

15. Anatomie comparée des hypothèses sur les plissements de couverture (le Jura plissé)

Par

E. Wegmann

ABSTRACT.—The study of comparative Tectonics is dominantly based on pictures of the structures and models of contemporary mountain chains and of zones of deformation of different ages. These pictures and models are analogous to complex organisms constructed of materials which vary with the whims of nature. Also the forms given to the structures, and the mechanisms invoked to explain them depend largely on the research methods employed, and on the principles of interpretation used by different workers. The observations tend to be selected and classified in many different ways by different authors. In order therefore to assess this subjective element in tectonic investigation, and to appreciate the selection of methods used, and of mechanisms invoked by various workers, it is of interest to compare the structural pictures and models, produced by different geologists, of one and the same mountain chain. The natural background, under these circumstances, is the same for all observers.

The Folded Jura and its structure have been chosen for this investigation because the chain is well known: it has been the subject of much research and many interpretations. The development of its folds and their relationship to the basement have also been discussed in numerous publications. These theories are reviewed and analysed.

Tectonic hypotheses seem—like organisms—to follow CUVIER's "law of correlation". As in comparative anatomy, one should examine articulations, joints and elementary parts of the body, and at the same time pay particular attention to their associations. Such a synoptic view will show the differences and *lacunae* between different trends of thought; and it allows one to adjust parts of the model in such ways that the whole will be able to run. By making these adjustments, we should arrive at a close approximation to the complex conditions of nature.

ZUSAMMENFASSUNG. — Die vergleichende Tektonik untersucht hauptsächlich Bilder und Modelle gleichzeitiger oder verschiedenalteriger Ketten. Die Bilder und Modelle sind meist kompliziert organisierte Gebilde. Ihre Gestalt, ihr innerer Bau und die Art ihres Funktionierens sind bedingt durch das Auswahlvermögen und die Trennschärfe der Untersuchungsmethoden und das Zusammenspiel der Deutungsprinzipien. Die Materialien, welche zum Aufbau der Modelle verwendet werden, sind immer nur eine Auswahl unter den vielfältigen Erscheinungen der Natur. Die ausgewählten Beobachtungen wiederum werden von verschiedenen Verfassern nach recht vielfältigen Gesichtspunkten geordnet. Um das Auswahlvermögen und die Trennschärfe dieser verschiedenen Arbeitsgänge zu untersuchen, schien es nützlich, die Baubilder und Modelle, die für ein und dasselbe Gebirge aufgestellt wurden, zu vergleichen. Die dahinterstehende Wirklichkeit bleibt in diesem Falle dieselbe für alle Beobachter.

Für einen solchen Versuch wurden der Faltenjura und seine Baubilder gewählt, und zwar aus verschiedenen Gründen: Diese Kette ist verhältnismässig gut erforscht und bildet den Gegenstand vieler verschiedenartiger Deutungen. Das Bewegungsbild der Falten und ihre Beziehung zum Grundgebirgssockel wurden von vielen Verfassern dargelegt, und auf grundsätzlich verschiedene Art gedeutet. Die verschiedenen Theorien werden erwähnt, zerlegt und ihre Teile verglichen.

Die Hypothesen scheinen, wie die Organismen, dem „Korrelationsgesetz“ CUVIER's zu gehorchen. Eine vergleichende Anatomie müsste ihre Organe, Glieder, Gelenke und Einzelteile vergleichen und deren Zusammenspiel ihre besondere Aufmerksamkeit widmen. Eine solche vergleichende Übersicht kann aber auch die Lücken im Gefüge der Grössenordnungen und schwierige Gelenkverbindungen aufdecken und auf diese Weise erlauben, die Gelenke der Modelle in der Weise zusammenzupassen und abzustimmen, dass das Ganze seiner Funktion besser angepasst wird. Das Ergebnis eines solchen Zusammenfügens und Abstimmens entspräche einer besseren Annäherung an die Verhältnisse der Natur, die, wie jede neue Untersuchung zeigt, ein immer feiner gegliedertes Gefüge zeigt, das durch immer mehr Beziehungen mit dem Ganzen verbunden ist.

Toute science s'occupant de structures comparera les cas individuels pour établir, soit des types, soit des espèces. C'est dans ce but que la tectonique comparée a pris naissance. Elle se développe en mettant un certain nombre de méthodes au point. On compare généralement des segments du même âge ou des segments d'âges divers. Toutefois, peu d'auteurs semblent se soucier d'analyser les concepts qu'ils comparent. Beaucoup d'entre eux admettent et font croire qu'ils manient les phénomènes et les produits de la nature. En réalité, ils ne comparent pas des rochers et des montagnes, mais des produits de l'esprit, des noms, des abstractions synthétiques, des images et des modèles dépouillés d'une grande partie de la réalité structurale. Ces modèles et images sont basés sur des observations, souvent nombreuses, mais ils représentent néanmoins une sélection de caractères et cette sélection n'est souvent pas faite suivant les mêmes règles pour divers cas par différents auteurs. Ceci enlève à la comparaison une partie de sa valeur.

La comparaison des modèles ne se fait pas non plus suivant les mêmes principes. Deux attitudes extrêmes peuvent être distinguées. Elles sont reliées par de nombreux intermédiaires. Les uns, les « monotypistes », ont imaginé un seul type de chaîne de montagnes. Ils s'efforcent de faire cadrer avec ce type tous les exemples qui leur tombent sous la main, en soulignant les caractères favorables à leur hypothèse. Les autres, les « polytypistes », reconnaissent une série de types essentiellement différents. Pour les comparer, ils démontent, pour ainsi dire, les modèles en isolant les organes, les articulations et les pièces détachées pour comparer les éléments et leurs associations.

Au lieu de choisir différentes chaînes pour les comparer, on pourrait faire l'expérience suivante : on pourrait se limiter aux divers modèles proposés pour une même chaîne. Cette façon de faire rétrécit naturellement l'horizon, mais elle présente d'autres avantages : les différents modèles se basent sur les mêmes réalités matérielles. Le choix et l'hierarchisation des caractères diffèrent. De ce fait, la sélectivité des méthodes et techniques apparaît plus clairement. Cette manière de faire correspond dans les sciences expérimentales à la mise au point des appareils en vue de leur utilisation.

Pour une telle expérience, on peut procéder de diverses manières. On peut aligner les différents modèles chronologiquement et montrer les transformations devenues nécessaires lorsque, à la suite de nouvelles possibilités d'observation, une ou plusieurs articulations ont dû être changées. Le principe de la corrélation des organes de CUVIER semble aussi pouvoir s'appliquer dans une certaine mesure à ces modèles. Pour celui qui les examine attentivement, les créations hybrides apparaissent. On les voit avec des sentiments analogues à ceux que ressentirait un paléontologiste apercevant une tête de carnivore montée sur un squelette de *Palaeotherium*. Dans la galerie des grandes hypothèses, on reconnaît un certain nombre de monstres rappelant davantage les animaux fabuleux des bestiaires que les organismes viables. L'anatomie comparée des hypothèses permet de découvrir certaines déficiences et de perfectionner les modèles.

Nous choisirons comme base le *Jura plissé*, chaîne étudiée par de nombreux géologues appartenant à plusieurs nationalités. Les recherches géologiques commencèrent il y a plus de 150 ans. La première carte tectonique fut dessinée par A. GRESSLY en 1832. L'incomparable analyse bibliographique d'EMMANUEL de MARGERIE (1922) retrace l'histoire de l'exploration de la chaîne. Elle a été complétée par AUBERT (1949, 1959) et par SUTER (1956).

Plusieurs faits font du Jura plissé un exemple de choix pour l'analyse des hypothèses. La chaîne est parmi les mieux connues. La série Jurassienne est épicontinentale, composée d'alternances de calcaires et de roches marno-argileuses bien étudiées au point de vue stratigraphique. Elle repose sur un socle cristallin, visible dans les régions limitrophes. Des intercalations de Permien et de Carbonifère font partie du socle, mais les traces de mouvement de ces bassins influencent probablement les déformations ultérieures. C'est donc une chaîne avec deux étages superposés bien distincts dont l'inférieur a une histoire longue et compliquée. Parmi les données, il faut aussi mentionner le « milieu » dans lequel la chaîne a pris naissance : les Alpes avec le sillon périalpin, les fossés du Rhin, de la Saône et du Bas-Dauphiné et les massifs hercyniens avec leurs couvertures mésozoïques tabulaires forment le cadre. Les modèles ne doivent donc pas seulement rendre compte de l'organisation interne de la chaîne, mais aussi de ses rapports avec ce « milieu ». La structure du Jura est jeune par rapport à l'âge de l'individualisation des membres du cadre. Parmi ces données, il faut aussi mentionner les dimensions : le Jura plissé a la forme d'un croissant, dont la corde a environ 300 km, l'arc interne 330 km, l'arc externe 390 km et la largeur au centre 80 km. L'épaisseur de la couverture augmente du NE vers le Sud. Les altitudes topographiques varient dans le même sens.

Ces quelques renseignements, choisis parmi une multitude, peuvent donner une idée de la variabilité possible des hypothèses explicatives. Nous ne voulons pas les aligner et les étiqueter comme ceux d'un musée de costumes. Au lieu de les présenter en vitrine, nous essayerons de les démonter pour faire voir les emboîtements des pièces, les différentes articulations et leurs jeux combinés. Cette façon de faire ne permet pas seulement d'obtenir les combinaisons effectivement publiées sous forme d'hypothèses, mais aussi d'entrevoir d'autres combinaisons possibles. La variété et le choix deviennent ainsi plus grands que ceux rencontrés dans la littérature. Il va de soi qu'un premier essai de ce genre montrera beaucoup d'imperfections et qu'il n'est pas possible, dans le cadre d'une note, de discuter un grand nombre de combinaisons. Nous devons nous contenter d'un certain nombre d'exemples, quitte à reprendre le sujet sur une base plus vaste. Dans cet exposé, il me semble pratique de distinguer entre l'anatomie des plis de couverture, leur enchaînement et disposition, et leurs rapports avec le socle.

Plis

Les plis jurassiens ont souvent été considérés comme les prototypes de plis. On les a parfois présentés comme des plans courbés à la façon d'une sinusoïde. Jusqu'ici, on n'a pas observé cette forme dans le Jura. Bien que la variabilité individuelle soit grande, on ne rencontre qu'un nombre limité de types. Tous les groupes de plis résultant d'une forte déformation intime des roches à la manière des chaînes profondes, sont absents. On a distingué les types suivants : les anticlinaux droits, déversés, coffrés, en éventail, les plis-failles, écailles, chevauchements et leurs combinaisons. On les a généralement étudiés en coupe transversale et sur la carte. Certaines coupes sont directement visibles dans les cluses. Elles montrent que le plissement disharmonique n'est pas une vue de l'esprit. Différents mécanismes ont été proposés pour la formation de ces plis. Chacun a eu sa période de faveur. Citons-en quelques-uns :

1) La première hypothèse était celle du *soulèvement*. Elle date de LEOPOLD VON BUCH et des premiers travaux de THURMANN. Elle a abouti aux « cratères de soulèvement » de GRESSLY. Ce type de plis correspondrait aux voilements non-déroulables (Beulen de CLOOS, 1936, p. 196).

2) THURMANN a passé en 1856 à l'hypothèse du *rétrécissement latéral*. Dans cette interprétation, on mettait généralement en action une « poussée tangentielle ». Cette manière de voir est partagée par de nombreux auteurs jusqu'à nos jours (AUBERT, 1959). On admet que la poussée agit perpendiculairement à la direction des plis. Diverses variantes peuvent être distinguées : a) transmission par la couverture mésozoïque ou par la molasse; b) transmission par le socle qui aurait entraîné passivement la couverture.

3) Les *anticlinaux* sont *bourrés* par : a) des plis du socle cristallin (LEES, 1952); b) par des écailles du socle (STAUB, SUTER, GLANGEAUD, AUBERT, 1949; UMBGROVE, 1950); c) par des roches écrasées du socle (AUBERT, 1959); d) par l'écoulement et la montée diapirique du Trias (LUGEON, 1941); e) par le plissement disharmonique des noyaux anticlinaux ne permettant pas une structure en enveloppes concentriques.

4) La partie des anticlinaux montant au-dessus du remplissage des synclinaux, ne supporte pas son poids et se tasse (GOGUEL, 1952, p. 202), soit en se déversant, soit en formant un pli coffré, soit en s'étalant en chevauchements. Il est probable que la forme individuelle de chaque pli, bien connue par les géologues jurassiens, est le résultat de ces facteurs. Les différents modèles pour les chevauchements du bord de la Bresse font appel à ces mécanismes. La continuation de ces phénomènes lors de l'évolution morphologique est représentée par les « décoiffements » (LUGEON, 1949), les glissements de terrain et les éboulements. La diagnose des formes dues à l'*aplatissement des anticlinaux* sous leur propre poids se fait par l'étude des axes de courbure localisés, par la succession des stries et des cannelures, le gauchissement des diaclases et la chronologie des

remplissages de fentes.¹ Ces observations permettent de mieux saisir le développement inégal de la coupe transversale dans différents secteurs d'un même anticlinal.

5) De nombreux plis jurassiens montrent des séries de petits décrochements recoupant sous des angles variables une partie ou l'ensemble d'un anticlinal (WEGMANN, 1956). La direction des couches et celle des axes de courbure de différentes tranches ne correspondent pas à celle de l'ensemble de l'anticlinal. Les axes partiels ont subi une rotation par rapport à l'ensemble. Cette rotation correspond à un *allongement* caractéristique à beaucoup de plis. On peut expliquer ce fait, soit par un allongement réel, soit par une rotation du sens de la « poussée », soit par une combinaison. L'allongement peut accompagner la courbure d'un pli en forme de croissant, mais il se retrouve aussi sans cela.

6) En étudiant les détails d'un anticlinal, on observe souvent sur son dos et ses flancs de petits ventres, bourrelets ou mamelons dont les dimensions varient de quelques dizaines à quelques centaines de mètres. L'étude des bancs montre qu'ils ne sont pas dûs à la sédimentation. Ils semblent être le résultat de mouvements différentiels longitudinaux ou obliques. On pourrait les considérer comme un phénomène de disharmonie longitudinale.

7) On sait depuis longtemps que les couches subissant une courbure glissent les unes sur les autres, mouvements attestés par la présence de stries, de cannelures, de fentes pennées (Fiederspalt) et de lunules (WEGMANN, 1955; WEGMANN et SCHAER, 1957). Suivant les déductions classiques, ces stries devaient se trouver dans un plan perpendiculaire à l'axe, plan qui contient aussi la direction de la « poussée ». De nombreuses mesures, faites depuis une vingtaine d'années, ont montré que, souvent, ce n'est pas le cas. Les axes des stries et ceux des courbures ne sont pas toujours identiques. Les plans de symétrie admis implicitement par beaucoup d'interprétations simplifiées ne représentent qu'une première approximation. La disposition des éléments structuraux confère aux anticlinaux une *symétrie triclinique et polaire*.

8) Dans les masses calcaires du Jurassique Supérieur et du Crétacé Inférieur, on rencontre assez fréquemment des bancs coupés en biseau. Le sens des stries de glissement montre qu'il s'agit d'extension, surtout dans le sens transversal ou oblique. Une partie de la courbure des anticlinaux correspond donc à un *voilement non déroulable*.

Nous nous sommes contenté de ne présenter qu'un choix de caractères structuraux et d'interprétations. Les éléments se combinent de diverses manières dans les différents anticlinaux. Certains peuvent dominer, d'autres s'effacer ou même disparaître, comme p. ex. l'allongement dans les brachyanticlinaux du type Mont Chamblon. Il n'est pas possible de traiter ici toutes les combinaisons, leurs caractères spécifiques et leurs interprétations. Deux groupes de types d'articulations se dégagent de cet ensemble :

¹ Les calcites remplissant diverses fentes se distinguent parfois par une fluorescence différente à la lumière ultraviolette.

a) celui qui part de l'image du linge plissé dont les plis sont déroulables. La valeur du rétrécissement est généralement déterminée sur la coupe transversale, le long d'une couche-témoin. Pour expliquer sa genèse, on ne considère généralement qu'un état primitif, le plus souvent isotrope dans le sens horizontal, et une image simplifiée de l'état actuel. Un modèle de ce genre est dans la plupart des cas « unicausal » (VAN BEMMELEN, 1953) en ce sens que les formes individuelles des plis sont attribuées à la poussée tangentielle.

Il est naturellement possible de combiner ce modèle à une explication bifactorielle, p. ex. en admettant un état primitif anisotrope rencontré sous différents angles par le plissement, ou en supposant que le mouvement tangentiel détermine la disposition générale, tandis que l'aplatissement sous le propre poids créerait la forme individuelle. Dans ce dernier cas, on s'écarte déjà un peu de la forme déroulable.

b) Dans un autre groupe, on rassemblera les différents modèles de plis asymétriques aussi bien par leur forme extérieure que dans leur structure interne. Ces plis ne sont que partiellement déroulables. L'allongement complique la tâche d'établir l'état d'avant le plissement. Des relictés montrent que cet état n'est pas seulement anisotrope dans le sens vertical, mais aussi dans les directions horizontales. Comme plusieurs des caractères ne peuvent pas avoir pris naissance en même temps, il faut déterminer les phases successives, et en établir la chronologie relative. Les mouvements ne doivent pas seulement être ramenés à deux plans (coupe et carte), mais suivis dans l'espace. En admettant le principe des effets superposés, on peut résoudre les structures asymétriques en un certain nombre de déformations métachrones de diverses espèces. Dans de nombreux cas, on parvient à plusieurs solutions cinématiques. Quant à déterminer le dispositif d'application des forces, il vaut mieux attendre que l'on connaisse plus à fond l'enchaînement des mouvements. En tenant compte de l'asymétrie complexe des plis, on est généralement amené aux hypothèses multifactorielles. L'image actuelle est, dans ce cas, considérée comme le résultat de nombreux facteurs agissant de manière et à des échelles différentes.

Les plis à asymétrie complexe sont nombreux depuis le Bugey (France) jusqu'en Argovie (Suisse). L'admirable stéréogramme du Blauen (BITTERLI, 1945) montre un bon exemple simplifié de dimensions réduites. L'asymétrie se fait aussi sentir dans la

Disposition des plis

ROLLIER (1903) a distingué trois faisceaux principaux : Le faisceau helvétique ou Haut-Jura, le faisceau lédonien et le faisceau du Lomont, plus tard faisceau bisontin. Divers auteurs (FAVRE et JEANNET, 1934; GLANGEAUD, 1949; AUBERT, 1959) l'ont suivi. Les faisceaux montrent des styles structuraux très différents. Ils entourent deux groupes de trois massifs tabulaires, les amygdaloïdes de GLANGEAUD, eux-mêmes séparés par plusieurs sortes de dislocations. On pour-

rait leur assimiler les bassins, tels que le bassin de Delémont, du Val de Ruz et du plateau de Diesse. Ces massifs jouent un rôle important dans les explications modernes (GLANGEAUD, 1949; AUBERT, 1959).

Un autre élément important est représenté par les grands décrochements mentionnés dans la plupart des traités de géologie. Leur rôle a été interprété de plusieurs façons (cf. AUBERT, 1959). Les uns admettent que le train des plis a été coupé tardivement par les décrochements, de sorte que les éléments de part et d'autre se correspondent. Les levés plus détaillés ont montré certaines irrégularités. L'anticlinal de Pouillerel (au N de la Chaux-de-Fonds) se termine périclinalement près de Bas-Monsieur (BOURQUIN, 1946). AUBERT (1959) signale des cas semblables et en fait une analyse minutieuse.

Une autre disposition est le relais en échelon. Il se retrouve à beaucoup d'endroits, mais il est particulièrement visible dans le faisceau interne. Dans la zone marginale, à l'W de Bienne, les échelons sont tournés à l'inverse du mouvement des aiguilles d'une montre, tandis que c'est l'inverse à l'E de Bienne.

La majorité des plis est déversée vers l'extérieur de la chaîne, mais l'inclinaison contraire n'est pas rare, comme l'ont déjà remarqué THURMANN (1853) et H. D. RODGERS (1856).

Ces observations jouent un rôle assez différent dans les diverses manières de concevoir

Les rapports entre la couverture et le socle cristallin

Le socle cristallin n'affleure pas dans le Jura plissé. Il a été atteint par sondage dans la région de Lons-le-Saunier. Il apparaît à la surface dans les régions limitrophes : dans le Massif Central, à Chamagnieu (Ile Crémieux), dans le Massif de la Serre, dans les Vosges et dans la Forêt-Noire. Pour avoir une idée des structures situées sous le Jura, on peut procéder de plusieurs façons :

1) On peut essayer de déduire les dislocations du socle en partant des déformations de la couverture à l'aide de certaines hypothèses sur les mécanismes reliant les deux;

2) On peut extrapoler les observations faites sur les affleurements du socle dans les régions entourant le Jura. Une remarque s'impose : la géologie des socles cristallins est surtout étudiée par les pétrographes et les géologues qui s'intéressent aux terrains métamorphiques, migmatiques et granitiques. Les dislocations tardives, le plus souvent cassantes, ont beaucoup moins retenu leur attention, parce que les effets donnent lieu à des zones de broyage, des brèches et des mylonites, qui gênent et fragmentent l'image de la pétrogenèse et des structures nées en profondeur. Les renseignements concernant les mouvements tardifs sont, de ce fait, beaucoup moins abondants. Des recherches étendues dans d'autres socles cristallins nous ont familiarisé avec le style de ces mouvements. Ces recherches ont été complétées par des observations dans les régions cristallines limitrophes. Elles permettent de compléter l'image.

3) On peut essayer de combiner les deux voies d'accès, c.-à.-d. la projection à partir des phénomènes de la couverture et l'extrapolation depuis les massifs cristallins limitrophes.

Pour faire cela, il faut connaître les mécanismes envisagés par les différentes théories. Plusieurs types de modèles se présentent :

a) Le socle s'emboîte plus ou moins bien dans les anticlinaux de la couverture (LEES, 1952).

b) Le socle forme une série de failles entraînant des ruptures dans la couverture. Celles-ci se transforment lors du plissement en failles-plis (GLANGEAUD, 1944).

c) Le socle forme des écailles remplissant les anticlinaux de la couverture (STAUB, SUTER, UMBGROVE, 1948; AUBERT, 1949). Pour la majorité des auteurs, ces écailles sont poussées depuis l'intérieur vers l'extérieur de la chaîne. Pour UMBGROVE, elles sont formées par sous-charriage depuis l'avant-pays.

d) Le socle a été écrasé sous les parties plissées (AUBERT, 1959).

e) Le socle avec le Trias Inférieur est resté immobile; la couverture a été décollée. C'est l'hypothèse de BUXTORF (1907). Elle a trouvé beaucoup d'échos et elle est entrée dans les traités.

En analysant ce premier groupe de mécanismes proposés, on trouvera l'image de base suivante :

1) Les plis de couverture sont parfaitement déroulables et leur déroulement fournit la valeur du rétrécissement transversal. Cette valeur est estimée par BUXTORF à 11 km, par AUBERT (1959) à 12 km.

2) Le rétrécissement a les mêmes directions dans les plis de couverture et dans le socle, même si leur style est différent. Les déplacements se font dans des plans perpendiculaires aux axes. Les hypothèses se différencient par la disposition des dislocations et par le style structural, c.-à.-d. par les rapports entre la forme externe et la nature des déplacements internes. Deux possibilités se présentent quant à la localisation :

a) Dans l'hypothèse du *décollement*, le socle n'est pas affecté. Le rétrécissement se fait en dehors de la zone jurassienne (BUXTORF, LUGEON, 1941). Les charriages marginaux des Alpes peuvent jouer ce rôle. Dans ce cas, le remplissage du bassin molassique fait partie du système.

Les partisans du rétrécissement de la zone jurassienne ont fait valoir l'argument suivant contre l'hypothèse du *décollement total*: Les massifs tabulaires à l'intérieur de la chaîne semblent reposer sur leur substratum. A différentes reprises, nous avons étudié la disposition et la nature de leurs caractères structuraux. La déformation y est minimale, souvent moindre que dans beaucoup de secteurs du Jura tabulaire entre Bâle et Schaffhouse. En admettant que le *décollement* s'arrête au bord des massifs tabulaires pour reprendre au-delà, on passe à l'idée d'une structure en écailles.

b) Plusieurs mécanismes se présentent à ceux qui admettent un *rétrécissement du socle* sous la zone jurassienne : le plus simple en apparence, est celui de LEES

(1952). Les affleurements dans les socles cristallins montrent que les roches ne pourraient se plisser avec le rayon de courbure voulu qu'en subissant un broyage intense. Une telle cataclase n'est pas impossible, mais on ne connaît pas d'exemple d'une extension de l'ordre de grandeur du Jura. L'hypothèse de LEES se rapproche à certains égards de celle d'AUBERT (1959). Pour obtenir le rétrécissement, elle fait appel à l'« écrasement » de certaines zones du socle. Comme la plupart des roches broyées sont plus volumineuses que les roches intactes, ce mécanisme ne peut jouer que si les produits de l'écrasement sont évacués, soit vers le haut, soit vers le bas. Il n'est pas impossible que des masses cataclastiques soient expulsées en partie vers le haut et remplissent une partie des anticlinaux. Mais un tel mécanisme n'est guère connu à une si grande échelle dans les socles cristallins. Un remplissage par des matériaux cristallins ne semble pas indispensable pour l'économie volumétrique des anticlinaux.

Une série d'autres auteurs (STAUB, SUTER, AUBERT, 1949; GLANGEAUD, 1949; UMBGROVE, 1950) dessinent des failles inverses et des *écailles* sous le Jura pour expliquer le rétrécissement transversal. On constate à de nombreux endroits des cassures datant d'avant le plissement, les failles-plies de GLANGEAUD. Ces dislocations peuvent correspondre à des failles inverses en profondeur. On a souvent raisonné par analogie avec les écailles cristallines du bord méridional du Massif de l'Aar. La structure interne de ces lamelles montre qu'elles ont subi une elongation et un voilement *passifs*, que ce ne sont donc pas des éléments qui se sont activement introduits dans les terrains sédimentaires. Leur rôle, leur position et l'étage tectonique, ainsi que les phases de leur évolution sont donc très différents du mécanisme imputé aux écailles sous le Jura. Les failles inverses jouent probablement un rôle non négligeable, mais il reste encore à préciser. Deux explications génétiques sont proposées pour les écailles. Un groupe de savants admet qu'elles ont été poussées par le « contre-coup » alpin. UMBGROVE (1950) pense qu'elles ont été formées par un sous-charriage de l'avant-pays. Cette idée devrait naturellement aussi s'appliquer à l'avant-fosse de la Bresse et lui donnerait une signification différente de celle admise par la majorité des auteurs.

Si on renonce à limiter les mouvements dans les plans des coupes transversales, on arrive à une image un peu différente. Elle n'exclut pas les mécanismes cités plus haut et elle peut être combinée avec certains d'entre eux.

En étudiant les affleurements des régions cristallines du cadre (Massif Central, Chamagnieu, Serre, Vosges et Forêt-Noire), on observe de nombreux joints couverts de stries horizontales ou à forte composante horizontale. En analysant ces traces de mouvement, on obtient l'image de tranches plus ou moins allongées se déplaçant les unes par rapport aux autres dans un sens surtout horizontal. Ces stries surtout mentionnées dans la littérature ancienne ne semblent pas avoir retenu l'attention plus récemment à quelques exceptions près (WITTMANN, 1949). À côté des dislocations à rejet vertical, il faut donc tenir compte des *déplacements horizontaux*. En extrapolant les résultats obtenus dans les régions

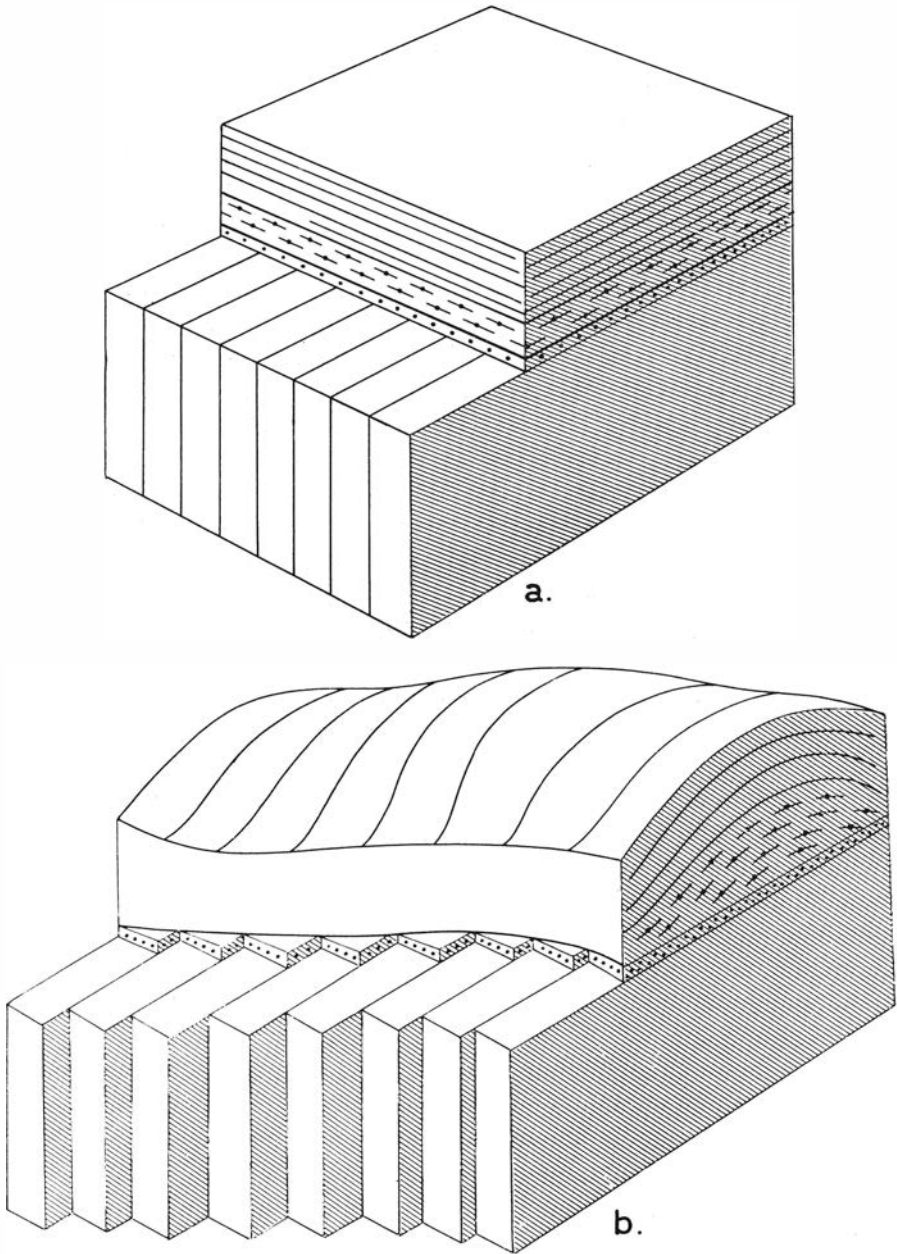


Fig. 1. Représentation schématique de plis produits par glissement de tranches du socle : *a*) couverture sédimentaire contenant un horizon de décollement reposant sur un socle, *b*) glissement inégal de tranches du socle produisant un anticlinal dans la couverture. Les phénomènes accompagnant le plissement, mentionnés dans le texte, ne sont pas figurés dans ce schéma.

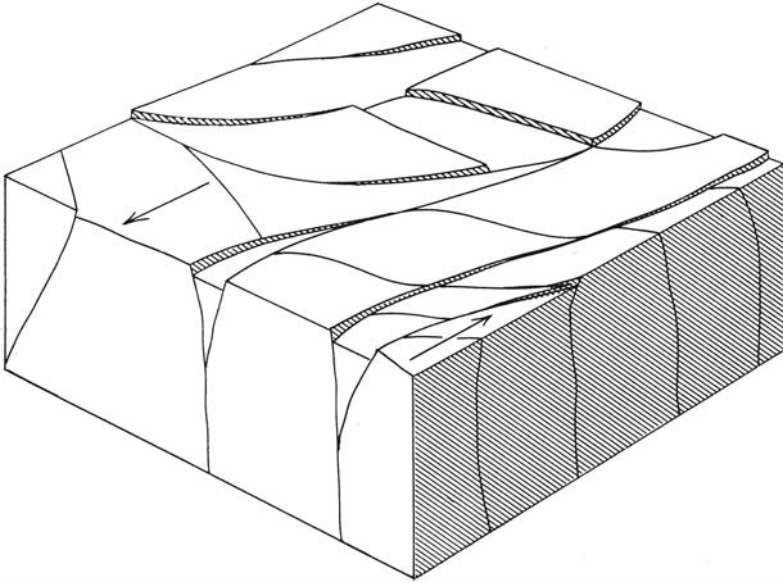


Fig. 2. Les tranches glissantes du socle sont effilées, souvent composées par des alignements lenticulaires. Leurs mouvements ne sont pas rigoureusement horizontaux, mais ont souvent une composante verticale. Les trainées étirées peuvent montrer des parties effondrées. Les flèches indiquent le sens du mouvement relatif.

crystallines environnantes, on peut admettre que ces dislocations se trouvent aussi sous le Jura. De nombreux caractères structuraux de la couverture se placent plus facilement dans ce modèle que dans les précédents : la disposition des plis, les inclusions tabulaires et leurs dislocations marginales, la symétrie des anticlinaux et leur évolution structurale.

Les mouvements dans le socle peuvent être concentrés dans des zones étroites. Dans ce cas, leur rejet est souvent important. Il se communique à la couverture et donne naissance aux décrochements bien connus. D'autre part, les rejets peuvent se répartir sur un grand nombre de surfaces relativement rapprochées. Les déplacements de ce genre se traduisent dans certaines conditions en plissements dans la couverture, si celle-ci présente des horizons de décollement permettant aux strates des mouvements plus autonomes (fig. 1). Ce mécanisme peut être reproduit expérimentalement. Il est évident que cela ne prouve pas que la nature procède de la même façon. Puisque l'on ne connaît pas les paramètres des phénomènes, on ne peut pas en assurer la similitude. Les tranches de glissement ont généralement des formes effilées. Elles sont souvent composées, en plan, par des alignements lenticulaires pouvant glisser les uns par rapport aux autres et jouer le rôle d'articulations dans les déplacements non-rectilignes. Leur alignement dans des directions obliques permet des déplacements dans plusieurs directions. Les mouvements ont souvent une composante verticale. Des resserrements et des distensions locaux ont pour effet

de soulever ou d'abaisser la surface du socle (cf. fig. 2). Les parties lenticulaires étirées peuvent s'allonger soit par des glissements des blocs lenticulaires, soit par des affaissements. Plusieurs caractères qualitatifs parlent en faveur du rapprochement des flancs des anticlinaux par glissement de tranches : l'élongation et la symétrie des plis, la rotation des axes partiels et le fait, mentionné par AUBERT (1959, p. 108) que l'intensité des plissements semble diminuer à l'approche des décrochements.

Les affleurements des socles montrent des tranches effilées aux deux extrémités, souvent alignées suivant plusieurs directions et formant des rangées montrant un dessin lenticulaire (fig. 2).

Le modèle faisant intervenir des glissements en tranches du socle n'est pas unicausal. Il ne rassemble qu'une partie des données d'observation. Il reste donc un certain nombre de phénomènes pour lesquels il faut faire intervenir d'autres mécanismes qui se superposent aux effets des mouvements du socle. Nous en avons mentionné plusieurs (p. 172). Ces déformations peuvent être rattachées aux divers mouvements caractéristiques de la couverture, aux glissements différentiels des couches de nature inégale et aux propriétés anisotropiques de l'état d'avant le plissement. Le soulèvement tardif de l'ensemble du bloc Jurassien est probablement dû à la diminution de densité, conséquence de la fragmentation du socle.

On est ainsi conduit à considérer les formes observées comme le *résultat d'interférences complexes* dont il s'agit d'analyser le jeu, variable d'un endroit à l'autre, pour comprendre la multitude des formes.

Les glissements en tranches du socle font partie d'un ensemble structural d'un ordre de grandeur plus élevé. Celui-ci embrasse une vaste bande traversant l'Europe occidentale (y compris les Alpes Occidentales), dans laquelle les mouvements différentiels déplacent les parties W vers le S avec des composantes vers le SW et vers l'W. Cet ensemble dépasse le cadre de cette note.

Les modèles présentés dans cette note n'ont pu être qu'esquissés. Parti d'une sélection de renseignements, notre choix des combinaisons était limité et les images simplifiées par rapport à nos connaissances actuelles. Il est néanmoins possible d'en dégager quelques conclusions.

En examinant les données d'observation, on remarque que les renseignements sont abondants à l'échelle des plis et de leurs formes, mais que le nombre d'observations concernant les ordres de grandeur inférieurs, est souvent insuffisant dans beaucoup d'inventaires tectoniques du Jura. Il existe des lacunes dans le spectre des ordres de grandeur des phénomènes; ces lacunes peuvent être remplies.

Deux étapes peuvent être distinguées bien qu'elles soient confondues parfois: Une série de méthodes et de techniques permet de récolter les données et de les assembler en une image structurale représentant l'état actuel. Les hypothèses et les méthodes qui en dépendent permettent d'interpréter l'image structurale. Certains auteurs semblent croire que les hypothèses sont le produit naturel des

observations, comme le poirier produit des poires et qu'il n'en existe de ce fait qu'une qui soit « la vraie et la bonne ». C'est la raison pour laquelle beaucoup de présentations se transforment en plaidoyers (HAARMANN, 1935, p. 24).

Nous avons vu que les hypothèses sont nombreuses. L'architecture des images structurales construites suivant des plans fort divers avec un nombre variable de données mises en lumière de nombreuses façons, déterminera parfois le choix. Dans de nombreux cas, l'hypothèse est, consciemment ou inconsciemment, choisie tout d'abord et les données sont par la suite arrangées en une image structurale conforme à la théorie.

L'anatomie comparée des hypothèses et leurs rapports avec les images structurales a de ce fait une fonction importante. Elle nous familiarise avec les outils de l'interprétation, nous aide à mieux les manier et à en choisir la combinaison adaptée à chaque cas.

Bibliographie

- AUBERT, D., 1949: Le Jura. *Geol. Rdsch*, 37, p. 2-17.
 — 1959: Le décrochement de Pontarlier et l'orogénèse du Jura. *Mém. Soc. Vaud. Sci. Nat.*, vol. 12, p. 93-152, 2 pl.
 AUBERT, D. et BADOUX, H., 1956: Notice, Feuille 1, Neuchâtel. Carte 1:200.000, 27 p., 1 pl.
 BEMMELEN, R. W. VAN, 1953: Gedanken zur alpinen Gebirgsbildung. *Erdöl-Ztg*, Jhg 69, p. 75-77.
 BITTERLI, P., 1945: Geologie der Blauen- und Landskronkette südlich von Basel. — *Mat. Carte géol. Suisse*, N.F. 81, XIX + 73 p., 4 pl.
 BOURQUIN, PH., 1946: Notice explicative, Feuille Biafond, Les Bois, La Ferrière, St-Imier 1:25.000, Feuille 15. 56 p., 6 pl.
 BUXTORF, A., KUENZLI, E. & ROLLIER, L., 1908: Geologische Beschreibung des Weissensteintunnels und seiner Umgebung. *Mat. Carte géol. Suisse*, N.F. 21, XII + 148 p., 8 pl.
 CLOOS, H., 1936: Einführung in die Geologie. XII + 503 p., 4 pl.
 FAVRE, J. & JEANNET, A., 1934: Le Jura. *Guide géol. de la Suisse*, I, p. 42-56, 2 pl.
 GLANGEAUD, L., 1945: Le rôle des failles dans la structure du Jura externe (pincées, failles-plis et gouttières). *Bull. Soc. Hist. Nat. Doubs*, 51, p. 17-38.
 — 1949: Les caractères structuraux du Jura. *Bull. Soc. géol. Fr.* (5), 19, p. 669-688.
 GOGUEL, J., 1952: Traité de tectonique. 383 p.
 HAARMANN, E., 1935: Um das geologische Weltbild. XII + 108 p., 2 pl.
 LEES, G. M., 1952: Foreland folding. *Quart. J. Geol. Soc. Lond.*, vol. 108, p. 1-34, 4 pl.
 LUGEON, M., 1941: Une hypothèse sur l'origine du Jura. *Bull. Lab. Géol. Lausanne* No. 73. 14 p.
 — 1949: Question de mode en géologie et autres histoires: Le décoiffement. *Ann. Hébert et Haug*, 7, p. 261-274.
 MARGERIE, E. DE, 1922: Le Jura. *Mém. pour servir à l'explic. de la carte dét. de la France*. XII + 642 p.
 ROGERS, H. D., 1857: On the laws of structure of the more disturbed zones of the Earth's crust. *Trans roy. Soc. Edinb.*, 21, p. 431-471.
 ROLLIER, L., 1903: Le plissement de la chaîne du Jura. *Ann. Géogr.*, 12, p. 403-410, 1 pl. (esqu. tect.)

- SUTER, H., 1956: Tektonische Juraprobleme, ein historischer Rückblick. *Ecl. Geol. Helv.*, 49, p. 363-372.
- THURMANN, J., 1853: Résumé des lois orographiques générales du système des Monts-Jura, pour servir de prodrome à son nouvel ouvrage. *Actes Soc. Helv. Sc. Nat.*, 38, p. 33, 280-292.
- UMBROVE, J. H. F., 1948: Origin of the Jura Mountains. *Proc. K. Nederl. Acad. v. Wetensch.*, 51, p. 1049-1062.
- 1950: Symphony of the Earth. XII + 220 p., 10 pl.
- WEGMANN, E., 1954: Über einige Züge von unter geringer Bedeckung entstandener Falten. *Tschermaks min. u. petr. Mitt.* (3), 4, p. 187-192.
- 1956: Note sur quelques mécanismes des plis jurassiens. *Gedenkboek H.A. BROUWER*, p. 414-419.
- WEGMANN, E. & SCHAER, J.-P., 1957: Lunules tectoniques et traces de mouvement dans le Jura. *Ecl. Geol. Helv.*, 50, p. 491-496.
- WITTMANN, O. 1949: Das südöstliche Ende des Oberrheingrabens. *Geol. Rdsch.*, 37, p. 24-41.