

# Analyse de la déformation du Jura central entre Neuchâtel (Suisse) et Besançon (France)

Autor(en): **Tschanz, Xavier**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **83 (1990)**

Heft 3: **The Hans Laubscher volume**

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-166601>

## **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.

# Analyse de la déformation du Jura central entre Neuchâtel (Suisse) et Besançon (France)

Par XAVIER TSCHANZ<sup>1)</sup>

## RÉSUMÉ

Des mesures de déformations ont été faites dans le Jura entre la plaine molassique suisse et le plateau de Vesoul en utilisant trois méthodes: analyse de stries sur les zones de failles, maclage de la calcite, mesures des directions des pics stylolitiques.

Dans la Haute Chaîne ainsi que dans le faisceau bisontin et le faisceau salinois, le raccourcissement est principalement orienté SE-NW. Dans les plateaux et au voisinage des failles principales de direction N-S, il est avant tout orienté N-S.

En dehors des zones tectonisées il n'y a pas ou peu de déformation interne des roches. Les macles dans les cristaux de calcite, sont rares ou absentes. A l'inverse, les bordures des compartiments délimités par des failles plus ou moins décrochantes ou par des chevauchements, présentent une déformation intense. Les plans de glissement montrent à la fois des stries et des slycolites, les sparites sont maclées.

Les variations de la direction du raccourcissement dans les différentes zones du Jura central indiquent que le Jura se comporte comme un ensemble de dalles rigides. Celles ci glissent sur un plan de charriage sub-horizontale déterminé par les évaporites du Trias. Dans la partie centrale du Jura, le mouvement est de direction NW-SE, parallèle au champ de contraintes Centre et Ouest européen, Miocène à actuel. Les compartiments partiellement indépendants se déforment localement en donnant naissance à des faisceaux qui se développent sur des rampes, dans le chevauchement. Des zones de failles sub-verticales N-S, associées probablement aux déformations rhénanes, constituent les limites latérales des ensembles structuraux. Les parties des plateaux restées subtabulaires peuvent alors transporter une déformation N-S enregistrée antérieurement, sans être affectées par les derniers événements de direction NW-SE. Le long des décrochements N-S, on met en évidence des déformations synplissement attestant des raccourcissements N-S dont la genèse mal expliquée sera étudiée ultérieurement.

## ABSTRACT

Deformation analyses have been carried out in the Jura between the swiss Plateau Molasse and the Vesoul "Plateau Jura" using three different methods: fault and slickenside analysis, twinning strain analysis and measurement of the direction of tectonic stylolites.

In the Jura "Haute Chaîne" as well as in the "faisceau bisontin" and "faisceau salinois", the main shortening direction is oriented SE-NW. Within the "plateaux" and close to the major N-S running faults, shortening is generally oriented N-S.

Very little or no internal deformation is found in rocks from outside tectonized zones. Twinning of calcite is rarely observed. On the other hand the borders of compartments limited by strike slip faults or thrusts show intense deformation. Fault planes show both slickensides and slycolites whereas sparry calcite is twinned.

Variations of the maximum shortening direction in the various parts of the central Jura indicate that the Jura behaves as an ensemble of essentially rigid blocks. These are sliding along a basal subhorizontal thrust determined by triassic evaporites. The movement direction in central parts of the Jura is NW, i.e. parallel to the Miocene to recent stress field of central Western Europe. These compartments are locally deformed above ramps in the basal

---

<sup>1)</sup> Institut de Géologie, Université de Neuchâtel (Suisse).

decollement giving way to the folds of the "faisceaux". N-S oriented subvertical faults represent lateral limits of structural ensembles. Subhorizontal parts of the "plateaux" may record older N-S oriented deformation without being overprinted by the later NW-SE Jura shortening.

## ZUSAMMENFASSUNG

Im Jura zwischen dem Schweizer Molassebecken und dem Plateau von Vesoul wurden unter Verwendung folgender drei Methoden Deformationsmessungen durchgeführt: Striungsanalyse von Bruchflächen, Zwillingsbildung im Calcit, Richtungsmessungen an Stylolithen.

In den Jura-Hauptketten sowie in den Faltenbündeln von Besançon («faisceau bisontin») und Salins («faisceau salinois») ist die Verkürzung hauptsächlich SE-NW orientiert, während sie in den «plateaux» und in der Nachbarschaft von N-S verlaufenden Hauptstörungen eher N-S ausgerichtet ist.

Ausserhalb tektonisch beanspruchter Zonen gibt es keine oder nur eine geringe Interdeformation des Gesteines. Zwillingsbildung in Calcitkristallen ist selten oder fehlt ganz. Im Gegensatz dazu zeigt sich im Bereich von Auf- und Überschiebungen eine intensive Deformation. Die Schubbahnen zeigen zugleich Striung und Slycolithe, während die Sparite verzwillingt sind.

Die Veränderungen der Verkürzungsrichtung in den verschiedenen Teilbereichen des Zentraljuras weisen darauf hin, dass sich der Jura wie ein Komplex starrer Platten verhält. Diese gleiten auf einer von den Evaporitserien der Trias bestimmten subhorizontalen Überschiebungsbahn. Die Bewegungsrichtung ist im Zentraljura NW-SE und damit parallel zum mittel- und westeuropäischen Spannungsfeld vom Miozän bis heute. Die Einzelelemente unterliegen einer örtlichen Verformung welche die Bildung von fächerartigen Strukturen auf den Überschiebungsrampen verursacht. Die strukturellen Einheiten sind seitlich von subvertikalen, N-S verlaufenden Störungszonen begrenzt. Dies bedeutet, dass nahezu tafelförmig gebliebene Elemente eine überlieferte N-S Deformation transportieren können ohne von späteren, NW-SE orientierten Ereignissen erfasst zu werden.

## 1. Introduction

Le Jura est généralement considéré comme étant la bordure chevauchante tardi-Miocène la plus externe de l'arc alpin. C'est un chevauchement de l'avant pays provoqué par la collision alpine (BUXTORF 1907; LAUBSCHER 1961, 1972, 1973; BECKER 1989). Il est formé par des chaînes de plis qui constituent la Haute Chaîne dans sa bordure interne et les faisceaux dans sa partie externe. Ces ensembles plissés sont séparés par des étendues, sans grands reliefs, qui constituent les plateaux (fig. 1).

Le style de déformations dans le Jura plissé résulte de plusieurs facteurs (BECKER 1989):

- le niveau de décollement permettant le découplage de la couverture sur le socle
- des irrégularités du socle comme des failles ou des flexures
- le comportement cassant de la couverture.

Dans le Jura central, principalement examiné dans cette étude, l'orientation générale des plis est SW-NE. Leur direction devient E-W dans la partie orientale de la chaîne, N-S à son extrémité méridionale (fig. 2). Un réseau majeur de grands décrochements sénestres découpe la couverture, surtout dans la partie interne du Jura. La direction de ces accidents principaux subit une rotation. Elle est NNW au niveau de Genève et N-S au niveau de Neuchâtel. Pour l'ensemble de la chaîne CAIRE (1963) et BERGERAT (1977) proposent deux familles de décrochements: l'une pré-jurassienne d'âge Paléogène, l'autre jurassienne d'âge Néogène (fig. 3).

L'analyse de l'orientation des plis et des décrochements conduit LAUBSCHER (1972) à proposer une carte des trajectoires de la contrainte maximale associée à la formation

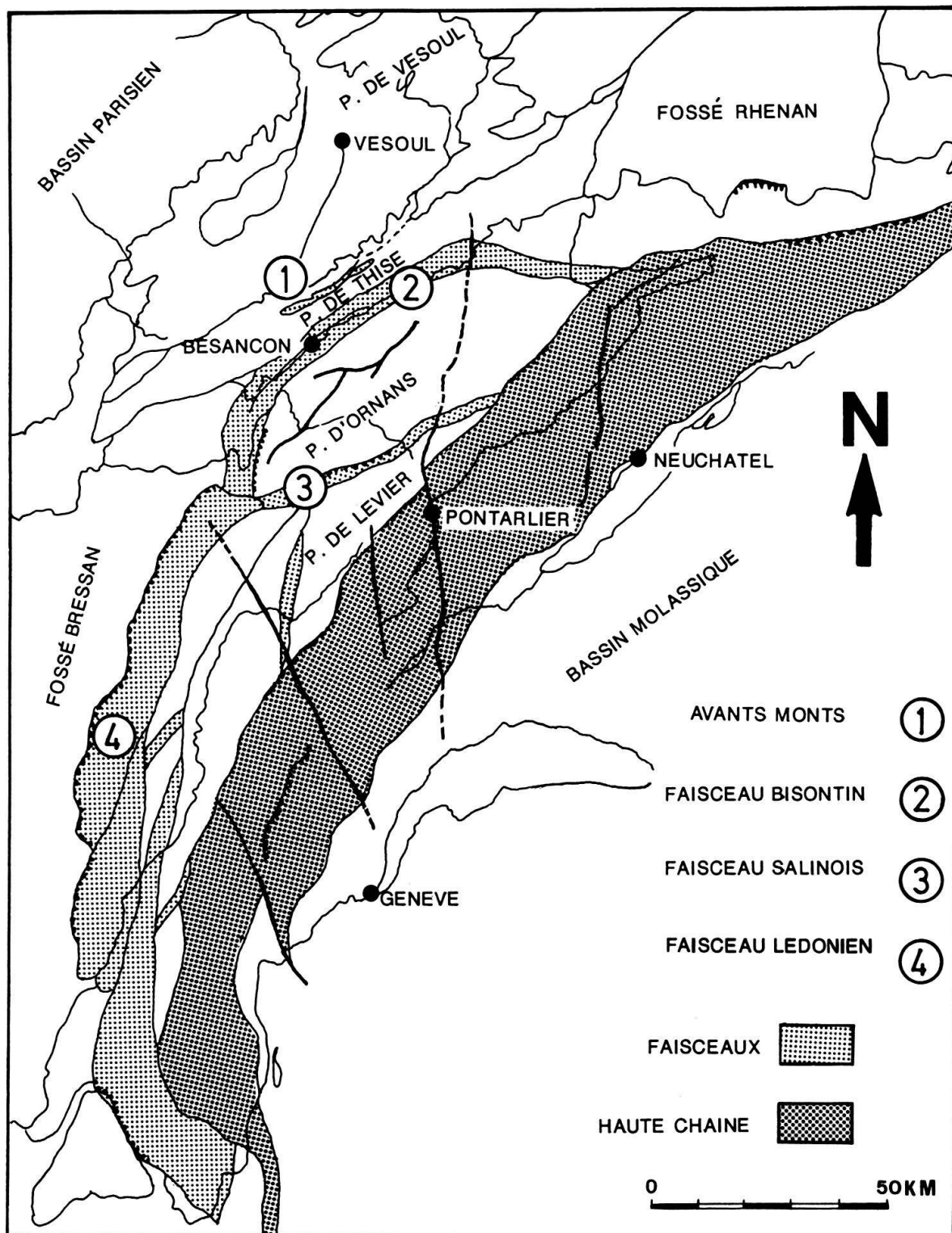


Fig. 1. Carte des grands ensembles structuraux du Jura (d'après CHAUVÉ 1975).



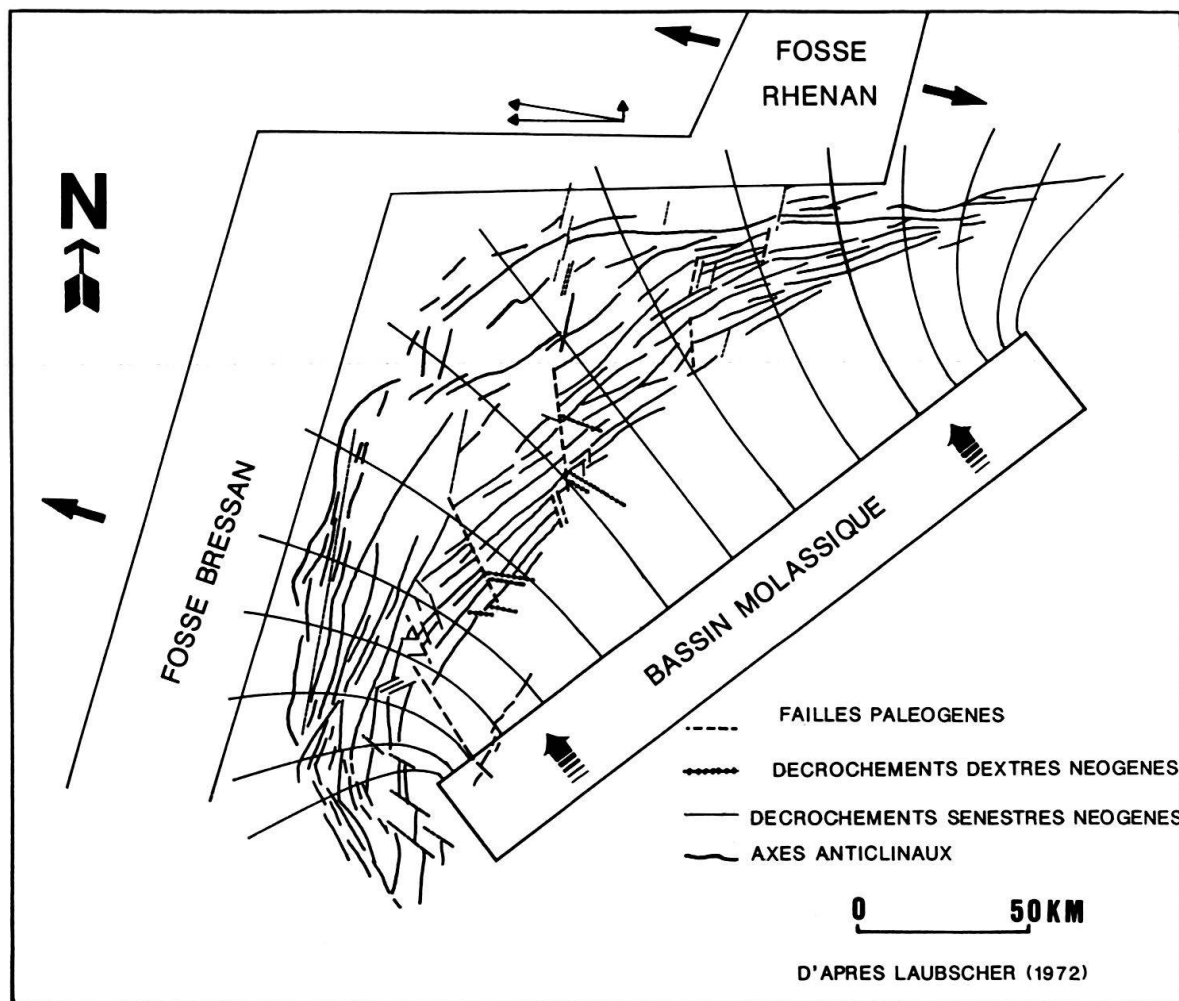


Fig. 2. Relations entre le système de fossés rhénan et bressan d'âge Paléogène avec le Jura d'âge Néogène, d'après LAUBSCHER (1972).

du Jura (fig. 2). La forme arquée de la chaîne, assez symétrique, est alors interprétée comme étant due à l'effet d'un poinçonnement transmis depuis les Alpes par le Bassin Molassique. La contrainte a une direction moyenne SE-NW dans le Jura interne; elle est déviée aux limites externes du Jura et surtout aux extrémités de la chaîne.

Cette image s'accorde avec les directions de raccourcissement maximal obtenues à l'échelle de l'affleurement par l'analyse des stylolites (PLESSMANN 1972). Plus récemment BECKER (1989), confirme les propositions de déviations des contraintes aux extrémités par des mesures «in situ» obtenues par diverses méthodes.

Dans le but de conforter les données de terrain avec ces vues générales, nous avons entrepris dans le Jura central, du Bassin Molassique jusqu'au Jura tabulaire au nord de Besançon, une analyse de la déformation basée sur des études de microstructures en utilisant principalement les traces de déplacement (failles, stries, fibres de calcite), les macles de la calcite, les pics stylolitiques. Nous visons ainsi à établir une carte détaillée des directions de raccourcissement, et une chronologie de la déformation. Cette analyse est également conduite dans le but de mieux connaître le détail de la déformation

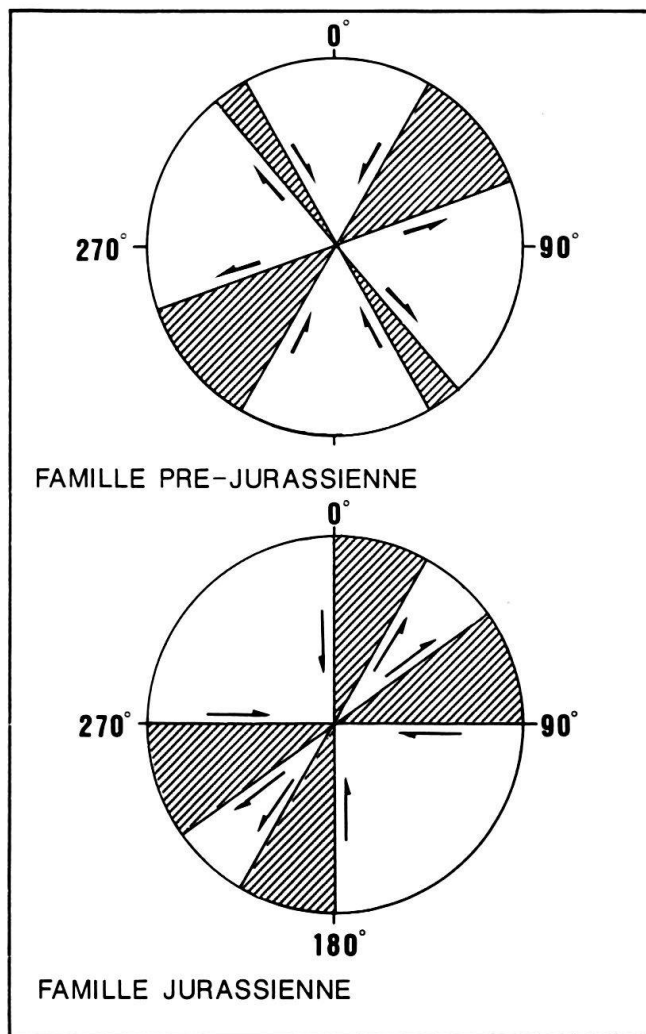


Fig. 3. Familles de décrochements préjurassiennes et jurassiennes d'après CAIRE (1963) et BERGERAT (1977).

dans la Haute Chaîne et dans les faisceaux, de la comparer aux régimes enregistrés dans les plateaux, d'examiner l'influence des accidents majeurs, de tenter une chronologie de la déformation dans l'espace et le temps, et finalement de rechercher des indices concernant les directions de déplacement de la nappe du Jura dans sa partie centrale.

## 2. Méthodes d'analyses

Les principaux types de failles observables à l'échelle de l'affleurement, voire du banc calcaire ont été décrites par LAUBSCHER (1976, 1979). Dans le Jura plissé, il faut distinguer les failles par leur orientation par rapport à la stratification, principalement s'il s'agit soit: a) d'un système conjugué de failles inverses dont l'intersection correspond à l'axe d'un pli local, soit: b) de failles décrochantes dont l'intersection correspond au pôle de la stratification, ou alors: c) de failles inverses reprenant les plans de stratification, liées à un glissement banc sur banc induit par le plissement. L'analyse

statistique de toutes ces failles permet de déduire avec précision l'orientation de la direction du raccourcissement local.

Trois méthodes d'analyse microstructurale ont été utilisées.

1) La méthode d'analyse dynamique des failles (ANGELIER & MECHLER 1977; PFIFFNER & BURKHARD 1987) qui permet de déduire l'orientation des axes principaux de la contrainte et le type de déformation (failles inverses, normales, décrochantes, en constriction ou en aplatissement). Dans le Jura plissé, l'analyse des failles est facilement applicable à presque tous les affleurements, ceci même en dehors des grands accidents. Les calcaires présentent en général suffisamment de petits plans striés mesurables ( $n > 20$ ) pour obtenir un résultat significatif. Dans les parties du Jura restées sub-horizontales et peu déformées, en dehors des faisceaux et des décrochements, les assises calcaires ne présentent pas ce genre de microstructures et seule la direction des pics des stylolites horizontaux permet d'établir la direction du raccourcissement maximal (PLESSMANN 1972).

2) L'analyse dynamique des macles de la calcite sparitique selon la méthode de GROSHONG (1972) ou celle de PFIFFNER & BURKHARD (1987) permet de déterminer l'orientation et la magnitude des faibles déformations intracrystallines. Selon ROWE & RUTTER (in press) la croissance des macles est largement indépendante de la température et de la pression de confinement. Dans le Jura, les macles de la calcite ne s'observent que dans les sparites grossières (veines, fibres, vacuoles). Les niveaux stratigraphiques favorables sont hélas rarement exposés et on ne dispose trop souvent que d'un nombre réduit de macles dans les calcaires sparitiques fins. La plupart des résultats présentés ici proviennent de zones perturbées (faisceaux, zones faillées) où les grains de calcite sont suffisamment maclés pour permettre une analyse valable. La mesure des macles permet la mise en évidence de déformations infinitésimales qui peuvent être corrélées avec les paléocontraintes locales. De ces données locales on peut tenter de passer à l'établissement de la carte des paléocontraintes régionales.

Dans les résultats provenant de ces deux premières méthodes, un pourcentage de failles (respectivement de macles) compatibles avec le résultat final donne une bonne appréciation de l'homogénéité du résultat. Un nombre élevé de failles incompatibles est une indication sûre de l'existence de plusieurs phases de déformation.

3) L'orientation des pics stylolitiques permet de situer l'axe du raccourcissement principal (ARTHAUD & MATTAUER 1969; ARTHAUD & MATTAUER 1972). Dans le Jura les travaux de PLESSMANN (1972) et de DROXLER & SCHAER (1979) ont mis en évidence l'origine tectonique des stylolites obliques aux plans de stratification.

### 3. Observations

#### *La Haute Chaîne*

Le massif du Mauremont près d'Eclepens situé à la limite entre la partie la plus interne du Jura et le Bassin Molassique (fig. 4) est un petit horst qui fait remonter à l'affleurement des formations tabulaires du Crétacé et du Jurassique dans un environnement de Molasse tertiaire. Il n'est pas affecté par un plissement, les bancs sont sub-horizontaux. L'analyse des macles, provenant de calcites cristallisées à l'intérieur de fossiles ou dans des vacuoles, ainsi que les mesures des directions de glissements sur

des plans de faille et de couches, indiquent une direction de raccourcissement SE-NW (fig. 4).

Ce type de résultats se retrouve dans divers endroits de la Haute Chaîne où nous avons fait des prélèvements (pour les macles) et des analyses de failles. Le raccourcissement est généralement de direction SE-NW pour toutes les mesures qui ont été faites dans les plis (fig. 4). On peut citer à titre d'exemple l'anticlinal de Chaumont, sur le flanc Sud duquel s'appuie la ville de Neuchâtel. Les mesures effectuées au sommet de la voûte comme sur son flanc Sud conduisent à un résultat identique (SCHAEER et al. 1990).

Une carrière située au voisinage de la partie sommitale de ce pli permet d'observer une faille décrochante à jeu dextre et de direction  $N120^\circ$ , un plan de chevauchement peu penté à regard Suisse de direction  $N83^\circ$  et de pendage  $N24^\circ$  vers le Nord (KIRALY & MEIA 1964). Les stries qui se trouvent sur le plan de chevauchement montrent un mouvement qui se fait selon un sens NW-SE. Par endroits, le plan de chevauchement est enduit de calcite dont la mesure des macles montre un raccourcissement parallèle au sens de déplacement.

Cependant, à proximité des grandes failles de direction N-S, telles les failles de Pontarlier ou de la Ferrière (qui sont décrites comme étant d'âge paléogène par LAUBSCHER (1972), le raccourcissement a une direction N-S.

L'accident de Pontarlier affleure mal, mais il se marque bien morphologiquement dans le paysage. Pour AUBERT (1953, 1959) cette faille s'étend à travers toute la haute chaîne jurassienne de Vallorbe à Pontarlier. Il s'agit d'une ancienne cassure transversale transpressive affectant la couverture. Au contact de cette fracture, dont le rejet est de quelques centaines de mètres, les plis sont déviés horizontalement.

La rareté des affleurements le long de cette faille ne permet que des observations ponctuelles. Localement, des stries horizontales peuvent être associées à ce décrochement transpressif sénestre. L'analyse des glissements permet de définir un raccourcissement N-S au voisinage de cet accident. Ceci est confirmé par les observations dans le secteur où la faille de Pontarlier borde le plateau de Levier ainsi que lorsqu'elle traverse le faisceau Salinois (fig. 4).

Au voisinage de la dent de Vaultion au sud de la faille de Pontarlier le raccourcissement est NW-SE. La faille de Pontarlier est ici déviée par la dent de Vaultion qui la repousse vers le NW. Le massif de la dent de Vaultion s'est déplacé par rapport aux chaînes voisines et a pénétré comme un coin à l'intérieur du Jura (AUBERT 1934).

Le décrochement de La Ferrière, au nord de Neuchâtel est, quant-à lui, bien visible à la Tête de Ran. Son jeu sénestre se marque bien par le décalage dans la morphologie des combes et des monts qu'il affecte. A l'affleurement, il se manifeste par des brèches tectoniques et des plans porteurs de stries horizontales. Les stries horizontales se répartissent en deux ensembles dont les directions principales sont:

- $N110^\circ$ - $N130^\circ$  indiquant un jeu dextre
- $N20^\circ$ - $N40^\circ$  indiquant un jeu sénestre.

Le raccourcissement qui en résulte est N-S.

Cependant, pour les deux failles majeures, qui sont analysées ici, les mesures ont été faites dans des régions de courbure des failles. Les résultats obtenus à partir de l'analyse des plans striés demeurent mal expliqués. Ils feront l'objet d'une étude ultérieure avec d'autres méthodes.

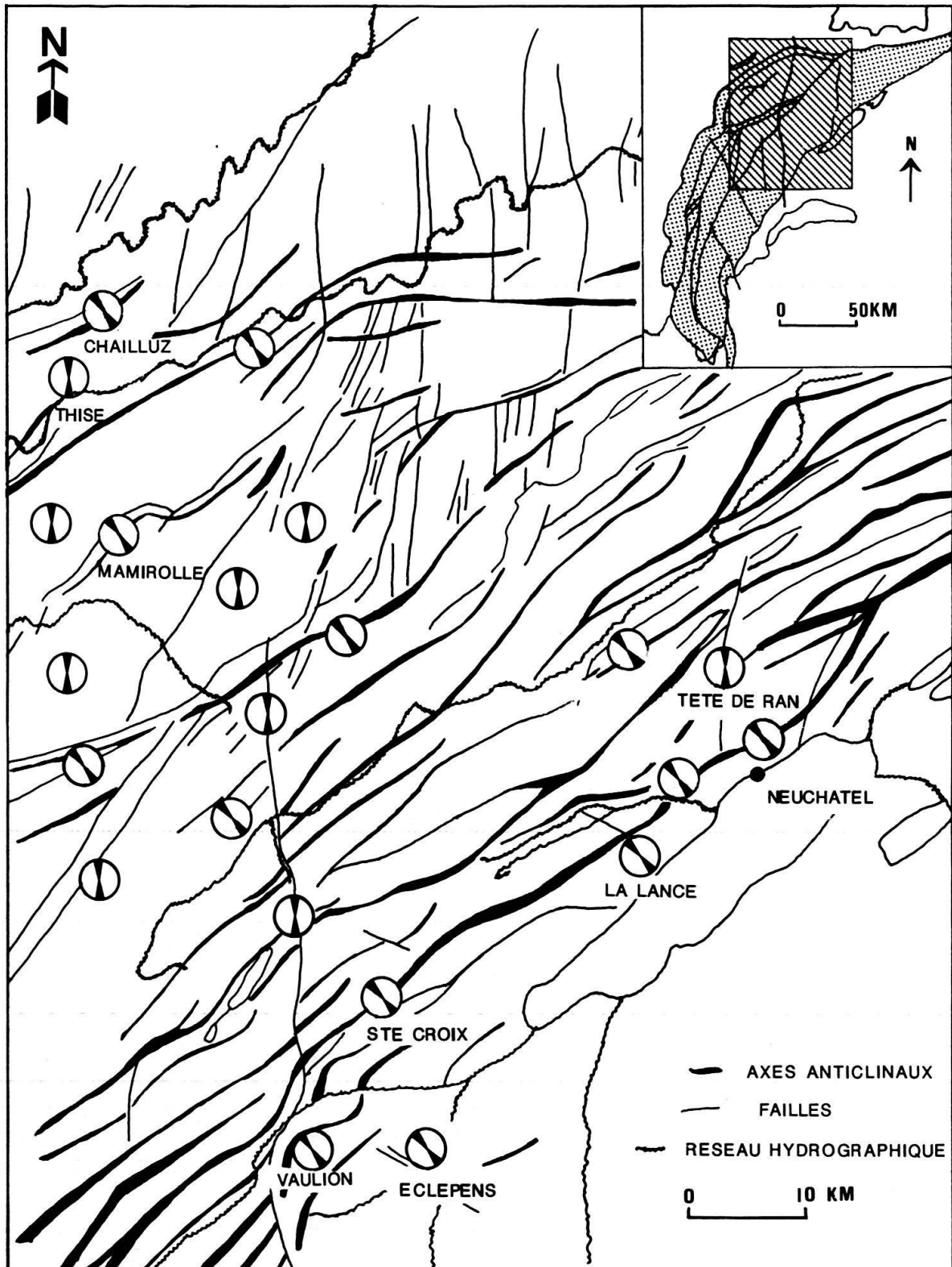


Fig. 4. Direction du raccourcissement dans la partie centrale du Jura.



### *Les zones de plateaux*

D'importantes surfaces du Jura central français sont constituées par des assises qui sont restées sub-horizontales. Les assises calcaires favorables à nos investigations ne sont accessibles que dans les entailles de rivières comme la Loue, par des exploitations de carrières et quelques coupures artificielles liées aux voies de communication. Très souvent, dans ces affleurements on ne trouve que très peu d'indices de déformation, il n'y a ni stries, ni stylolites tectoniques et l'examen des lames minces ne révèle que trop peu de macles pour permettre une analyse satisfaisante; SOPENA & SOULAS (1973) précisent que dans les plateaux, seulement 25% des affleurements présentent beaucoup de stries. Dans quelques lieux privilégiés, souvent proches d'accidents décrochants N30°–N50° ou de plis locaux, les mesures de plans de glissements, de macles et de stylolites donnent presque uniformément des raccourcissements d'orientation N-S. Les mesures de stylolites de PLESSMANN (1972) aboutissaient déjà à des résultats comparables (fig. 5).

Le plateau d'Ornans a la particularité d'être traversé par la ride de Mamirolle où le raccourcissement mesuré est SE-NW (fig. 4). Il s'agit d'un chevauchement qui met en contact des calcaires du Bathonien et du Bajocien sur des marnes du Séquanien moyen ou des calcaires du Séquanien supérieur. Au front du chevauchement, la partie chevauchante est constituée par un pli anticlinal. La partie chevauchée est déformée en un petit synclinal. La direction du raccourcissement est la même que celle du mouvement, car les stries visibles sur le plan de chevauchement ont aussi une direction SE-NW.

### *Les faisceaux*

Les faisceaux correspondent à d'étroites zones disloquées et recèlent souvent une faille majeure (CAIRE 1963). Ils sont le siège d'un chevauchement qui est le plus souvent accompagné d'un plissement.

Dans les faisceaux salinois et bisontins ainsi que dans les Avants Monts le raccourcissement mesuré est SE-NW, perpendiculaire aux axes des plis qui forment les faisceaux. Ces structures mettent à l'affleurement des niveaux stratigraphiques plus riches en sparite qui facilitent les analyses par les macles de la calcite. Les échantillons ont été prélevés dans le Bajocien qui affleure le long de la vallée de la Loue où elle recoupe le faisceau salinois: Il s'agit d'un calcaire oolitique à ciment sparitique. Le raccourcissement mesuré est sensiblement SE-NW.

Afin de préciser la direction des pics stylolitiques dans un faisceau et dans les plateaux environnants, des mesures ont été faites au voisinage de la source de la Loue (fig. 6). Elles montrent une direction des pics généralement N-S sur le plateau de Levier et sur le plateau d'Ornans. Alors que sur le faisceau salinois, la direction des pics est SE-NW. La variation de la direction des pics stylolitiques est très tranchée déjà à quelques centaines de mètres de la trace du chevauchement.

## **4. Résultats et commentaires**

### *a) Mise en évidence de deux phases de déformations*

L'analyse de la déformation enregistrée dans le Jura central fait essentiellement ressortir deux directions de compression: l'une de direction N-S, se marque dans les

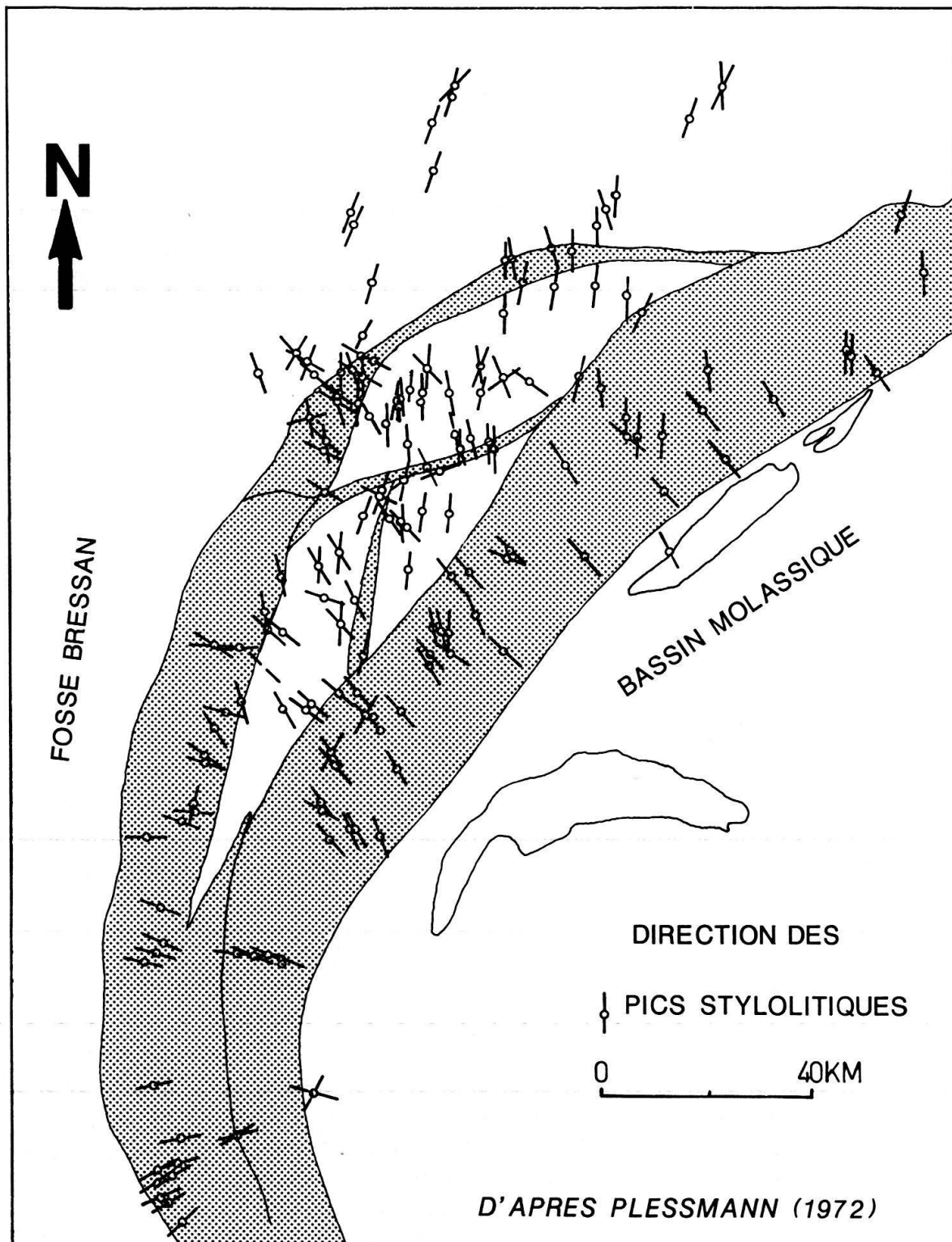


Fig. 5. Direction des pics stylolitiques dans le Jura, d'après PLESSMANN (1972) et nouvelles mesures.



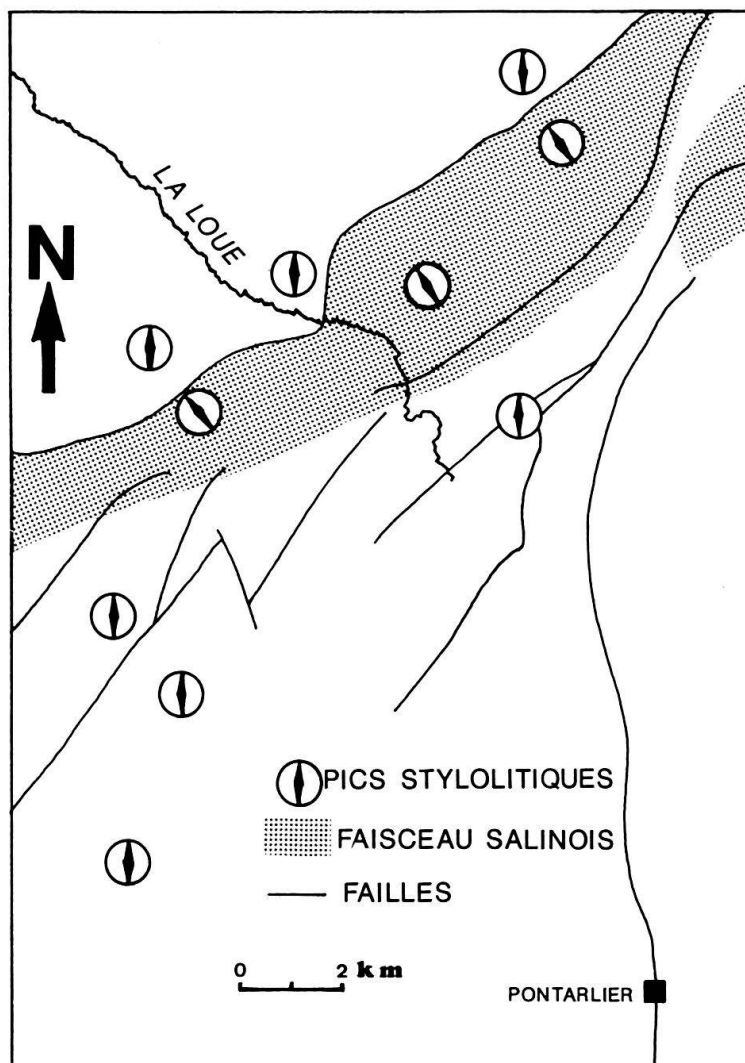


Fig. 6. Direction des pics stylolitiques sur le Faisceau salinois et sur les plateaux environnants.

zones peu déformées des plateaux. Elle peut aussi se trouver le long des grands décrochements. L'autre de direction SE-NW, se lit au niveau des plis et chevauchements de la Haute Chaîne, des faisceaux externes et des accidents séparant les plateaux. La ségrégation bien établie des deux directions de raccourcissement N-S et SE-NW répond à la manifestation de deux phases de compression dont l'enregistrement se fait en fonction des possibilités de déformations.

#### *b) Eléments de datation des structures jurassiennes*

Plusieurs indices laissent à supposer qu'avant le plissement qu'elle a subi au cours du Mio-Pliocène, la couverture du Jura avait déjà subi un découpage. Dans le Jura tabulaire de la région au sud du fossé rhénan, on peut souligner l'importance d'une fracturation N-S qui a affecté la structure jusque dans le Bassin de Delémont (LAUBSCHER et al. 1967). En direction de l'ouest, des indices précis ont rarement été mis en

évidence. Rappelons cependant la description du karst rempli de sédiments de Molasse marine (Burdigalien-Helvétien) des Verrières (AUBERT 1972), qui montre dans ce secteur un découpage pré-plissement parallèle au décrochement de Pontarlier. A l'extrémité sud de cet accident, dans le massif du Mauremont, de larges ouvertures karstiques orientées N60° et N120° sont remplies par des sédiments éocènes. Il est tentant de considérer ces ouvertures comme la trace d'une fracturation précoce de la dalle urgonienne. Plusieurs éléments permettent d'en reconstituer une évolution chronologique: sous l'effet d'une contrainte, les plans de fracture d'orientation N60° se forment; plus tard, ils sont ouverts par la dissolution karstique et des sédiments datés de l'Eocène supérieur ont pu combler ces ouvertures; enfin, les stries qui sont visibles actuellement s'impriment sur les parois de ces fractures par l'effet d'un coulisage dextre (fig. 7).

*c) Relations entre la structuration du Jura et celle de la Plateforme européenne*

A l'échelle européenne, une phase de compression N-S se manifeste au cours de l'Eocène. A l'Oligocène il suit une phase d'extension E-W (AHORNER 1975; BERGERAT 1983; BERGERAT 1985; BLES et al. 1989). Les fossés bressan et rhéan s'ouvrent sous l'effet de ces phases entre l'Eocène moyen et le Miocène inférieur (ILLIES & GREINER 1979). Il y a formation des grandes failles N-S qui structurent les grabens bressan et rhéan ainsi que les grandes failles N-S qui coupent aujourd'hui le Jura (comme les failles de Pontarlier ou de La Ferrière);

La transition entre les deux grabens se fait par un cisaillement WSW-ENE (fig. 8). Il est marqué par des failles d'orientation N30° qui ont un jeu sénestre. Elles constituent les riedels d'un système de cisaillement principal sénestre de direction N60° (BERGERAT 1977; CHAUVE et al. 1980; ANGELIER & BERGERAT 1983). Pour CONTINI & THEOBALD (1974), la zone de glissement se fait principalement entre les Avants Monts et le faisceau salinois. Cependant, il est possible de faire intervenir une zone plus

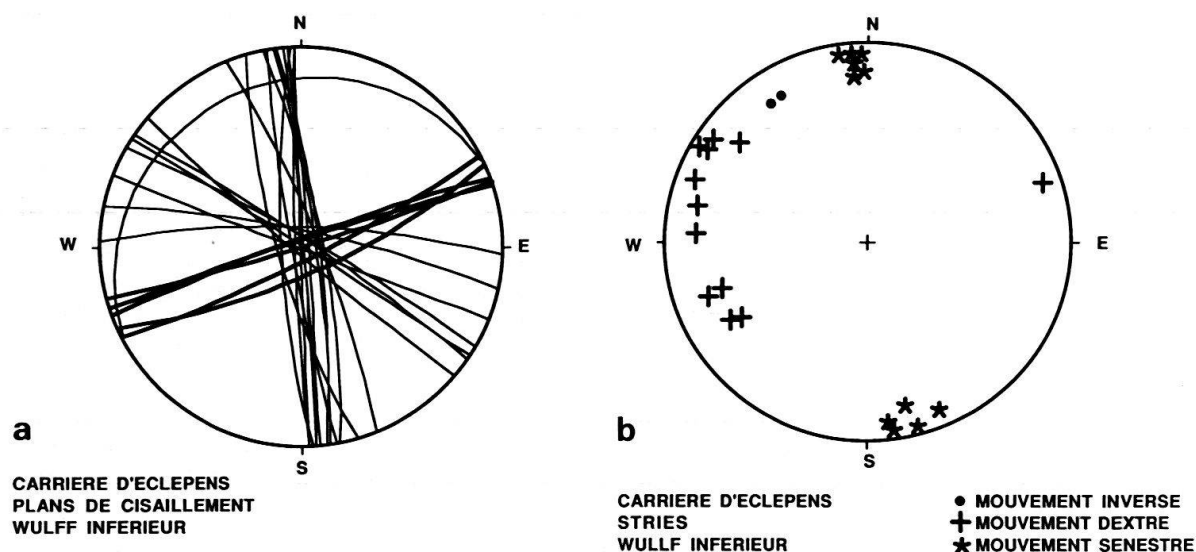


Fig. 7. Fracturation affectant le massif du Mauremont (Carrière d'Eclepens). A (gauche): plans porteurs. B (droite): stries et mouvements associés.

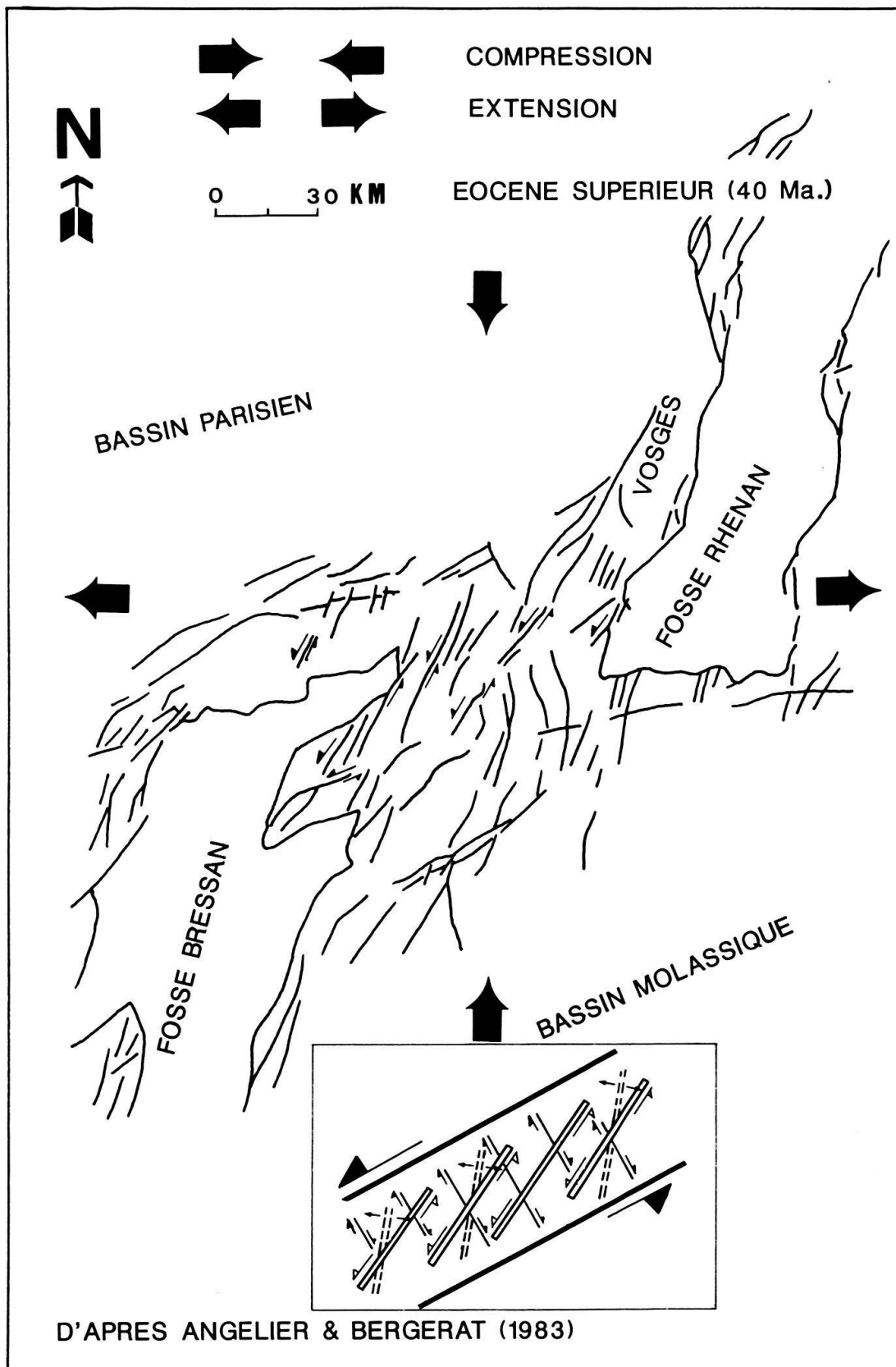


Fig. 8. Système cisailant permettant la transition entre le fossé rhénan et le fossé bressan, d'après ANGELIER & BERGERAT (1983).

importante en y intégrant le Jura jusqu'à la Haute Chaîne incluse. En effet les failles N30°-N50° du plateau de Levier qui sont soumises à une compression N-S ont un jeu sénestre ainsi que les failles d'orientation N60° déjà existantes, comme celles du Mauremont; elles contribuent à la transition entre les deux grabens.

A partir du Miocène, une phase de compression SE-NW liée à la poussée des Alpes se marque par un raccourcissement de même direction qui provoque des déformations de la couverture et le plissement du Jura. Les mesures de raccourcissement montrent que ces déformations affectent l'ensemble de la Haute Chaîne et les faisceaux qui constituent les limites des plateaux. Les plateaux se comportent en dalles rigides (BECKER 1989) et transportent la déformation héritée de la phase précédente sans être affectés par la seconde phase. Les failles N-S jouent alors en décrochement

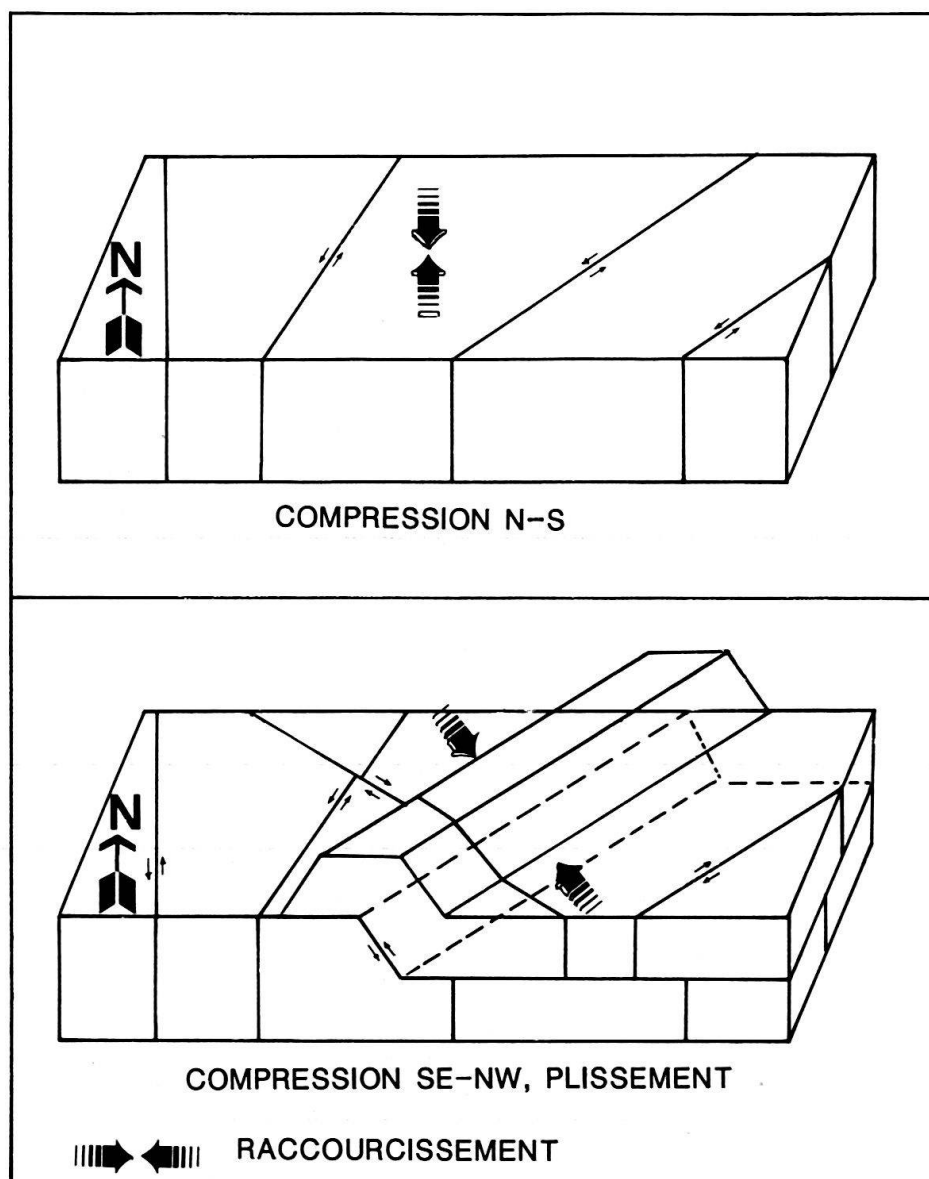


Fig. 9. Synthèse de deux phases de compression appliquées pour la préstructuration puis pour la structuration du Jura.

séneestre et permettent le coulissage de ces panneaux. Le raccourcissement N-S mesuré aux abords de ces failles est lié soit à un effet de bordure comme c'est le cas pour la faille de la Ferrière où les mesures ont été faites dans une courbure de la faille, soit à la persistance de déformations antérieures comme cela doit être le cas pour la faille de Pontarlier. Les failles de direction N60° peuvent initier des rampes de chevauchement et provoquent la formation des plis du jura (fig. 9).

## 5. Conclusion

Les trois méthodes d'analyses structurales qui ont été utilisées donnent des résultats comparables.

Deux phases de déformations se marquent dans le Jura mais elles n'ont pas le même rôle.

L'une résulte d'une phase de compression de direction N-S qui préstructure la couverture et le socle à l'échelle régionale en donnant naissance à un système de failles héritées de la formation des grabens rhénan et bressan. L'autre est typiquement Jurasienne de direction SE-NW et donne naissance aux structures qui sont propres aux Jura (plis et chevauchements).

Les différentes parties du Jura réagissent différemment à la phase SE-NW en fonction de leur préstructuration.

Des ensembles de couverture rigide se déplacent sur les évaporites du Trias lorsque la poussée alpine intervient à la fin du Miocène. La direction du déplacement est SE-NW, parallèlement à la contrainte. Ces ensembles coulisent le long d'anciennes failles N-S qui ont alors un jeu décrochant séneestre. Ils se déforment à leurs limites Nord, sous forme de plis chevauchants dont les rampes s'initient à partir des failles pré-existantes d'orientation WSW-ENE.

## Remerciements

J'aimerais remercier ici, M.J.P. Schaer qui est à l'origine de ce travail, M.M. Burkhard et Mlle. A.M. Mayerat pour leurs nombreux conseils et leur aide précieuse, M.M. Magranville pour les nombreuses lames minces qu'il a eu l'amabilité de bien vouloir préparer. Ce travail a pu être réalisé grâce au soutien financier du Fonds national Suisse (requêtes n° 2-4.816 et 2-5.454) et de l'Université de Neuchâtel, je leur témoigne ma gratitude.

## BIBLIOGRAPHIE

- AHORNER, L. 1975: Present-day stress field and seismotectonic block movements along major fault zones in central Europe. *Tectonophysics* 29, 233–249.
- ANGELIER, J. & BERGERAT, F. 1983: Systèmes de contrainte et extension intracontinentale. *Bull. Cent. Rech. Explor. prod. Elf Aquitaine* 7/1, 137–147.
- ANGELIER, J. & MECHLER, P. 1977: Sur une méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits. *Bull. Soc. géol. France* (7), 11/6, 1309–1318.
- ARTHAUD, F. & MATTAUER, M. 1969: Exemples de stylolites d'origine tectonique dans le Languedoc, leurs relations avec la tectonique cassante. *Bull. Soc. géol. France* (7), 11, 738–744.
- 1972: Sur l'origine tectonique de certains joints stylolitiques parallèles à la stratification; leur relation avec une phase de distension (exemple du Languedoc). *Bull. Soc. géol. France* (7), 14, 12–17.

- AUBERT, D. 1934: Le chevauchement de la Dent de Vaulion. *Bull. Soc. vaud. Sci. nat.* 58/235, 204–208.
- 1953: La tectonique du Mont d'Or (Jura vaudois) et le décrochement de Vallorbe-Pontarlier. *Eclogae géol. Helv.* 46/2, 175–186.
- 1959: Le décrochement de Pontarlier et l'orogénèse du Jura. *Mém. soc. vaudoise des sci. nat.* 12/4, n° 76, 93–152.
- 1972: Le lapié fossile des Verrières (Doubs). *Ann. sci. Univ. Besançon*, (3), 17, 85–88.
- BECKER, A. 1989: Detached neotectonic stress field in the northern Jura mountains, Switzerland. *Geol. Rdsch.* 78/2, 459–475.
- BERGERAT, F. 1977: Le rôle des décrochements dans les liaisons tectoniques entre le fossé de la Saône et le fossé rhénan. *C.R. Soc. géol. France* 4, 195–199.
- 1983: Paléocontraintes et évolution tectonique paléogène du fossé rhénan. *C.R. Acad. Sci. Paris* (2), 297, 77–80.
- 1985: Déformations cassantes et champs de contraintes tertiaires dans la plate-forme européenne. *Mém. Sci. Terre Univ. Paris* 6, 85–07. Thèse inédit.
- BLES, J.L., BONIJOLY, C., CASTAING, C. & GROS, Y. 1989: Successive post-Variscan stress fields in the French Massif Central and its borders (Western European plate): comparison with geodynamic data. *Tectonophysics* 169, 79–111.
- BUXTORF, A. 1907: Zur Tektonik des Kettenjura. *Ber. Versamml. oberrh. geol. Ver.*, 30./40. Versammlung, 1906/7, 29–38; Stuttgart.
- CAIRE, A. 1963: Problèmes de tectonique et de morphologie jurassiennes. *Livre Mém. Prof. P. Fallot. Mém. h.s. soc. géol. France* 2, 105–158.
- CHAUVE, P. 1975: Jura. Guides géologiques régionaux. Masson éd. Paris.
- CHAUVE, P., ENAY, R., FLUCK, P. & SITTNER, C. 1980: L'Est de la France (Vosges, Fossé Rhénan, Bresse, Jura ...) *Ann. sci. Univ. Besançon, Géologie*, (4), 1, 3–80.
- CONTINI, D. & THEOBALD, N. 1974: Relations entre le fossé Rhénan et le Fossé de la Saône. In: *Approches to taphrogenesis. Inter. Union commission on Geodynamics, Stuttgart (RFA). Sci. Rep.* 8, 310–321.
- DROXLER, A. & SCHAEER, J.P. 1979: Déformation cataclastique plastique lors du plissement sous faible couverture, de strates calcaires. *Eclogae geol. Helv.* 72/2, 551–570.
- GROSHONG, R.H. JR. 1972: Strain calculated from twinning in calcite. *Bull. geol. Soc. Am.* 83, 2025–2038.
- ILLIES, J.H. & GREINER, G. 1979: Holocene movements and state of stress in the Rhine graben rift system. *Tectonophysics* 52, 349–359.
- KIRALY, L. & MEIA, J. 1964: Observations tectoniques dans une carrière de Chaumont (Jura neuchâtelois, Suisse). *Bull. Soc. neuchât. Sci. nat.* 90, 277–290.
- LAUBSCHER, H.P. 1961: Die Zweiphasenhypothese der Jurafaltung. *Eclogae geol. Helv.* 55/1, 1–22.
- 1972: Some overall aspects of Jura dynamics. *Amer. J. Sci.* 272, 293–304.
- 1973: Jura Mountains. In: *Gravity and Tectonics*. (Ed. by DE JONG, KEES, A. & SCHOLTEN, R.). 217–227, London.
- 1976: Geometrical adjustments during rotation of Jura Fold Limb. *Tectonophysics* 36, 347–365.
- 1979: Elements of Jura kinematics and dynamics. *Eclogae geol. Helv.* 72/2, 467–483.
- LAUBSCHER, H.P., THEOBALD, N. & WITTMANN, O. 1967: Le prolongement Sud du Fossé Rhénan. *Abh. geol. Landesamt Baden-Württemb.* 6, 59–66.
- PIFFNER, O.A. & BURKHARD, M. 1987: Determination of paleo-stress axes orientations from fault, twin and earthquake data. *Ann. Tectonicae.* 1/1, 48–57.
- PLESSMANN, W. 1972: Horizontal-Stylolithen im französisch-schweizerischen Tafel- und Faltenjura und ihre Einpassung in den regionalen Rahmen. *Geol. Rdsch.* 61, 332–347.
- ROWE, K.J. & RUTNER, E.H. (in press): Paleostress estimation using calcite twinning: experimental calibration and application to nature. *J. struc. Geol.* (in press).
- SCHAEER, J.P., BURKHARD, M., TSCHANZ, X., GUBLER, E. & MATHIER, J.F. 1990: Morphologie, contraintes et déformations dans le Jura central externe. *Bull. Soc. neuchât. Sci. nat.* 113, 1–12.
- SOPENA, J.P. & SOULAS, J.P. 1973: Etudes micromécaniques dans le Jura. Déformations des calcaires sous contrainte tectonique; essai d'interprétations et de corrélations des résultats pour l'ensemble de la chaîne. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Besançon, et *Ann. Sci. Univ. Besançon*, (3), 19 bis, 203–207.

Manuscrit reçu le 1 mars 1990

Révision acceptée le 15 juin 1990