

Morphologie, contraintes et déformations dans le Jura central interne

Autor(en): **Schaer, Jean-Paul / Burkhard, Martin / Tschanz, Xavier**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **113 (1990)**

PDF erstellt am: **25.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-89309>

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

MORPHOLOGIE, CONTRAINTES ET DÉFORMATIONS DANS LE JURA CENTRAL INTERNE

par

JEAN-PAUL SCHAER¹, MARTIN BURKHARD¹, XAVIER TSCHANZ¹,
ERICH GUBLER² ET JEAN-F. MATHIER³

AVEC 5 FIGURES

INTRODUCTION

DE SAUSSURE (1778-1796) remarquait déjà que les reliefs du Jura atteignent leurs altitudes les plus élevées dans l'arc interne du Jura central là où celui-ci est proche des Alpes. Cette constatation était reprise par VON BUCH (1803) puis par GUYOT (1850). Ce dernier postulait même que cette situation permettait de considérer le Jura comme le résultat d'une poussée tangentielle provenant des Alpes et transmise par les assises jurassiques présentes sous le Bassin molassique. Le problème posé dès cette époque par les particularités de la première chaîne du Jura interne, sa haute altitude, son relief conforme et une érosion souvent modérée n'a en fait jamais été repris. La contribution qui suit, cherche à illustrer le problème dans la perspective des connaissances actuelles et en s'intéressant tout particulièrement aux considérations morphologiques qui pourraient être liées à des mouvements récents engendrés par la persistance de contraintes actives et génératrices de déformations.

DISCUSSION

Importance de l'érosion

On admet de nos jours que le Jura est une couverture plissée qui s'appuie sur un socle dont la surface est en gros peu accidentée, en dehors d'une flexure de pendage SE qui, sur une courte distance inférieure à 10 km élève les zones du Jura interne de quelque 500 à 1000 mètres par rapport au domaine molassique (LAUBSCHER 1961). A cet effet de socle s'ajoute la contribution des séries sédimentaires. De l'est vers le sud-ouest, elles sont de plus en plus épaisses et surtout elles deviennent presque

¹ Institut de géologie, Université de Neuchâtel, Suisse.

² Office fédéral de topographie, CH-3084 Wabern, Suisse.

³ Laboratoire de mécanique des sols et des roches, EPF Lausanne, Suisse.

partout redoublées par l'effet de charriages importants. On comprend donc que c'est dans ces régions qu'apparaissent les plus hauts sommets, taillés dans des séries épaisses, portées en altitude par un socle soulevé.

Evolution morphologique au niveau de la première chaîne

AUBERT (1975) a montré que dans l'évolution morphologique du paysage en pays calcaire, il importait de distinguer les effets de l'érosion fluviale et de l'ablation par dissolution qui s'exerce sur l'ensemble du paysage mais avec une vigueur particulièrement marquée au sommet des voûtes anticlinales.

Si l'on examine la morphologie des voûtes anticlinales dans la zone interne du Jura, on constate d'une manière générale qu'à l'E, celles-ci comportent de fréquentes et profondes combes entaillées dans des marnes du Jurassique supérieur et moyen et même dans celles du Trias. En opposition avec cette situation, le Jura situé au SW de Neuchâtel offre une morphologie conforme où l'érosion se situe le plus souvent dans les épaisses assises du Jurassique supérieur qui y forment de larges voûtes. Dans l'est du Jura, avant le plissement, l'érosion avait déjà fortement entamé le Jurassique supérieur. Le plissement s'est produit dans des séries stratigraphiques réduites, relativement riches en marnes; il a créé des plis étroits souvent écaillés. Il n'est donc pas étonnant d'y rencontrer un paysage de combes et cuestas fortement dégagées où l'érosion fluviale et ses conséquences l'emportent sur les effets de la dissolution. Au contraire de cette situation, dans le SW du Jura interne, entre Genève et Neuchâtel, les larges anticlinaux et leur série stratigraphique épaisse, possédaient avant le plissement une importante carapace de calcaires et de marnes crétacés. Il a fallu la dégager avant de parvenir aux puissantes séries du Jurassique supérieur qui actuellement forment très souvent les voûtes des plus hauts sommets. On sait de plus, qu'il est difficile, sinon impossible d'estimer l'importance et la nature des molasses qu'il a fallu, après le plissement, dégager du dos des anticlinaux pour atteindre les assises mésozoïques. On comprendra donc toutes les réserves qui doivent être faites lorsqu'on tente de donner une signification aux comparaisons d'érosion subie dans les différentes parties de la chaîne du Jura interne.

Signalons cependant que dans les structures anticlinales suivantes, où la structure est marquée par une voûte relativement large et régulière, sur laquelle l'érosion karstique par dissolution doit avoir été dominante, on peut estimer que celle-ci a atteint les valeurs suivantes de l'E au SW:

Grenchenberg (altitude 1200 m)	650 m (dont 150 m de marnes)
Chaumont (altitude 1200 m)	300 m
Le Soliat (altitude 1300 m)	450 m
Mont-Tendre (altitude 1600 m)	600 m
Crêt-de-la-Neige (altitude 1700 m)	600 m

Ces données qui ne sont qu'indicatives, montrent que l'ablation karstique par dissolution semble avoir joué un rôle assez comparable dans les différentes parties de la première chaîne. Dans la région de Chaumont le

décapage modeste peut éventuellement être lié à une structure tectonique qui serait relativement récente. Notons également que l'altitude ne semble pas jouer un rôle important bien qu'actuellement les précipitations et probablement la dissolution des calcaires augmentent sensiblement avec l'altitude.

Le réseau de drainage dans le temps et l'espace

Les informations dont on dispose pour suivre l'évolution du système des rivières dans le Jura sont assez sommaires. A l'époque du Miocène terminal, au niveau du Plateau suisse, la situation est caractérisée par un écoulement général du NE vers le SW, qui reçoit sur sa bordure septentrionale des apports provenant des Vosges et de la Forêt-Noire (HOFMANN 1956-1958). Dans la vallée du Locle et de La Chaux-de-Fonds des conglomérats importants d'origine locale rapportés à l'Helvétien (FAVRE 1910) attestent la présence de reliefs précoces. Par la suite, la cuvette synclinale se développe pour recevoir dans un lac situé probablement à faible altitude plus de 200 mètres de sédiments essentiellement formés de craies lacustres. Ce bassin qui n'est pas contaminé par les apports détritiques alpins (KÜBLER 1962) devait en être séparé par un interfluve. Dans le Bassin de Delémont, à la même époque (communication M. Weidmann), sous l'effet du soulèvement des Vosges se déposent les sables et marnes à *Dinotherium* (LINIGER et KELLER 1930). Ils sont eux-mêmes suivis par les cailloutis d'origine vosgienne (formation du Bois-de-Raube), qui attestent que le drainage N-S était encore actif (LINIGER 1966) et se prolongeait jusque dans le Bassin molassique. Les déformations enregistrées postérieurement mettent un terme à cet écoulement d'origine septentrionale qui traverse encore le Jura. Il semble donc que les régions du Jura neuchâtelois et vaudois (AUBERT 1975) sont marquées par une structuration précoce qui les placent déjà à cette époque, dans une situation d'isolement que ne connaissent pas celles situées plus à l'E. Toutes les eaux, celles du chenal périalpin, celles des Vosges, et celles des lacs du Jura se dirigeaient vers le golfe marin de la vallée du Rhône qui s'étendait alors jusqu'en Bresse. Par la suite, l'accentuation du plissement dans le Jura modifie les axes de drainage majeur. Durant le début du Pliocène, les alluvions alpines de l'Aar et du Rhin passent par le détroit de Belfort, gagnent la Bresse en contournant la zone élevée que forme alors le Jura oriental et central. Le Rhône quant à lui, traverse déjà le Jura et transporte ses alluvions jusque dans la Bresse où il les dépose au niveau des Dombes (PERRIAUX 1984).

Depuis cette époque, la situation ne s'est guère modifiée. Sous l'effet du plissement, le Jura dans son ensemble s'est élevé et de cette zone haute, le drainage a pris une disposition globalement centrifuge, marquée par une dissymétrie prononcée (fig. 1). Les rivières qui s'écoulent vers le Plateau suisse pénètrent très peu dans le Jura et possèdent des pentes relativement fortes; celles qui s'écoulent vers le nord et l'ouest étendent leur réseau de drainage presque jusque sur la bordure du Jura interne. Les rivières de cette dernière catégorie, comme le Doubs, l'Ain, la Birse possèdent des

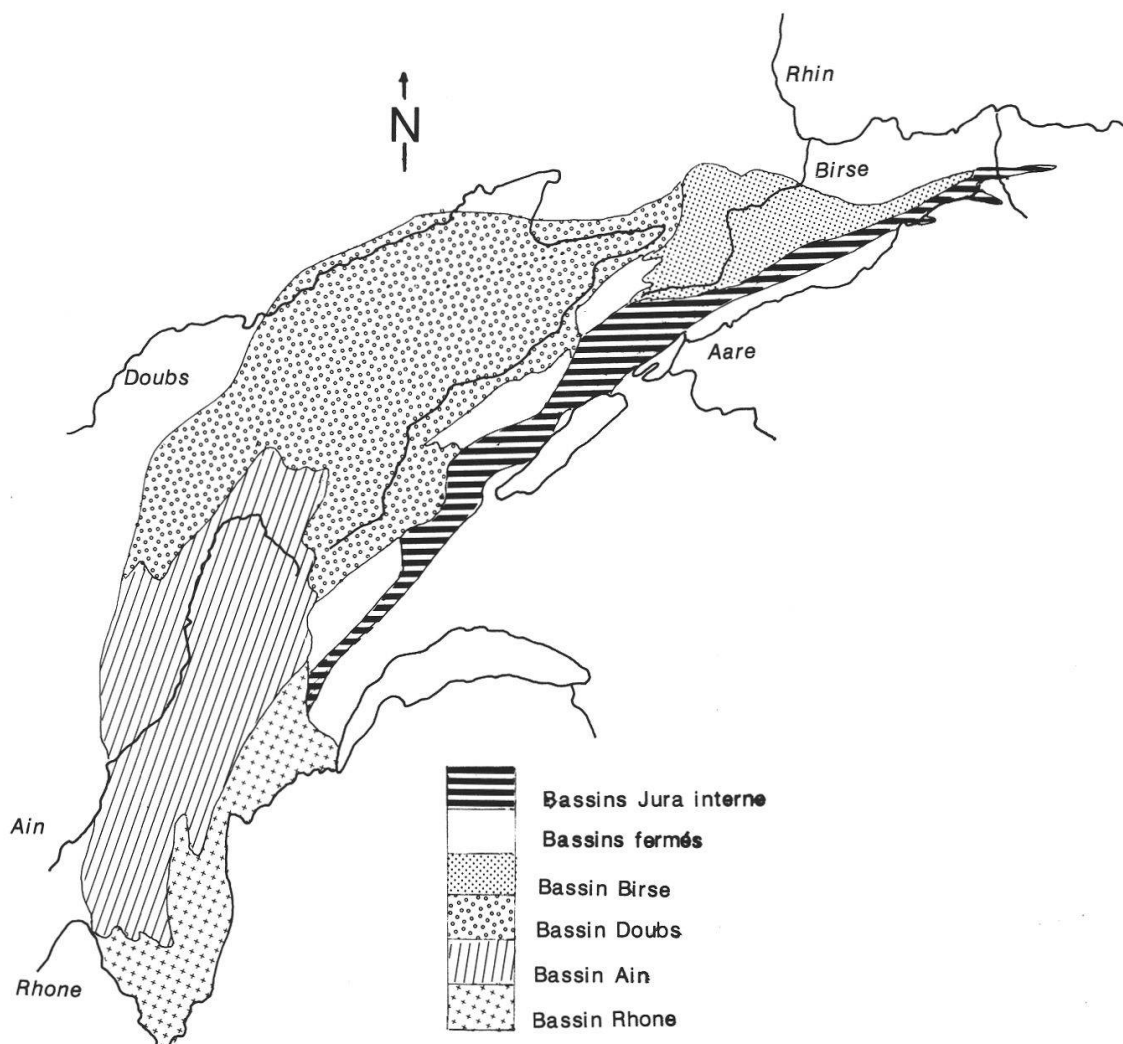


Fig. 1. Réseau de drainage actuel dans le Jura.

profils longitudinaux relativement équilibrés jusque dans leurs cours supérieurs (fig. 2). Au contraire, les bassins versants des rivières qui évacuent les eaux vers le Plateau molassique, s'étendent rarement au-delà des premiers synclinaux et leurs cours montrent des signes évidents de déséquilibres particulièrement là où ils franchissent le dernier anticlinal. Dans une rivière comme l'Areuse, le dernier tronçon avant de gagner le pays molassique est constitué, au niveau des calcaires valanginiens, par une entaille profonde de plus de trente mètres qui n'a souvent pas plus de dix mètres de largeur. Ce canyon étroit peut être interprété soit comme une adaptation très récente du cours d'eau à une montée relative de la barrière calcaire, soit comme la conséquence d'un abaissement relatif du niveau de base local constitué par le lac de Neuchâtel. Cette dernière solution devrait alors être considérée comme la conséquence d'une érosion générale au niveau du Plateau suisse depuis le dernier interglaciaire. MONBARON (1975) avait déjà attiré l'attention sur le fait que les cluses comme celles du Taubenloch, du Seyon, qui sont étroites et profondes, doivent leurs

caractéristiques à un développement récent. Une situation comparable se retrouve le long de l'Arnon (fig. 2) où le cours d'eau qui draine le synclinal de Sainte-Croix perd 300 mètres d'altitude sur moins de 3 km en franchissant le dernier anticlinal qui le sépare du bassin molassique (fig. 2). Cette situation peut partiellement être mise en relation avec l'étendue restreinte du bassin versant et le faible débit d'eau qu'il entraîne, mais le caractère juvénile de l'érosion n'en est pas moins remarquable. Plus au SW, par un cours d'abord souterrain, les eaux de la vallée de Joux perdent 550 m d'altitude en 17 km entre le lac Brenet et la plaine molassique, le long du cours de l'Orbe. C'est dans la partie inférieure de cette vallée fluviale qu'AUBERT (1956) a pu mettre en évidence des déformations récentes, wurmiennes ou postwurmiennes. Au niveau de la zone la plus élevée du Jura, Crêt-de-la-Neige, Reculet, l'absence de drainage superficiel important empêche toutes comparaisons dans une situation où la Valserine et sa vallée synclinale isole la première chaîne du Jura interne. En résumé, les cours d'eau qui de Bienne en direction du SW recoupent la première chaîne présentent souvent de fortes pentes avec des profils non équilibrés particulièrement fréquents aux niveaux des cluses. Ces particularités ne se retrouvent pas dans les cours d'eau les plus importants qui drainent les eaux du Jura vers le Rhin ou la Bresse.

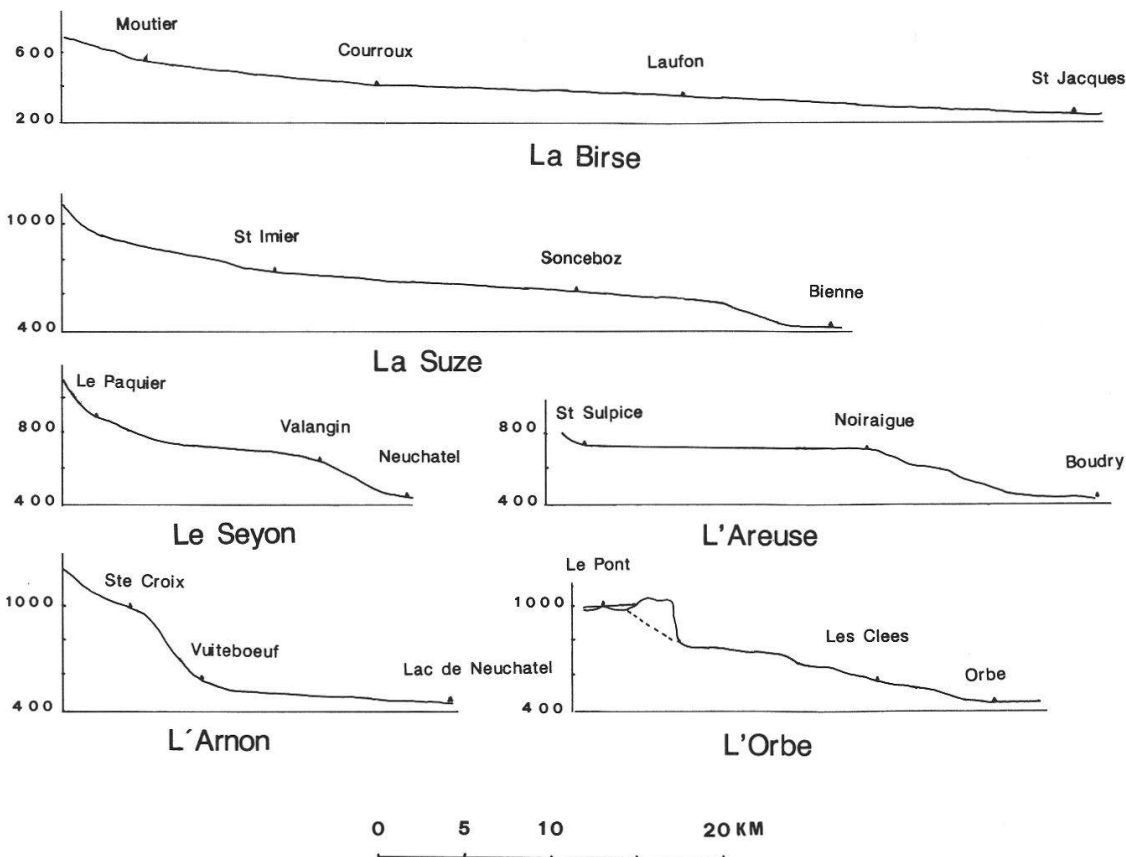


Fig. 2. Profil en long de quelques rivières du Jura interne et de la Birse.

Les paléocontraintes

En utilisant la géométrie des éléments structuraux du Jura, LAUBSCHER (1972) a proposé une image générale des contraintes que les travaux ultérieurs ont confirmés. PLESSMANN (1972) avait déjà montré que l'orientation des stylolites tectoniques présentait dans la partie centrale de la chaîne une disposition cohérente qui impliquait une poussée orientée globalement NNW.

Les études approfondies entreprises dans le Jura oriental ont confirmé ces premières données (BECKER 1989). Dans le Jura central, TSCHANZ (1989 et travaux en cours), met en évidence deux directions principales de raccourcissement qui sont associées à deux phases majeures de déformation de la chaîne. Dans la région de Neuchâtel, où l'on passe du Plateau molassique au domaine du Jura, l'analyse dans une structure aussi simple que l'anticlinal de Chaumont (fig. 3b) montre que la déformation cassante des couches de ce pli, peut être interprétée, en utilisant les glissements le long des strates et des plans de failles selon la méthode PFIFFNER et BURKHARD (1987), comme la résultante d'une contrainte d'orientation NNW, présente aussi bien sur la voûte de l'anticlinal que sur son flanc. Dans les calcaires valanginiens sparitiques présents dans le tunnel passant sous Neuchâtel (fig. 4a), une très faible déformation ductile est constatée par l'analyse des macles de calcite (GROSHONG 1972) présentes dans la sparite de la roche oolitique indiquant un raccourcissement de -5% en direction WNW, un faible étirement horizontal de $+4,5\%$, le tout résultant ainsi d'un champ de déformation local de type «décrochement». L'analyse des macles de calcite présente dans le remplissage sparitique d'un miroir de faille (fig. 4b) révèle des orientations de contraintes compatibles avec l'accentuation de la faille. L'histoire suivante peut être proposée: 1. Une poussée parallèle à la stratification et d'orientation NW provoque la formation d'une petite faille inverse avec formation de fibres de calcite. 2. Remplissage du vide apparu à la suite du jeu de la faille entre les deux parois sparitiques. 3. Une contrainte de même orientation que 1. provoque une faible déformation intracristalline ($2,5\%$ de raccourcissement) dans cette calcite de remplissage. Ainsi dans les deux échantillons analysés, roche encaissante du Valanginien et remplissage d'un vide, l'axe de raccourcissement construit est orienté NW-SE, approximativement perpendiculaire à l'axe de l'anticlinal local. Comme dans l'analyse des failles, on enregistre une contrainte maximale NW et la contrainte minimale varie localement entre la verticale (type failles inverses) et l'horizontale (type décrochement).

Les contraintes actuelles

Dans le Jura oriental, les recherches récentes de l'école de Karlsruhe montrent que tant qu'on reste dans les assises sédimentaires, donc à faible profondeur, l'orientation de la contrainte maximale enregistrée à l'E de Bâle, est d'abord N-S, mais devient NE-SW, et même W-E, en direction de l'extrémité de la chaîne. En profondeur, au niveau du socle, les contraintes déterminées dans les forages (BECKER et *al.* 1987 et MÜLLER

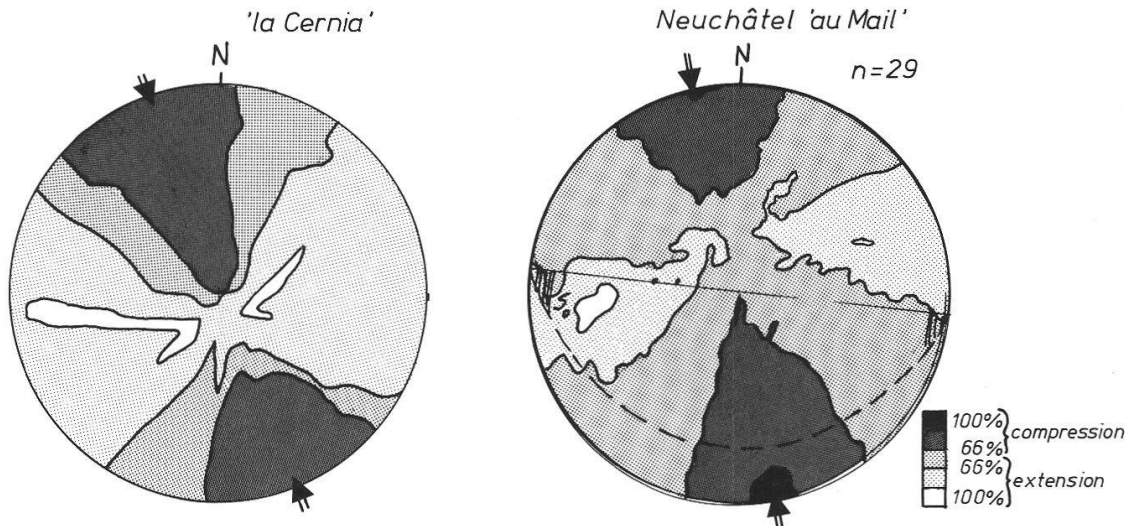


Fig. 3 a. Déformation dans les calcaires de l'anticlinal de Chaumont par analyse des plans de fracture et de glissement. Les résultats sont présentés en projection stéréographique dans l'hémisphère inférieure. Les contraintes les plus probables ayant produit ces déformations sont représentées par des grisés de plus en plus sombres et par des flèches.

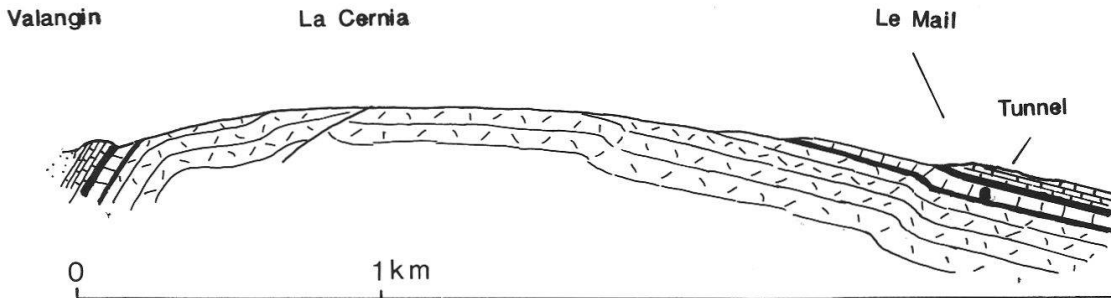


Fig. 3 b. Profil de l'anticlinal de Chaumont dans la région de Neuchâtel. Les endroits où les mesures de déformations furent faites sont indiqués de même que la position du tunnel où furent entreprises les mesures de contraintes.

et *al.* 1987) ainsi que celles provenant de l'étude des mécanismes au foyer des tremblements de terre, donnent une direction de contrainte d'orientation générale NNW (PAVONI 1977, 1984).

A ce jour, peu de données existent dans le Jura interne central et occidental. Les analyses de PAVONI (1977) et SAMBETH et PAVONI (1988) montrent que les contraintes maximales prennent une direction NNW puis NW en allant de la région de Neuchâtel à celle de Genève. Dans ce secteur, on enregistre aucun changement de direction entre les données provenant du socle et celles de la couverture. Dans le tunnel en construction sous la ville de Neuchâtel (fig. 4), les mesures de contraintes in situ, enregistrées par la méthode du vérin plat et rapportées dans l'article qui fait suite (MATHIER 1990), montrent que celles-ci sont relativement importantes (1 MN/m² maximales dans une direction perpendiculaire à l'axe de plissement régional). Ces résultats permettent d'envisager que la poussée alpine responsable du plissement du Jura reste active et n'a pas changée de direction.

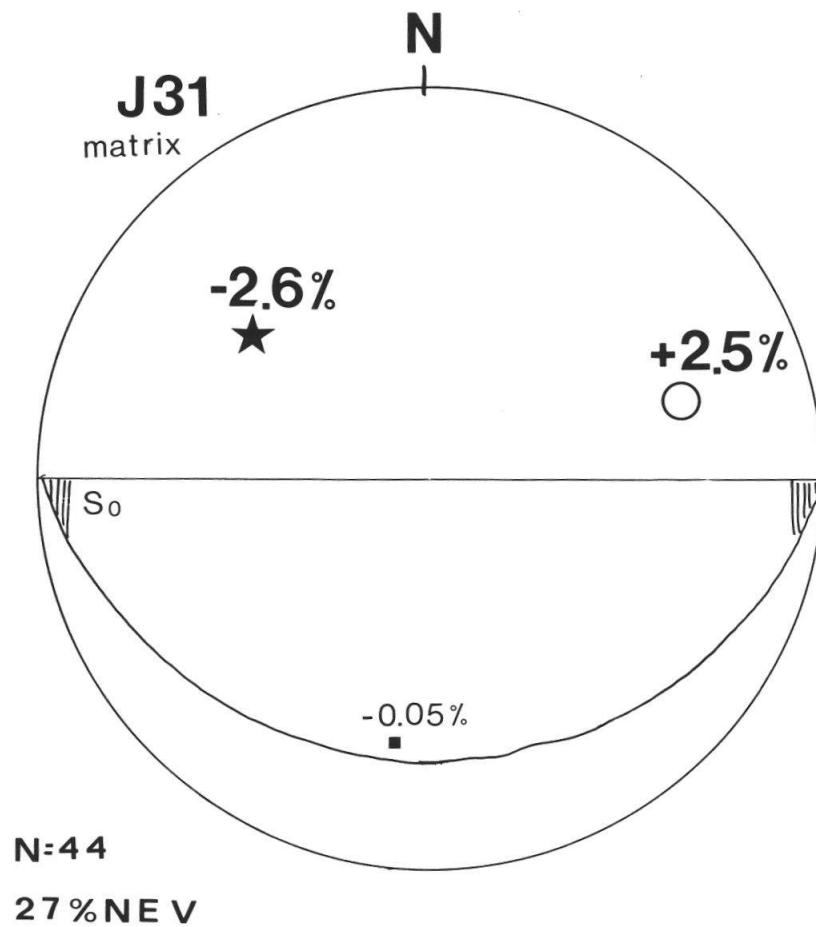


Fig. 4a. Représentation stéréographique de l'orientation des contraintes dans l'espace et par rapport à la stratification locale (S_0). La détermination est obtenue à partir des macles de la calcite dans la sparite d'une roche oolithique de l'Hauterivien.

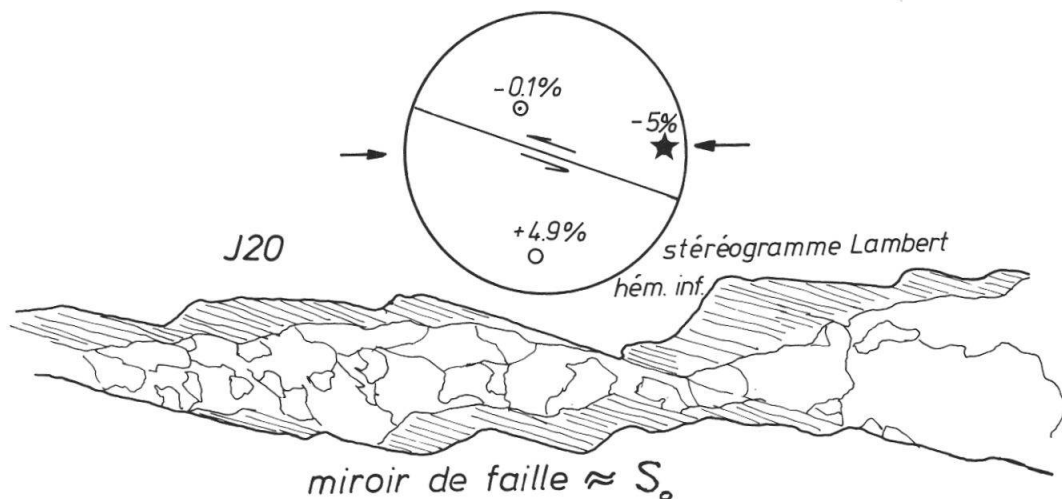


Fig. 4b. Veine de calcite dans un plan de faille de l'Hauterivien. La roche encaissante n'est pas représentée. Sur les bord de la veine, on reconnaît des fibres de calcite, dans le centre les cristaux sparitiques qui ont été déformés par maclage. Vue dans un plan vertical perpendiculaire au plan de faille.

Les mouvements récents

La répétition des nivellements de précision entreprise par l'Office fédéral de topographie, n'a, à ce jour, que rarement traversé le Jura. Les données provenant de l'itinéraire Liestal - Olten, sont d'interprétation difficile, sinon impossible, par le fait que les premières mesures y furent encore effectuées avec des mires en bois et non pas en invar comme cela a pu se faire par la suite. Les résultats des nivellements de précision entrepris récemment sur les itinéraires de second ordre, dans la région de l'extrémité E du Jura, Baden - Brugg, attestent là, au niveau des anticlinaux, des soulèvements modestes mais significatifs (GUBLER *et al.* 1984). Durant l'année 1988, l'Office fédéral de topographie a mesuré à nouveau l'itinéraire Grandson - Le Locle - Bienne. Une partie des résultats de cette campagne est présentée sur la figure 5, où nous n'avons sélectionné qu'un certain nombre de points dont les repères se trouvent dans la roche en place. Par rapport à Aarburg, qui a été choisi arbitrairement comme point de base des comparaisons suisses, les mesures font apparaître des valeurs négatives. On constate cependant que celles-ci sont souvent inférieures à la marge d'erreur. Une subsidence relative et significative est enregistrée de Bienne à La Cibourg, par contre les comparaisons faites sur le trajet Grandson - Sainte-Croix - Saint-Sulpice ou entre Neuchâtel et La Cibourg ne permettent pas encore de conclure à des mouvements récents significatifs. En terme de géologie, l'ensemble de ces données est d'interprétation difficile. Elles peuvent être le reflet de tendances générales impliquant de larges régions, ou au contraire correspondre à des migrations locales de matière, comme pourrait l'être le fluage des sels se trouvant sous le Jura. Des études ultérieures parviendront probablement à répondre à ces questions.

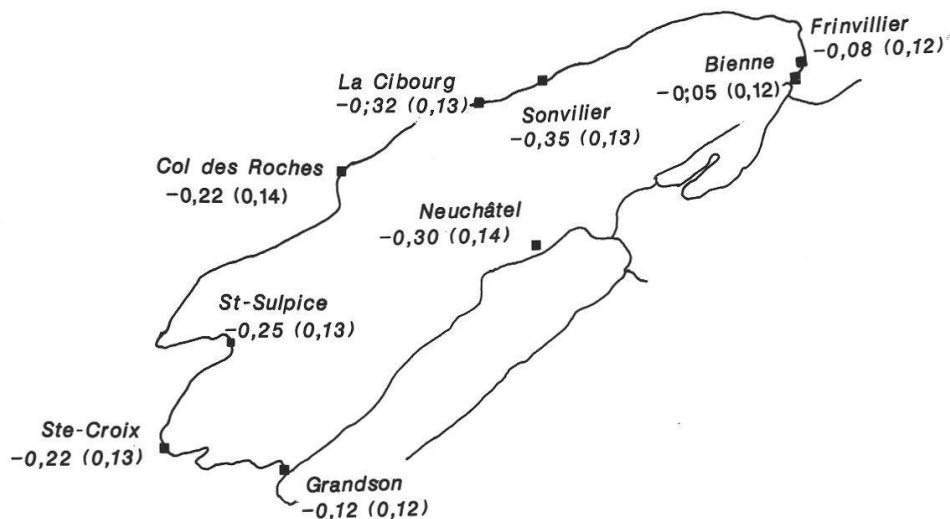


Fig. 5. Mouvements récents obtenus par comparaison des données des nivellements de précision dans la région du Jura interne proche des lacs de Bienne et de Neuchâtel. Etat des résultats fin 1988. Les localités figurant sur la carte possèdent un ou des points situés dans la roche en place, à l'exception de Grandson. Les variations d'altitudes, première donnée, sont comparées à la référence de base placée arbitrairement à Aarburg et exprimées en millimètres par année. La seconde donnée chiffrée, entre parenthèses, situe la précision de la mesure (double déviation standard du changement d'altitude annuel).

CONCLUSIONS

Dans la région de Neuchâtel, prise comme exemple de l'évolution structurale récente du Jura interne occidental, on constate que les paléo-contraintes ont gardé, au cours du temps, la même orientation, qui est semblable à celle, importante, que l'on peut actuellement mesurer dans un tunnel passant sous la ville. Ces données laissent entendre que le Jura pourrait être le siège de déformations actuelles qui contribuent à en élever les premiers anticlinaux. Cette façon de voir s'accorde parfaitement avec les observations que l'on peut faire au niveau des cluses et des cours d'eau. Là, la morphologie juvénile suggère que d'importants changements se sont produits dernièrement conduisant à un abaissement des niveaux de base situés dans le pays molassique, ceux-ci pourraient être en partie d'origine glaciaire. Il est certain cependant que le relief important de la première chaîne du Jura au NE de Genève est avant tout lié au redoublement des assises sédimentaires qui y sont là plus puissantes qu'ailleurs. La répétition des nivellements de précision entreprise par l'Office fédéral de topographie sur un itinéraire allant de Grandson à Bienne en passant par Le Locle montre que par rapport au Plateau molassique, ces régions du Jura présentent une faible tendance à la subsidence qui n'est pas significative lorsqu'elle est examinée dans une direction perpendiculaire à la chaîne.

Remerciements

L'esprit de cette recherche a été fortement influencé par l'enseignement que Daniel Aubert a généreusement dispensé à Neuchâtel parmi ses élèves et ses collègues. La direction des Travaux publics de l'Etat de Neuchâtel a accordé son aide et son soutien pour l'exécution des mesures de contraintes. Cette recherche a été partiellement financée par le Fonds national de la recherche, requête N° 2-4.816.

Résumé

Les hauts reliefs de la première chaîne du Jura interne occidental sont liés à l'épaississement de la série sédimentaire et à son redoublement par charriages. Le réseau hydrographique y est jeune et semble avoir été perturbé par une tectonique récente qui se manifeste actuellement encore par des tremblements de terre et une contrainte élevée enregistrée in situ dans un tunnel. Un soulèvement récent de ces régions n'est pas mis en évidence par la répétition des nivellements de précision.

Zusammenfassung

Das Hochrelief der ersten, internen Jura-Hauptantiklinalen zwischen Genf und Solothurn ist an die Mächtigkeitzunahme ihrer Sedimente und deren Verdoppelung infolge von Überschiebungen gebunden. Das hier rezent angelegte Gewässernetz scheint durch neotektonische Bewegungen gestört zu sein, welche gegenwärtig noch durch Erdbeben sowie durch erhöhte, in einem Tunnel gemessene in situ Spannungsbeträge nachweisbar sind. Eine rezente Hebung dieses Gebietes kann durch wiederholte Präzisionsnivellements nicht festgestellt werden.

Summary

The high altitude of the first chain of the internal western Jura is related to the primary thickness of its sedimentary pile which is duplicated by thrusts. The drainage pattern is young and seems to be affected by recent movements responsible for earthquakes and high stresses; these have been measured in a tunnel. Recent uplifts have not been shown by repeated precise leveling.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT, D. — (1956). Hydrographie ancienne et tectonique récente de la gorge de l'Orbe. *Bull. Soc. vaud. Sci. nat.* 66/291: 259-271.
— (1975). L'évolution du relief jurassien. *Eclogae geol. Helv.* 68/1: 1-64.
- BECKER, A. — (1987). Recent stress field and neotectonics in the eastern Jura Mountains. *Tectonophysics* 135: 277-288.
— (1989). Detached neotectonic stress field in the northern Jura Mountains, Switzerland. *Geologische Rundschau* 78/2: 459-475.
- DE SAUSSURE, B. — (1779-1796). Voyage dans les Alpes. *Neuchâtel*.
- FAVRE, J. — (1910). Description géologique des environs du Locle et de La Chaux-de-Fonds. *Eclogae geol. Helv.* 11/4: 369-475.
- GROSHONG, R. H. — (1972). Strain calculated from twinning in calcite. *Bull. geol. Soc. Amer.* 85: 855-864.
- GUBLER, E., SCHNEIDER, D. et KELLERHALS, P. — (1984). Bestimmung von rezenten Bewegungen der Erdkruste mit geodätischen Methoden. *NAGRA Techn. Ber.* 84-17: 1-55.
- GUYOT, A. — 1850). The Jura and the Alps. *In: Proceedings of the American Association for the Advancement of Sciences, Second Meeting, Cambridge, August 1849*: 115-117.
- HOFMANN, F. — (1956-1958). Materialherkunft, Transport und Sedimentation im schweizerischen Molassebecken. *St. Gallisches Jahrb. Naturwiss. Ges.* 76: 49-76.
- KÜBLER, B. — (1962). Etude pétrographique de l'Oehningien (Tortonien) du Locle. *Beitr. Mineral. Petrogr.* 8: 267-314.
- LAUBSCHER, H.-P. — (1961). Die Fernschubhypothese der Jurafaltung. *Eclogae geol. Helv.* 54/1: 221-282.
— (1972). Some overall aspects of Jura dynamics. *Am. Journ. of Sci.*, 272: 293-304.
- LINIGER, H. — (1966). Das Plio-altpleistozäne Flussnetz der Nordschweiz. *Regio Basiliensis*, VII: 158-177.
- LINIGER, H. et KELLER, W. T. — (1930). Notice explicative, Atlas géologique de la Suisse, feuille 1086: Delémont: 1-6.
- MATHIER, J.-F. — (1990). Evaluation de la déformabilité de la roche et des contraintes régnant au voisinage de la galerie par la méthode du vérin plat. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 113: 51-57.
- MONBARON, M. — (1975). Contribution à l'étude des cluses du Jura septentrional. Thèse, *Université de Neuchâtel*.
- MÜLLER, W. H., BLÜMLING, P., Becker, A. et Clauss, B. — (1987). Die Entkoppelung des tektonischen Spannungsfeldes an der Jura-Überschiebung. *Eclogae geol. Helv.* 80: 473-489.

- PAVONI, N. — (1977). Erdbeben im Gebiet der Schweiz. *Eclogae geol. Helv.* 70: 351-370.
- (1984). Seismotektonik Nordschweiz. *NAGRA Techn. Ber.* 84-45: 1-45.
- PERRIAUX, J. — (1984). In: Synthèse géologique du sud-est de la France. Le Néogène. Descriptions régionales. 2.1: Bresse. *BRGM Mém.* 125: 483-487.
- PFIFFNER, O. A. et BURKHARD, M. — (1987). Determination of paleo-stress axes orientations from fault, twin and earthquake data. *Annales Tectonicae* 1: 48-57.
- PLESSMANN, W. — (1972). Horizontal-Stylolithen im französisch-schweizerischen Tafel- und Faltenjura und ihre Einpassung in den regionalen Rahmen. *Geologische Rundschau* 61: 332-347.
- SAMBETH, L. et PAVONI, N. — (1988). Seismotectonics in the Geneva Basin, southern Jura Mountains. *Eclogae geol. Helv.* 81/2: 433-440.
- VON BUCH, L. — (1803). Sur le Jura. In: Leopold von Buch gesammelte Schriften: 688-695.
- TSCHANZ, X. — (1989). Strain analyses in the external part of the Jura fold and thrust belt (Pontarlier region). *Terra abstracts* 1/1: 387.