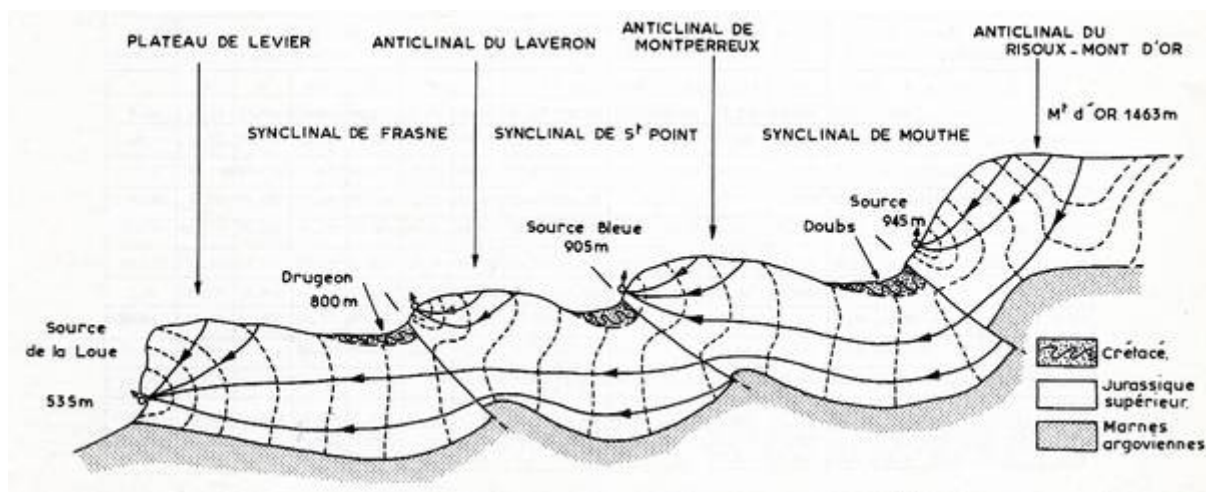


Fig. 18. Schéma interprétatif des écoulements dans les calcaires du Jurassique supérieur au-dessus des marnes argoviennes (Extrait de CHAUVE, JACQUEMIN & MANIA, 1986).

Les auteurs cités appliquent au Haut-Doubs le concept de circulations juxtaposées et emboîtées proposé par J. TÓTH (1962) : les circulations locales émergent dans la même unité structurale, les circulations profondes à la source de la Loue. Orientation de la coupe : nord (à gauche) – sud (à droite).

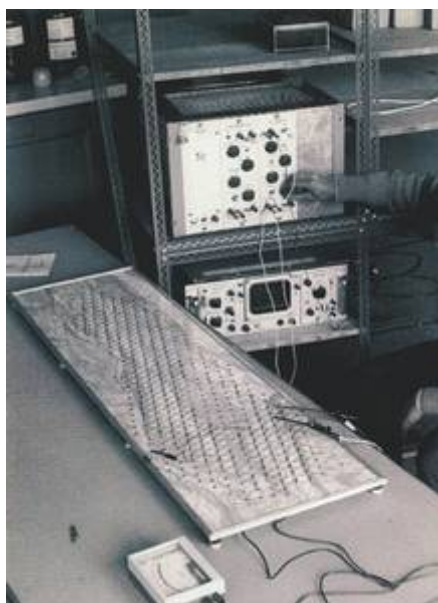


Fig. 19. Modèle analogique électrique résistif-capacitif du bassin de la source de l'Areuse. Les mesures en régime transitoire nécessitent un instrument d'excitation (générateur de courant, à droite en haut de l'image) et un instrument de mesure (oscilloscope, à droite en bas). C'est à l'aide de ce modèle que l'effet d'échelle sur la perméabilité des roches fissurées et karstifiées a été mis en évidence (TRIPET, 1972); celui-ci a ensuite été traduit de manière graphique par L. KIRÁLY (1973). (Photo archives Centre d'hydrogéologie et de géothermie de Neuchâtel, CHYN).

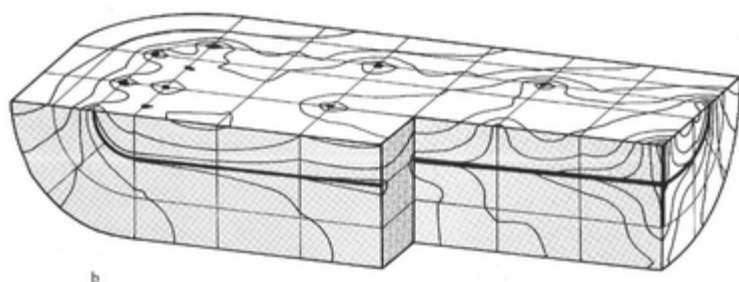


Fig. 20. Équipotentiels dans un synclinal karstique tel qu'on l'observe dans le Jura.

Modélisation 3D réalisée par L. KIRÁLY au début des années 1980 et parue dans BURGER (1983). Cette figure jouera un rôle considérable pour la compréhension du milieu karstique. Elle a été reprise dans de nombreux articles et ouvrages sur l'hydrogéologie karstique.



D'autre part, dans cette partie, sont commentés les principaux domaines d'application tels que l'évaluation, l'utilisation et la protection des ressources en eau souterraine, ainsi que l'interprétation des processus hydrogéologiques spécifiques à l'écoulement des eaux souterraines dans le karst. L'évolution de l'étude des microorganismes dans les eaux souterraines est mentionnée, elle représente une avancée dans les connaissances, où se rejoignent les sciences de la Terre, de l'eau et de la vie (Fig. 21). Des aspects de grande actualité sont également abordés, tels que les relations entre l'hydrogéologie et l'entreposage de déchets spéciaux, les dangers naturels et les changements climatiques.



Fig. 21. Biodiversité des eaux souterraines : exposition sur le microcrustacé *Gelyella monardi* (Champ-du-Moulin, canton de Neuchâtel, 2018-2021). Cet organisme vit exclusivement dans l'eau souterraine et est strictement endémique. Il représente une espèce bioindicatrice de la qualité des eaux. Reproduction d'une carte postale réalisée pour l'exposition et représentant le microcrustacé *Gelyella monardi* ; sa taille est de 0,3 mm (Graphisme Cédric Marendaz/Mus.Genève).

## 2.5. Bibliographie

Si l'ouvrage est rédigé en français, la recherche d'information s'est étendue aux trois langues : français, allemand et anglais. La liste bibliographique s'étend sur 70 pages et comprend plus de 1300 références.

## 3. Évolution de la représentation de la structure des plissements du Jura au cours des siècles

par Anna SOMMARUGA

À la frontière entre la France et la Suisse se dresse le massif du Jura, une chaîne de montagnes d'altitude modérée dont la formation et le

plissement sont le contrecoup des mouvements paroxysmaux responsables de la surrection des Alpes, qui se produisirent à la fin du Miocène vers 12 millions d'années. Le mot Jura vient du bas latin « juria », lui-même issu du celte « jor », désignant une montagne ou un pays densément boisé comme l'était autrefois ce massif. La chaîne du Jura a donné son nom aux couches d'âge Jurassique affleurant en prépondérance dans ces montagnes (Fig. 11).

L'évolution des connaissances géologiques sur la chaîne du Jura se visualise sur deux coupes géologiques allant des montagnes du Jura à la chaîne des Alpes en passant par le plateau : l'une de Léopold von Buch (1774-1853) de 1803 (Fig. 22) et l'autre de Sommaruga *et al.* 2017 (Fig. 23) ; un peu plus de deux cents ans séparent ces deux interprétations. Leopold von Buch était un visionnaire. Il distinguait la pierre calcaire blanche, grise, noire et des granites. Intéressé par des recherches sur les anticlinaux du Jura neuchâtelois, il complète sa vision locale avec un profil traversant tout le Jura, allant des Alpes bernoises jusqu'à Besançon et au massif de la Serre (VON BUCH, 1803, Fig. 22). En accord avec les idées de son temps et conformément aux conceptions de l'école germanique, les roches granitiques, dites primitives, forment le soubassement de l'édifice. Sous l'effet de soulèvements verticaux ayant affecté la croûte, elles apparaissent en surface dans les Alpes bernoises ainsi qu'au niveau du massif de la Serre. Elles sont surmontées par des assises calcaires sombres (Lias de la bordure de la Bresse et calcaires sombres alpins) qui sont censées représenter les formations de transition. Celles-ci sont à leur tour surmontées par les formations secondaires grises au-dessus desquelles trône le Jura avec ses pierres blanches, elles-mêmes recouvertes par la Molasse tertiaire. On retiendra l'audace de cette proposition, même si le Jura plissé y occupe une étrange position.

Dans la littérature récente (Fig.11 et 23), le massif du Jura est généralement considéré comme une chaîne plissée d'avant-pays, représentant la zone de déformation la plus externe, d'âge tardi-Miocène (entre 13 et 4 millions d'années), des Alpes occidentales. Il est entouré par trois bassins d'âge tertiaire (Oligocène). Les

Fossés du Rhin et de la Bresse sont chevauchés par la chaîne du Jura et sont associés au rifting ouest-européen d'âge oligocène, tandis que le Bassin molassique, dont la limite avec la chaîne du Jura est érosive, correspond à un bassin d'avant-pays d'âge oligo-miocène, qui s'est développé au front des Alpes. La structure de la chaîne du Jura est caractérisée par le décolle-

ment de sa couverture de plusieurs dizaines de kilomètres vers le nord-ouest à la faveur de niveaux évaporitiques dans les couches du Trias. À différence de ce que pensait von Buch, qui n'envisageait que des mouvements verticaux (conformément à sa théorie des « cratères de soulèvement »), le Jura est interprété ici comme le produit d'une tectonique tangentielle.

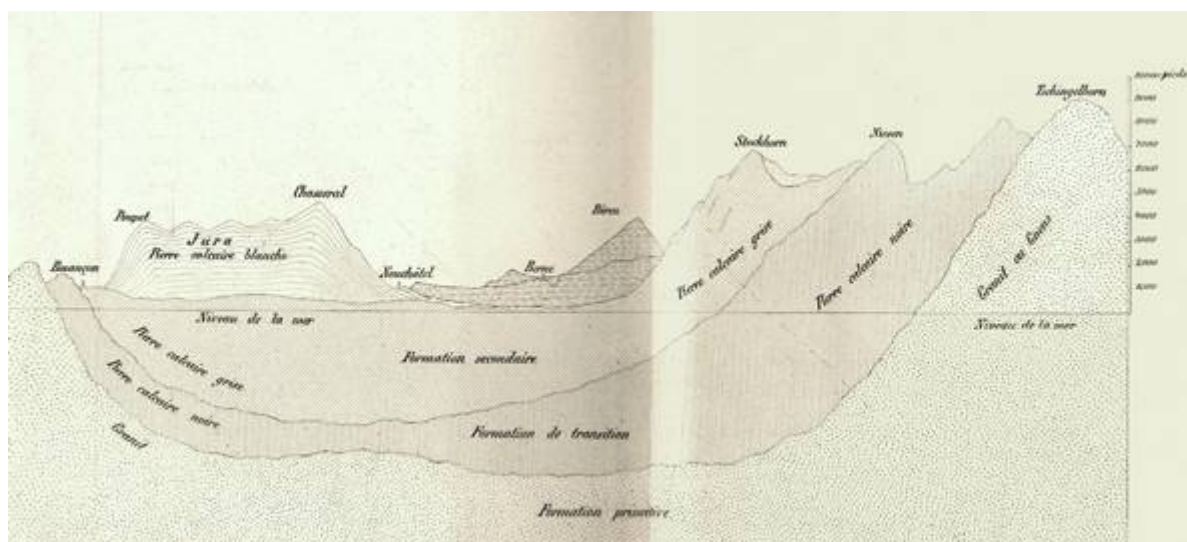


Fig. 22. Coupe à travers le Jura franco-suisse. *Zur Abhandlung über den Jura*. Extrait de Catalogue d'une collection des roches qui composent les montagnes de Neuchâtel, tiré de LEOPOLD VON BUCH (1803).

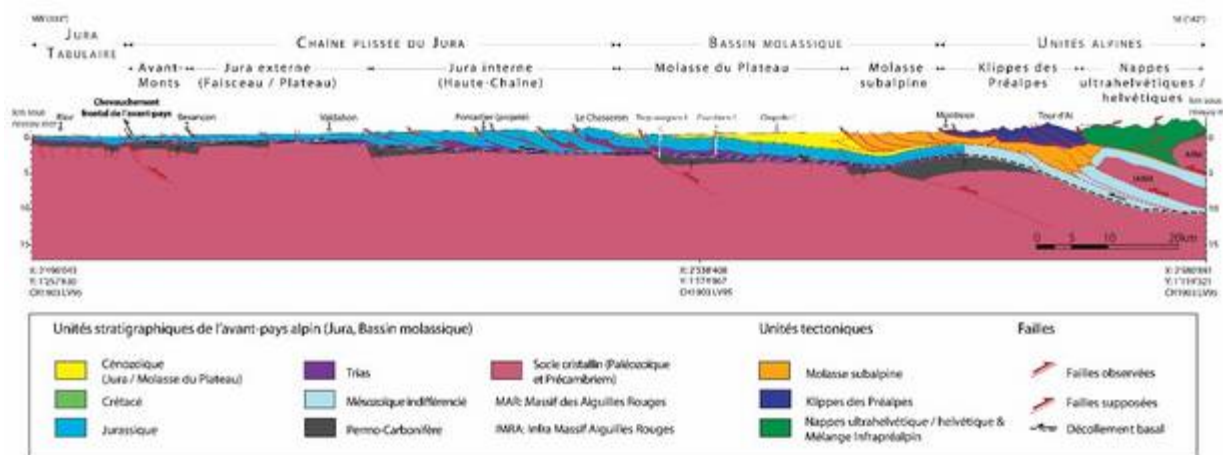


Fig. 23. Coupe géologique à travers toute la chaîne du Jura jusqu'aux unités tectoniques alpines en passant par le Bassin molassique. Pour la localisation, voir Fig. 11. Modifiée d'après SOMMARUGA *et al.* (2017).

### 3.1. Approche naturaliste des pionniers (jusqu'au XIX<sup>e</sup> siècle)

Aujourd'hui encore, Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799) apparaît comme le premier naturaliste ayant abordé de façon sérieuse la

structure géologique du Jura. Cette contribution, intégrée dans la première partie de ses *Voyages dans les Alpes* (1779-1796) n'a cependant pas rencontré le même succès que ses commentaires consacrés à la chaîne alpine. L'analyse de la structure du Jura comporte de très nom-

breuses observations et réflexions sur plusieurs secteurs de la chaîne et accorde une attention particulière à la région du Salève et aux montagnes proches de Genève, qui lui sont particulièrement familières. Saussure reconnaît à la chaîne du Jura son caractère d'un pays de roches sédimentaires calcaires, plissées, formant une suite de plis marchant parallèlement les uns avec les autres pour former un large croissant dont la corde orientée SW-NE s'étend du sud de l'actuel département de l'Ain, vers Cerdon, jusque dans la région du Bözberg au nord de Brugg, entre Zürich et Bâle. À l'ouest, la chaîne est limitée par la Bresse (Lons-le-Saunier, Salins, Vesoul), alors que sa face sud-est longe le Bassin molassique tertiaire de la Suisse. Saussure en fait déjà une annexe des Alpes (Fig. 24).

« Le Jura, quoique séparé des Alpes par une vallée de plusieurs lieues de largeur,

*pourrait cependant être regardé comme une dépendance de leurs chaînes extérieures ; deux raisons me le persuadent. Le Jura marche à peu près parallèlement aux Alpes et que sa partie la plus élevée est située du côté des Alpes, et qu'il s'abaisse graduellement à mesure qu'il s'en éloigne. [...]*

*Les chaînes de montagnes dont le Jura est composé, ne sont pas continues d'une extrémité à l'autre ; elles sont coupées en divers endroits. Mais les échancrures ou crénelures qui les divisent, ne descendent guères [sic] qu'au tiers de leur hauteur. »*

*Voyages dans les Alpes, 1779  
vol. I, p.267 et 268*

Avec ce texte, les premières notions de failles décrochantes sont posées, mais pas encore visualisée sur une figure.



Fig. 24. Carte du lac de Genève et des montagnes adjacentes extraite des *Voyages dans les Alpes*, de Horace-Bénédict DE SAUSSURE (1779).

La carte orographique du Jura d'Amann Gressly (1814-1865), publiée en 1840 (Fig. 25) représente un exemple des lacunes de l'information topographique pendant cette période. L'auteur, qui a séjourné à Neuchâtel, a certainement été impressionné par les relations qui s'observent souvent entre une chaîne majeure (anticlinaux) et des structures plus modestes qui semblent s'en détacher comme une

branche par rapport au tronc d'un arbre. Ne disposant pas d'une cartographie précise, il propose des relations de filiation semblables existant entre les différentes chaînes formant le Jura qui auraient toutes progressé à partir d'un tronc central qu'il situe dans la région argovienne. De cette zone centrale et vitale, la chaîne aurait étendu ses branches majeures en direction de l'ouest (chaîne du Eisenstein-Chasseral et chaîne du



Mont-Terrible, aujourd'hui Mont-Terri) d'où se seraient détachées des branches secondaires. Dans la région de Neuchâtel, que Gressly connaît bien, sa schématisation garde un certain contact avec la réalité, mais au-delà, en direction du nord, on entre dans le domaine de la fantaisie qui ne peut être contrôlée que par des cartes de

qualité non-disponible à cette époque. Le Bohnherz ou Conglomérat à pisolithes de fer du Sidérolithique d'âge Éocène est représenté sur cette carte orogénique (Fig. 25). Au fil des années, l'amélioration de la précision des cartes topographiques a permis aux géologues d'y ajouter les détails des couches observées dans la nature.

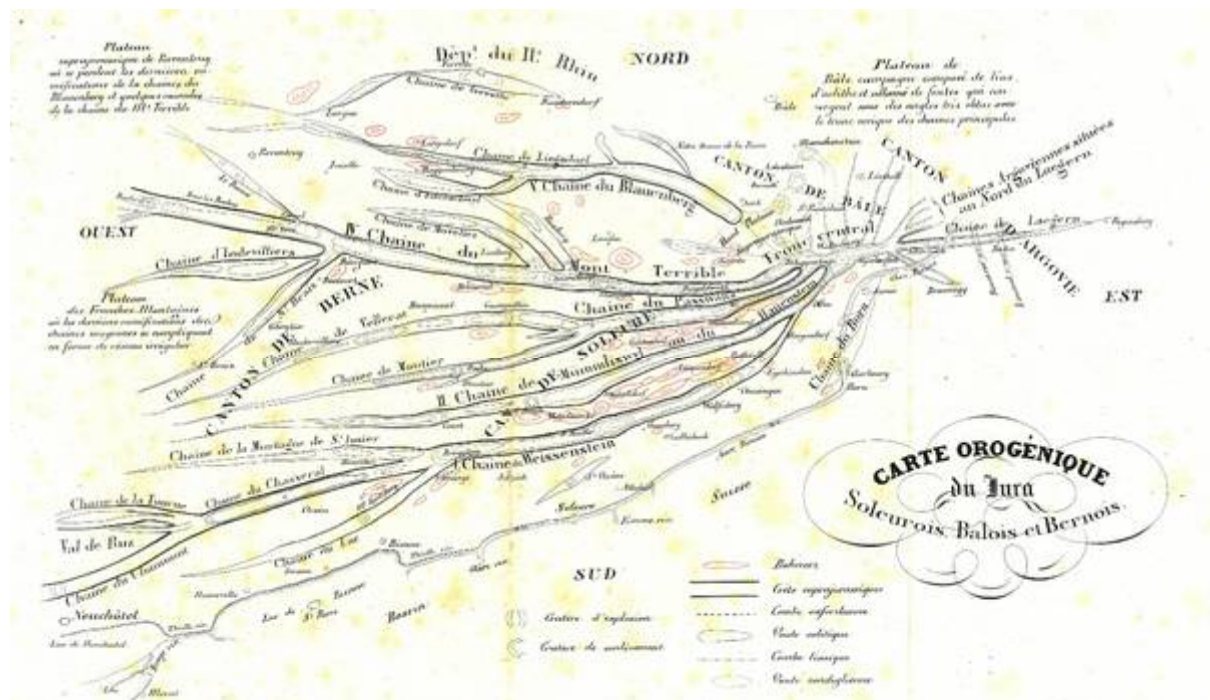


Fig. 25. Carte orogénique du Jura Soleurois, Balois et Bernois, tirée de Observations géologiques sur le Jura Soleurois extrait de Amanz GRESSLY (1837-1841).

Leopold von Buch est envoyé par le roi de Prusse vers la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle alors qu'il n'a que 26 ans afin d'évaluer la qualité minière des charbons du Locle. Il bénéficie d'une excellente réputation acquise par ses études à la fameuse École des mines de Freiberg (où il comptait Alexandre von Humboldt (1769-1859) parmi ses amis) et par des recherches où il s'est distingué dans différents domaines des sciences de la Terre.

Au-delà de cette recherche à caractère économique, Leopold von Buch dresse un catalogue de cent cinquante-neuf roches prélevées à travers l'ensemble du territoire de la principauté (VON BUCH, 1803). Il en donne une description pétrographique établie à l'aide de la loupe, en précisant la couleur et le contenu éventuel en fossiles ; il précise l'orientation des assises où

ces échantillons ont été prélevés, en ajoutant des commentaires sur la structure régionale et l'éventuel intérêt économique. Il montre que certains niveaux particuliers présentent de grandes extensions latérales qui permettent de placer ces couches dans le cadre général de la suite des formations présentes dans la principauté. L'information est abondante mais permet rarement de se faire une idée précise des relations géologiques existant entre les différents prélèvements. Cet important catalogue met à la disposition de futurs chercheurs une large somme d'informations utiles, mais sans songer à faire apparaître une image synthétique. C'est cependant dans le cadre de cette recherche que von Buch va présenter les premiers profils mettant en valeur la structure et la morphologie des anticlinaux du Jura avec la notion d'inclinaison des couches (Fig. 26).



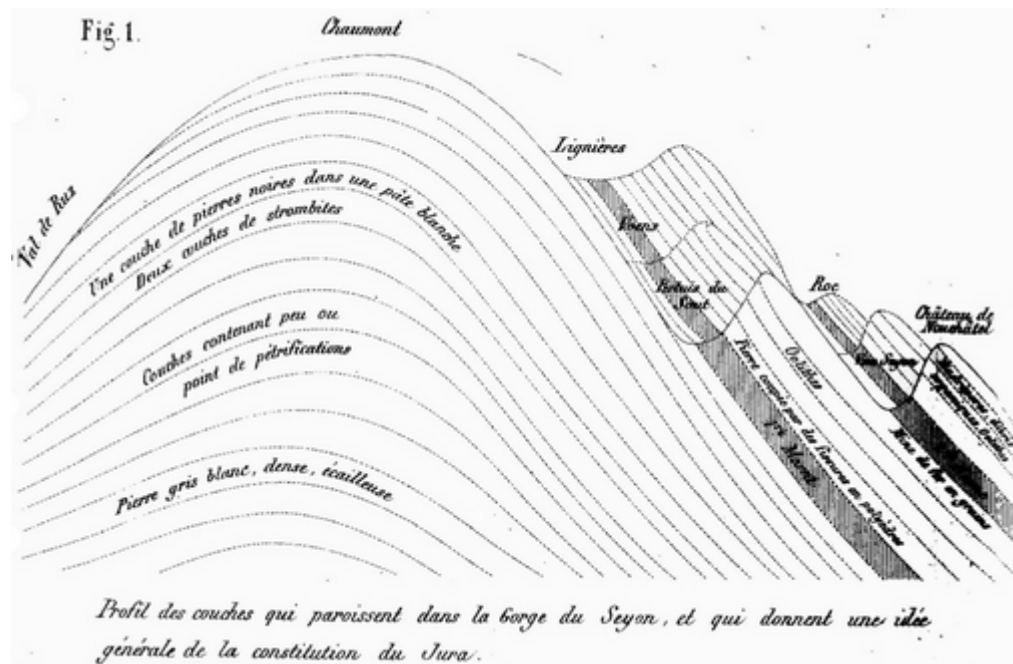


Fig. 26. Disposition des couches entre les gorges du Seyon et Chaumont. *Zur Abhandlung über den Jura*. Extrait de Catalogue d'une collection des roches qui composent les montagnes de Neuchâtel 1803 tiré de LEOPOLD VON BUCH.

Les recherches géologiques entreprises par Louis Agassiz (1807-1873) et son équipe présentent une nette continuité avec les investigations de Léopold von Buch. Elles sont cependant davantage orientées vers les aspects biologiques des sciences par suite du passage d'Agassiz chez Georges Cuvier (1769-1832) à Paris, que ne l'étaient celles du savant berlinois.

### 3.2. Premières esquisses orographiques de la chaîne du Jura

En août 1852, Jules Thurmann (1804-1855) publie les *Esquisses orographiques de la chaîne du Jura*, un ouvrage comprenant une carte géologique du Jura central et oriental, à l'échelle 1/200 000. Elle couvre la région située à l'ouest de Neuchâtel et s'étend en direction de l'est jusqu'aux Lägern, au nord de Zürich. Ce remarquable document est accompagné d'une planche de quinze coupes à l'échelle 1/50 000 (pour les longueurs et les hauteurs) (Fig. 27 et 28) approximativement orientées nord-sud, apportant une vision vaguement tridimensionnelle d'un large secteur du Jura s'étendant du bord du Bassin molassique jusqu'à la frontière nord de la Suisse. Cette contribution comporte l'énumération et la localisation des principales chaînes, des cluses, des cirques, des grandes combes, des ruz et des principaux plateaux.

Concernant ce dernier point, Thurmann fait remarquer que la région des Franches Montagnes, à laquelle on donne fréquemment le qualificatif de « plateau », ne se range pas dans cette dernière catégorie.

Chez Thurmann, le dessin cherche à souligner les aspects morphologiques des structures, où les crêtes et les combes se développent à partir de plis aux formes arrondies pouvant parfois se rapprocher de plis coffrés ; d'une manière générale, on ne perçoit qu'une faible tendance à un renversement des structures pour souligner le regard français (Fig. 28). Thurmann reconnaît que les calcaires, un matériel d'apparence rigide, se présentent souvent dans les régions tectonisées comme le Jura, sous la forme de plis, parfois avec de très petits rayons de courbure qui, en fait, s'accordent assez mal avec les propriétés mécaniques ordinaires reconnues à ce matériel. Il n'explique pas les plis arrondis dans des roches calcaires, c'est pourquoi il parle d'un état de mollesse particulier pour former les plis et il suggère que les plis se forment avant la consolidation de la roche. Il relève qu'« une force quelconque appliquée à un calcaire compact ne saurait le ployer de manière à lui faire conserver la courbure déterminée par la flexion » (*Bull. Soc. géol. Fr.*, 1838, p.427).

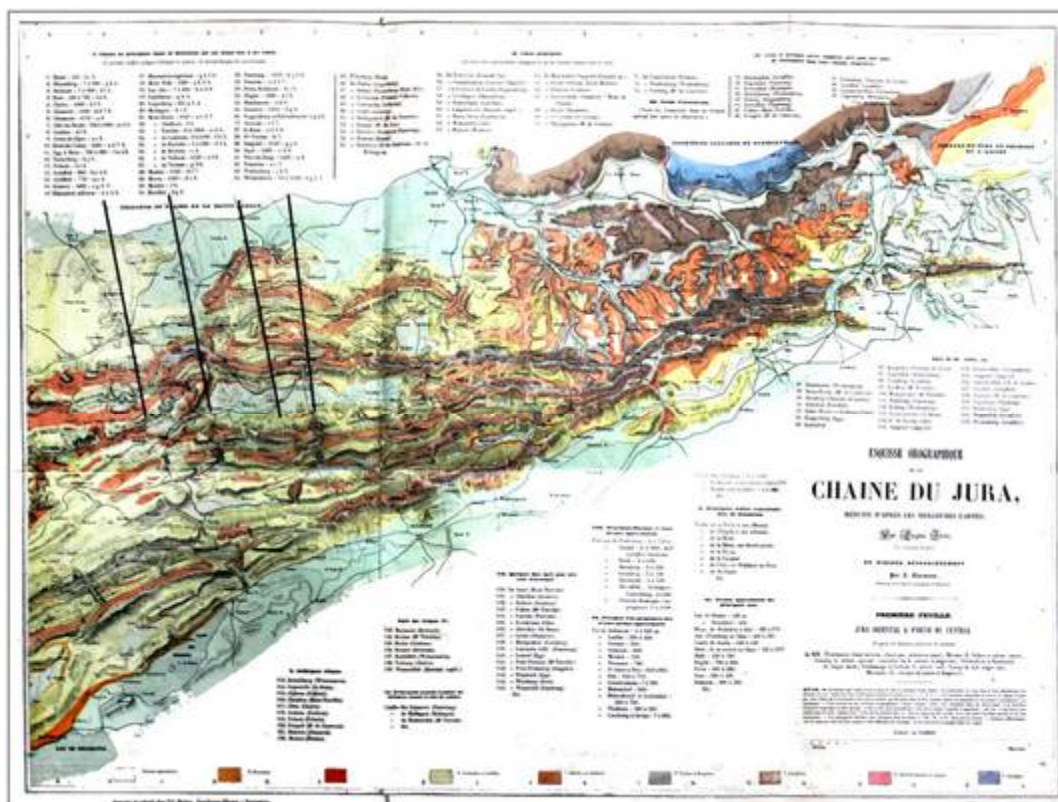


Fig. 27. Carte géologique du Jura central et oriental, à 1/200 000 extraite de THURMANN, 1852, *Esquisses orographiques de la chaîne du Jura*. Localisation des coupes n°11 à 14 (traits noirs qui sont illustrés sur la Fig.28).

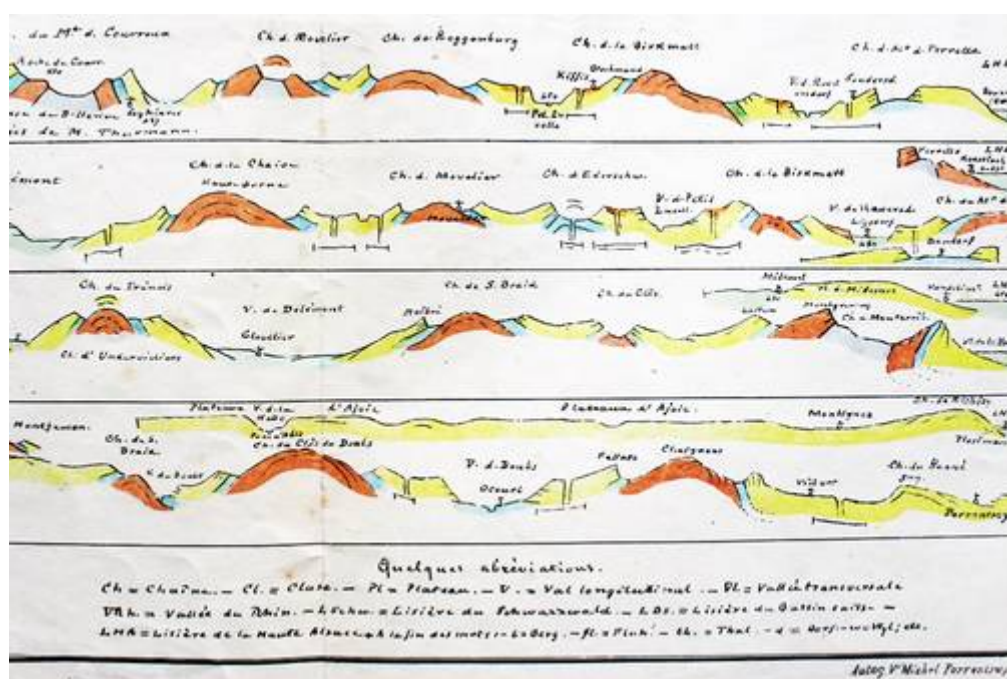


Fig. 28. Détail de la planche de 15 coupes à 1 : 50 000 (pour les longueurs et les hauteurs) extraites de THURMANN, 1852, *Esquisses orographiques de la chaîne du Jura*. Le N se situe à droite et le S à gauche. Localisation des coupes sur la Fig. 27.

### 3.3. Percement de grands tunnels ferroviaires (milieu du XIX<sup>e</sup> siècle et passage au XX<sup>e</sup>)

Les travaux entrepris durant la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, à la recherche de sel et de charbon, ont été favorables aux investigations géologiques locales, tout particulièrement dans les régions de la bordure de la Bresse et dans celles du Jura tabulaire à l'est de Bâle. Les travaux destinés à l'établissement des lignes de chemins de fer ont conduit à des résultats d'une tout autre portée, tout particulièrement lorsqu'il a fallu percer d'importants tunnels. Ces développements furent particulièrement importants pour préciser et confirmer les particularités du style tectonique du Jura oriental avec ses charriages, chevauchements et écaillages. La réalisation des travaux de percement a permis par la suite d'établir de mul-

tiples comparaisons avec d'autres secteurs de la chaîne et de mieux cerner la circulation des eaux en profondeur, et apporter ainsi les premières données sur le régime géothermique de ces régions. Les coupes théoriques établies avant l'engagement des travaux sont assez rarement confirmées lors du percement. Dans bien des cas, plusieurs interprétations sont proposées avant que ne s'engagent les travaux ; certaines se voient plus ou moins modifiées au cours des travaux ; dans certains cas, des visions divergentes persistent au-delà du percement. Sur la Fig. 29, la coupe n°1 en haut est une prévision de Friedrich Mühlberg (1840-1915) faite en 1910, la coupe n°2, au milieu, est une prévision d'August Buxtorf (1877-1969) datant de 1911 ; et la coupe n°3, en bas est le résultat observé après percement du tunnel 1912-1914.

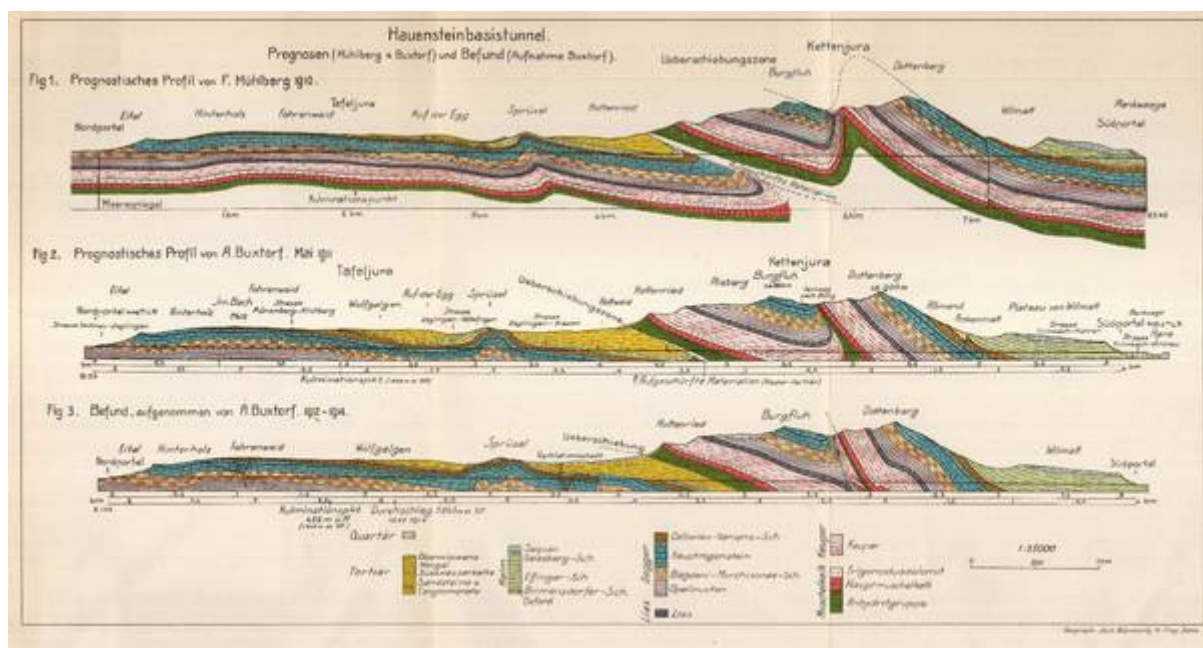


Fig. 29. Le tunnel de base du Hauenstein entre Olten et Bâle par A. BUXTORF (1917), extrait de *Prognosen und Befund beim Hauensteinbasistunnel*. Le N se situe à gauche et le S à droite.

Assez souvent, les travaux préparatoires contribuent à une remise en question des causes ayant conduit à la mise en place des structures ; les propositions de soulèvement perdent de leur crédibilité au profit de l'idée que le plissement de la chaîne est lié à l'action de contraintes latérales.

Entre 1911 et 1915, le percement des derniers grands tunnels traversant la chaîne du Jura, ceux situés entre Granges et Moutier, a permis

de proposer une théorie nouvelle et révolutionnaire pour expliquer le plissement du Jura et ses particularités, découlant d'un décollement généralisé de la couverture au niveau des assises évaporitiques du Trias (Fig. 30). L'interprétation d'un décollement des séries mésozoïques, au-dessus d'un socle peu ou pas déformé, et la théorie de Buxtorf du « Fernschub » en lien avec les massifs cristallins externes des Alpes s'imposent.



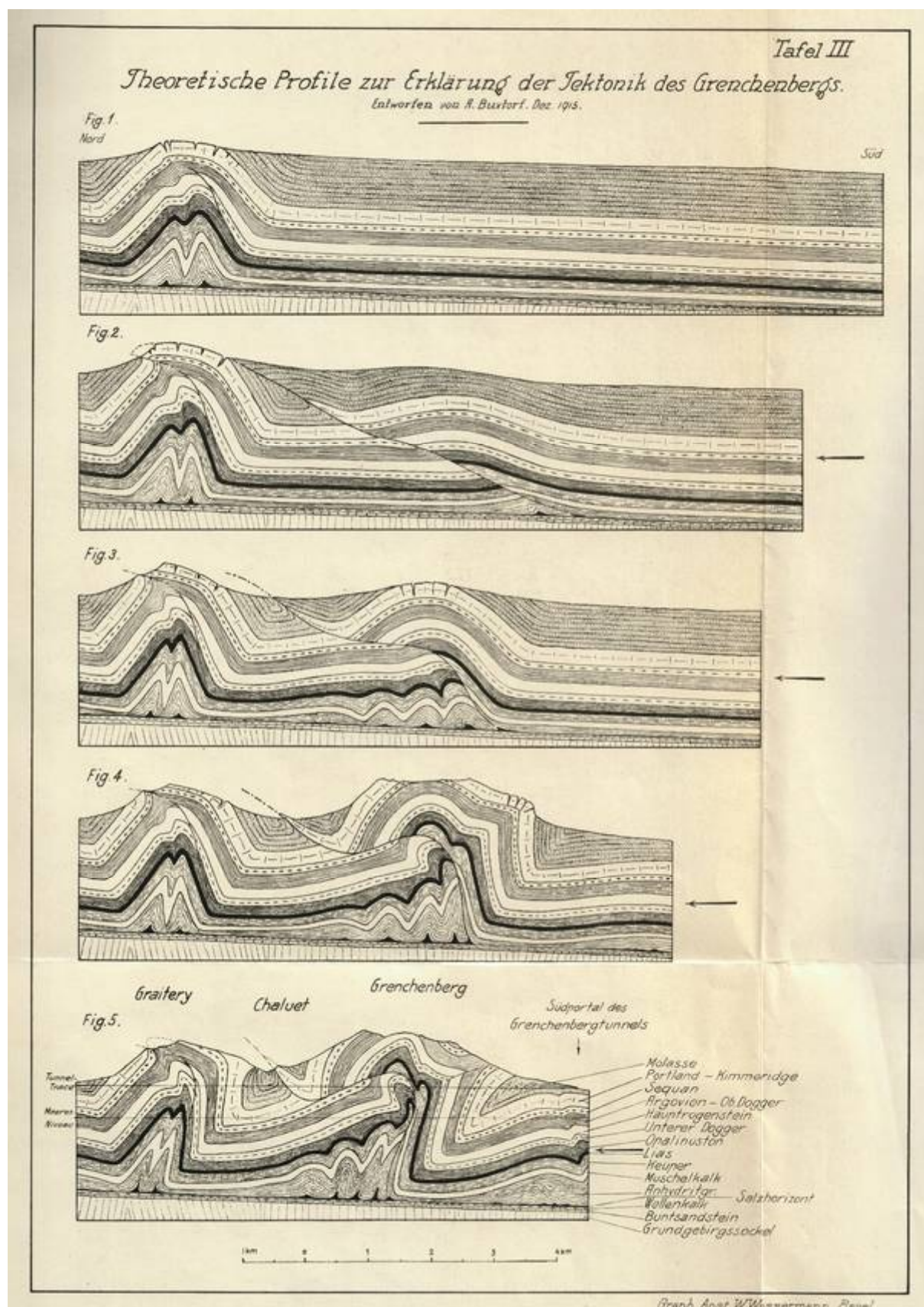


Fig. 30. Reconstitution au cours du temps de la structure interne de la chaîne du Jura au niveau du tunnel Granges-Moutier. Extrait de A. BUXTORF et A. TROESCH (1917), planche III.



August Buxtorf envisage que la zone des déformations du cœur de la Montagne de Granges (Grenchenberg) se trouve associée à un plan de charriage subhorizontal supportant le flanc nord de la Montagne de Granges, en étant lié à un important synclinal couché s'étendant des rochers du Chaluet jusqu'au cœur de l'anticlinal (profil 5, Fig. 30). Après avoir reconstitué la structure interne de la chaîne du Jura au niveau du tunnel Granges-Moutier en utilisant les données recueillies sur le terrain et dans le tunnel, Buxtorf s'engage à reconstruire la façon dont cette structure s'est développée au cours du temps, en s'appuyant sur les données recueillies lors du percement, tout particulièrement celles mettant en lumière l'existence d'un plan de chevauchement plissé, ainsi que celles se rapportant aux idées générales qui se sont imposées dans la connaissance de la chaîne. Cette reconstitution est présentée dans le schéma devenu classique (Fig. 30) : sous l'effet du glissement de la couverture au niveau des évaporites du Trias induit par la poussée alpine, le pli du Graiterie précocement formé entrave les possibilités de glissement et entraîne la formation d'un plan de charriage oblique au travers de la couverture. Sous l'effet de la poursuite du glissement à l'arrière de ces structures et de son blocage à l'avant, on assiste à la poursuite du plissement de l'ensemble des structures présentes, en particulier au niveau du plan de charriage (profil 3 de la fig. 30).

### 3.4. Forages pétroliers, campagnes géophysiques de sismique-réflexion (dès le milieu du XX<sup>e</sup> siècle)

En Suisse et en France, après la deuxième guerre mondiale, on a commencé à explorer le sous-sol à la recherche du potentiel pétrolier. Ces recherches se sont concentrées, non pas dans la Haute-Chaîne du Jura, mais plutôt dans les Plateaux du Jura français ou au pied du Jura dans le Bassin molassique suisse (LAHUSEN, 1992) ou dans le fossé de La Bresse. Les raisons de ce choix résident non seulement dans la localisation à plus basse altitude et donc plus facile d'accès, mais aussi parce que des suintements et des pertes de gaz à la surface dans le plateau suisse laissaient espérer des réserves exploitables.

La structure géologique de la marge occidentale du Jura a été élucidée à la suite d'une vaste campagne de forages à grande profondeur (au voisinage de 1 000 m) entre les années 1938 et 1953. La campagne de forage des années 1940 révéla la présence de gaz naturel à Revigny et de houille dans le sous-sol lédonien. L'exploitation et le dépouillement de la vingtaine de forages (MICHELI *et al.*, 1953) fournirent une image tout à fait nouvelle de la structure de la bordure bressane au contact du Jura. Il s'agit d'un décollement subhorizontal du bord du Jura

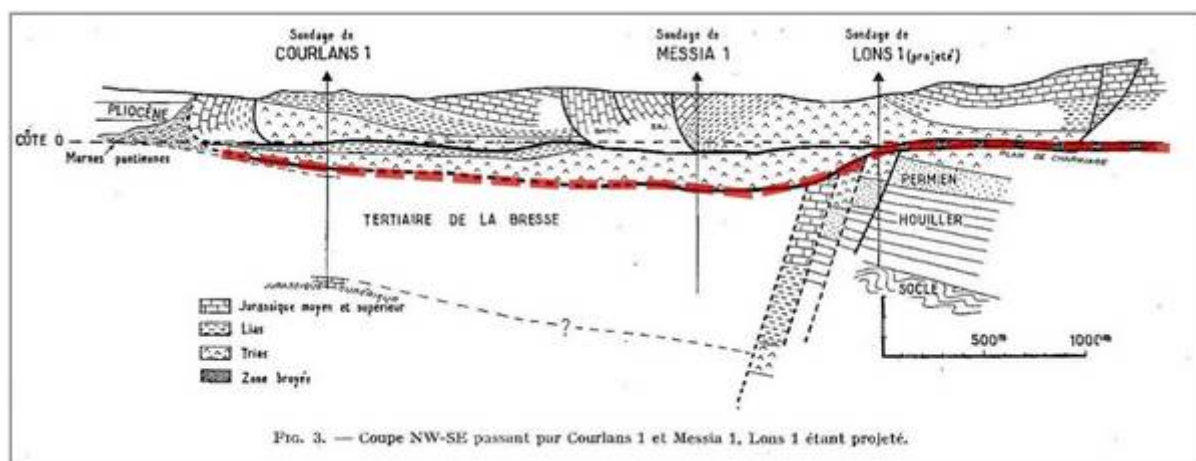
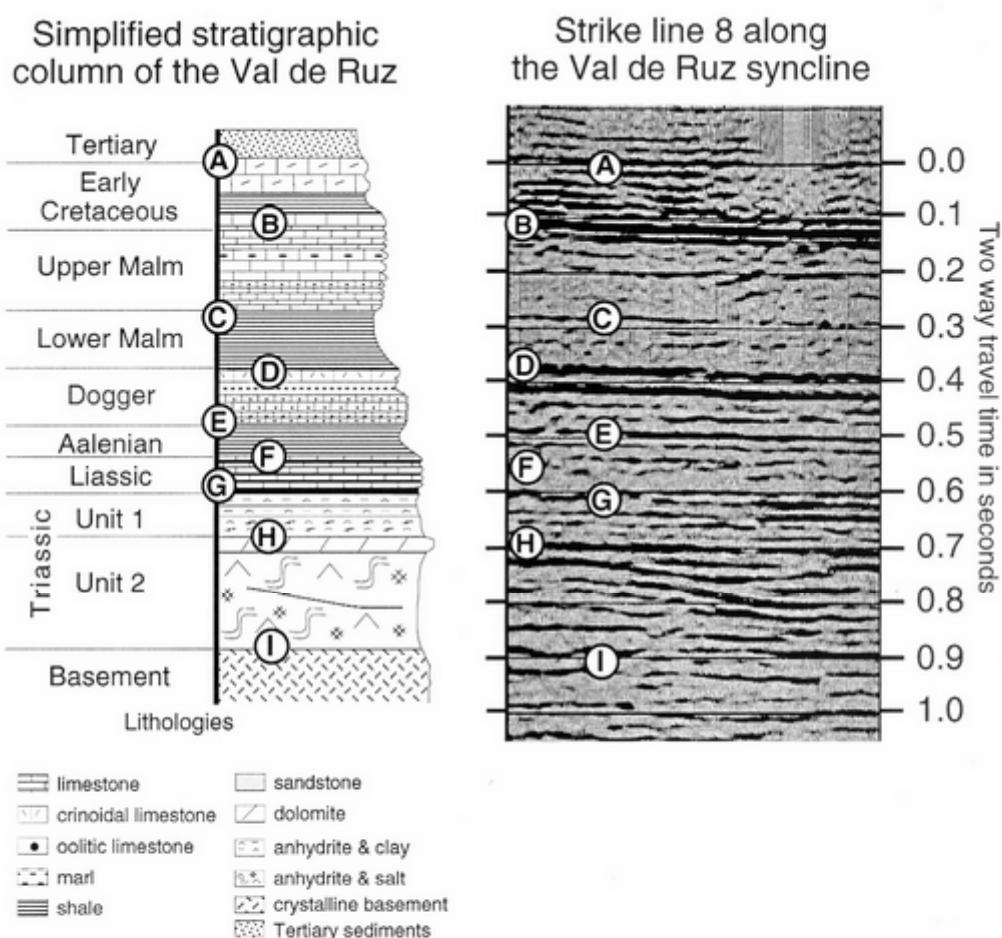


Fig. 31. Coupe géologique NW-SE, dans la zone du vignoble près de Lons-le-Saunier, montrant le charriage de plusieurs kilomètres des couches mésozoïques du Jura sur les sédiments tertiaires du fossé de la Bresse. Cette coupe, extraite de Michel *et al.* (1953), passe par les sondages de Courlans-1 et Messia-1. Le sondage de Lons-1 est projeté. Surligné en trait discontinu épais, la base du niveau de décollement.

sur le remplissage de sédiments tertiaires du fossé bressan. L'amplitude du chevauchement est estimée à 5 km et jusqu'à 7 km dans certaines zones. La masse charriée présente une épaisseur moyenne de 500 à 600 m (Fig. 31).

Les forages ont amélioré de manière conséquente les connaissances sur la succession des couches et les faciès profonds ainsi que sur la structure à un niveau local. Pour extrapoler ces résultats à un niveau régional, les géologues ont pu profiter dès la fin des années 1960 de

l'acquisition des profils sismiques par les compagnies pétrolières. L'interprétation des profils sismiques, qui sont des coupes en temps (temps double en secondes), met en évidence la géométrie des couches du sous-sol et, couplée avec les forages, la lithologie des roches (NAEF & DIEBOLD, 1990). Les données sismiques enregistrées dans le Jura en suivant les zones synclinales présentent des réflecteurs sismiques de bonne et même d'excellente qualité convenant parfaitement à l'analyse structurale régionale (Fig. 32).



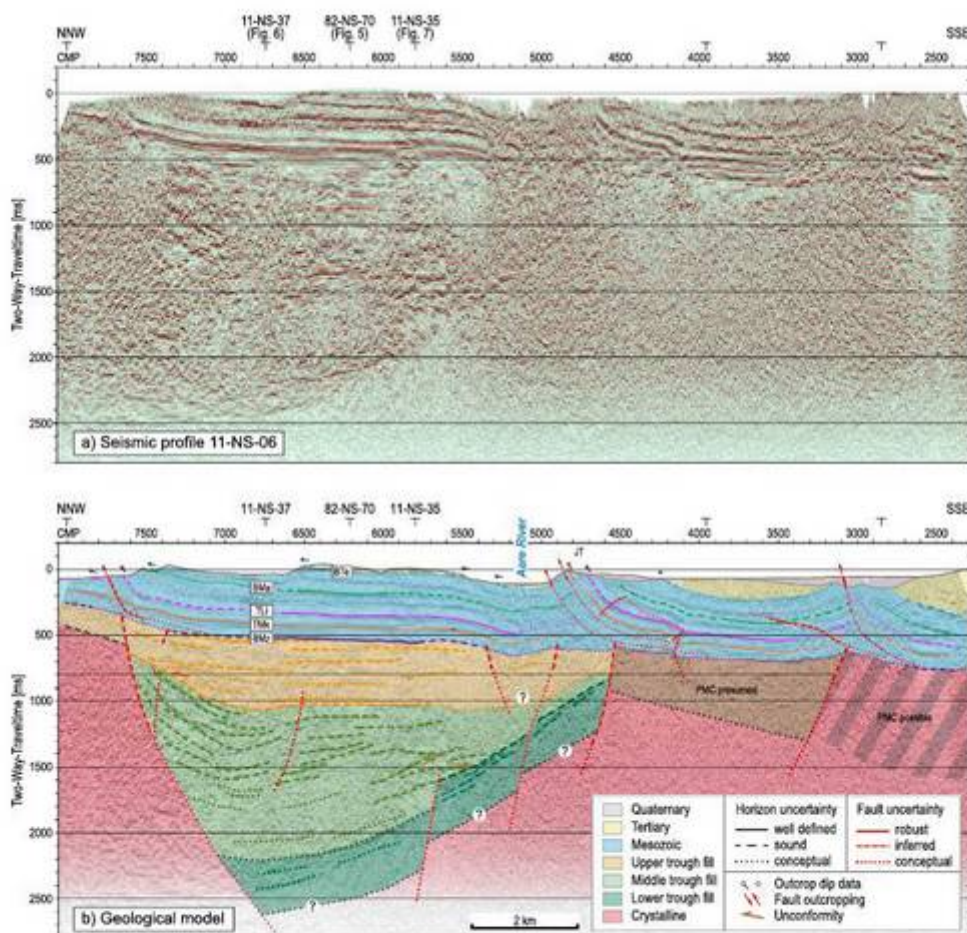
**Figure 2.15:** Correlation of seismic reflectors (line 8, vertical scale in seconds, TWT) with simplified stratigraphic column of the Val de Ruz. For oblique reflectors in Triassic Units, see discussions in §3.4. Legend for the letters A, B, C, ... is explained in Table 2.1.

*Corrélation entre les réflecteurs sismiques (ligne 8, échelle verticale en secondes, temps double) et une colonne stratigraphique simplifiée du Val de Ruz. Concernant les réflecteurs obliques dans les unités du Trias, voir §3.4. La signification des lettres A, B, C, ...est expliquée dans le Tableau 2.1.*

Fig. 32. Corrélation entre les réflecteurs sismiques et la colonne stratigraphique simplifiée des couches lithologiques relevées dans le synclinal du Val-de-Ruz (Jura neuchâtelois). Extrait de A. SOMMARUGA (1997).

Depuis les travaux pionniers de la Nagra (Société coopérative nationale suisse pour l'entreposage des déchets radioactifs) dans le Jura du nord-est de la Suisse, de nombreuses nouvelles études approfondies, comme des campagnes sismiques régionales complémentaires en 2D (1991-1992, 2011-2012) ou en 3D (1997, 2015-2016) ont été réalisées et ont permis d'affiner la compréhension du développement structural de cette région du Jura. De nombreux forages profonds jusqu'au socle ont été réalisés. Les avancées majeures sont décrites dans le rapport final de l'étape 2 du plan sectoriel des dépôts géologiques profonds avec la caractérisation des sites potentiels (NAGRA, 2014). Les toutes dernières campagnes sismiques 3D haute résolution dans les régions de Jura Ost (Jura

est), Nördlich Lägern (Nord des Lägern) et de Zürich Nord-Ost (Zurich nord-est) (NAGRA, 2019 a, b, c), ainsi que des récents forages ont permis d'apporter un nouvel éclairage, largement insoupçonné, de la géologie structurale de cette partie du Jura. Un fossé permo-carbonifère a été mis en évidence au sein du socle du Jura oriental (Fig. 33). Ainsi, l'engagement et le besoin de la Nagra pour comprendre les processus géologiques qui s'opèrent dans le sous-sol du Jura du Nord-Est de la Suisse, ont stimulé de nombreuses recherches dans tout la chaîne du Jura et ses régions limitrophes. Depuis les années 2000, et en quelque sorte malgré les nombreux travaux déjà existants, l'étude de la tectonique du Jura vit un vrai rajeunissement.



**Figure 8.** 2-D seismic section 11-NS-06 (prestack time migration) with geological interpretation (a) and (b), respectively). The section is typical for the Riniken segment of the Constance-Frick Trough. See Figure 2b for location and text for further discussion. Refer to Figure 3 for explanation of marker horizon abbreviations. JT: Jura Main Thrust; PMC: Permo-Carboniferous sediments.

Fig. 33. Présentation basée sur un profil sismique de la structure du fossé permo-carbonifère situé au nord-est de la Suisse. Extrait de MADNITSCH *et al.* (2018).



## Bibliographie

- AUBERT, D. (1965). Calotte glaciaire et morphologie jurassienne. *Eclogae geol. Helv.* **58**, p. 555-578.
- BICHET, V. & CAMPY, M. (2008). *Montagnes du Jura - Géologie et paysages*. NEO Éditions : 303 p.
- BUCH, L. von (1803). Catalogue d'une collection des roches qui composent les montagnes de Neuchâtel in Leopold von Buch's *Gesammelte Schriften*. Herausgegeben von J. Ewald, J. Roth und H. Eck. G. Reimer, 1867, Berlin : 584-687.
- BURGER, A. (1983). Prospection et captage des eaux souterraines des roches carbonatées du Jura. *Gaz-Eaux-Eaux usées, la revue de la Société Suisse des Industries du Gaz et de l'Eau (SSIGE)*, 1037(9). Zürich : 533-583.
- BUXTORF, A. (1917). Prognosen und Befund beim Hauensteinbasistunnel. *Mitt. aargau. natf. Ges.*, **14**, p. 87-105, 1 pl.
- BUXTORF, A. & TRÖSCH, A. (1917). Geologie des Grenchenbergtunnels mit Berücksichtigung des hydrographischen und thermischen Verhältnisses und der Tunnelbeben. Schlussbericht an das schweizerische Post- und Eisenbahn Departement über den Bau der normal-spurigen Hauptlinie Münster Lengnau (Grenchenbergtunnel 8578 m). Berner Alpenbahngesellschaft Bern-Lötschberg-Simplon. Bern: 49-60, Tafeln 19 und 20.
- CHAUVE, P., JACQUEMIN, P. & MANIA, J. 1986. Représentation des écoulements en milieu karstique de zone plissée : exemple des bassins du Doubs et de la Loue. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (8), **4**: 645-652.
- DROXLER, A. & SCHAER J.-P. 1971. Déformation cataclastique plastique lors du plissement, sous faible couverture de strates calcaires. *Eclogae geol. Helv.*, **72**, p.551-570.
- GRESSLY, A. 1837-1841. Observations géologiques sur le Jura soleurois. *Nouv. Mém. Soc. helv. Sci. nat.*, **2**, 1838 ; **4**, 1840; **5**, 1841 : 349 p., 14 pl., Neuchâtel.
- HEIM, A. 1915. Vermehrtes Licht in der Juraforschung. 1 Fig. *Actes Soc. helv. Sci. nat. (Verh. Schweiz. Natf. Ges.)*, **97**, Genève, p: 27-44.
- KIRÁLY, L. 1973. Notice explicative de la carte hydrogéologique du canton de Neuchâtel. *Supplément du Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.*, **96** : 15 p., 6 fig., 1 tabl. hors texte, 1 carte en couleur 1:50 000.
- LAHUSEN, P. 1992. Hydrocarbon exploration in the Swiss Molasse Basin. *Eclogae geol. Helv.*, **85**, p.707-714.
- MADRITSCH, H., NAEF, H., MEIER, B., FRANZKE, H. J. & SCHREURS, G. 2018. Architecture and Kinematics of the Constance Frick Trough (Northern Switzerland): Implications for the Formation of Post-Variscan Basins in the Foreland of the Alps and Scenarios of Their Neogene Reactivation. *Tectonics*, **37**, p: 2197-2220, doi. 10.1029/2017TC004945.
- MICHEL, P., APPERT, G., LAVIGNE, J., LEFAVRAIS, A., BONTE, A., LIENHARDT, G. & RICOUR, J. 1953. Le contact Jura-Bresse dans la région de Lons-le-Saunier. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (6) ; **3**, p: 593-611.
- NAEF, H. & DIEBOLD, P. 1990. Interprétation géologique de la sismique réflexion. *Cédra informelle*, 2, 16216-28.
- NAGRA 2014. SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Dossier I: Einleitung und Zusammenfassung, 66 p.; Dossier II: Sedimentologische und tektonische Verhältnisse, 144 p.; Dossier III: Geologische Langzeitentwicklung, 118 p.; Dossier IV: Geomechanische Unterlagen, 172 p.; Dossier V: Hydrogeologische Verhältnisse, 129 p.; Dossier VI: Barriereigenschaften der Wirt- und Rahmengesteine, 190 p.; Dossier VII: Nutzungskonflikte, 64 p.; Dossier VIII: Charakterisierbarkeit und Explorierbarkeit, 76 p. Technischer Bericht 14-02, Nagra, Wettingen décembre 2014.
- NAGRA 2019a. Preliminary horizon and structure mapping of the Nagra 3D seismic JO-15 (Jura Ost) in time domain. Arbeitsbericht NAB 18-34.
- NAGRA 2019b. Preliminary horizon and structure mapping of the Nagra 3D seismics NL-16 (Nördlich Lägern) in time domain. Arbeitsbericht NAB 18-35.
- NAGRA 2019c. Preliminary horizon and structure mapping of the Nagra 3D seismic ZNO-97/16 (Zürich Nordost) in time domain. Arbeitsbericht NAB 18-36.
- SAUSSURE, H.-B. de, 1779-1796. *Voyages dans les Alpes précédés d'un essai sur l'histoire na-*

- turelle des environs de Genève*, 4 vol. Fauche-Borel, Neuchâtel. t. I 1779: 540 p.; t. II 1786: 641 p.; t. III 1796: 532 p.; t. IV 1796: 598 p.
- Société géologique de France 1838. Réunion extraordinaire de la Société à Porrentruy, 5-12 septembre 1838. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (1), **9**, 1837-1838 : 356-450, pl. IX.
- SOMMARUGA, A. 1997. Geology of the Central Jura and the Molasse basin: New insight into an evaporite-based foreland fold and thrust belt. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.*, **12**: 176 p.
- SOMMARUGA, A., MOSAR, J., SCHORI, M. et GRUBER, M. 2017. The role of the Triassic evaporites underneath the North Alpine foreland. In SOTO, J., FLINCH, J. et TARI, G. (ed.), Permo-Triassic salt provinces of Europe, North Africa and the Atlantic Margins: tectonics and hydrocarbon potential, Elsevier, 22(IV).
- THURMANN, J. 1852. *Esquisses orographiques de la chaîne du Jura. Première partie*. Impr. et lithogr. Victor Michel, Porrentruy: 17 p. 3 f. de pl. dépl. : ill. en coul. ; in-4°.
- TÓTH, J. 1962. A theory of groundwater motion in small drainage basins in Central Alberta, Canada. *J. geophys. Res.*, **67** : 4375-4387.
- TRIPET, J.-P. 1972. Étude hydrogéologique du bassin de la source de l'Areuse. Thèse, Université de Neuchâtel. *Mat. Carte géol. de la Suisse, sér. Hydrologie*, **21**, 1973: 183 p.