

Le Jura et la tectonique d'écoulement

Autor(en): **Aubert, D.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mémoires de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **8 (1944-1946)**

Heft 4

PDF erstellt am: **16.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-287471>

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.

Le Jura et la tectonique d'écoulement

PAR

D. AUBERT

I. — Introduction.

Dans une publication parue en 1941, intitulée « Observations et vues nouvelles sur la Géologie des Préalpes romandes » (1), MM. Lugeon et Gagnebin ont exposé leurs nouvelles idées sur la formation des Alpes. Selon eux, les masses sédimentaires préalpines ont été soulevées par des poussées tangentielles profondes, comme on l'admettait jusqu'alors, mais leur mise en place sous forme de nappes de charriage, est le résultat d'un lent glissement sur un plan incliné, sous le seul effet de la pesanteur. A la manière d'un énorme glissement de terrain, la nappe a coulé suivant la direction de moindre résistance, tournant les obstacles et comblant pour finir les dépressions de l'avant-pays.

Cette théorie, à la fois si hardie et si réaliste, aura des répercussions hors du domaine alpin, cela va sans dire ; en fait elle pose à nouveau le problème de l'origine de toutes les chaînes de montagnes, et singulièrement celui du Jura, qui n'est en somme qu'une dépendance des Alpes. Que devient cette théorie de l'écoulement dans cette chaîne sans nappes ? Quel a été le rôle de la gravité et des glissements dans la naissance de ces anticlinaux droits, couchés ou chevauchants, dont sont constitués les chaînons jurassiens, ou de ces vastes aires synclinales qui forment les vallons et les plateaux ? Cette question, les auteurs de la théorie n'ont pas manqué de se la poser et nous reviendrons sur leur réponse, en essayant, à notre tour, de trouver une solution à ce problème.

D'emblée, on peut distinguer deux types d'écoulements dans le Jura :

1. Des écoulements locaux, limités à un pli ou à un groupe de plis, semblables, toutes proportions gardées, au glissement des nappes préalpines et helvétiques.

2. Un éventuel écoulement ou glissement régional ou général, affectant tout un secteur ou même l'ensemble de la chaîne.

II. — *Le décollement de Chézery.*

C'est un géologue français, Henri Vincienne, qui a signalé le premier en 1932 (2), un exemple d'écoulement par gravité dans le Jura français. Le petit vallon de la Chaz, qui occupe le centre du synclinal de la Valserine, près du hameau de la Rivière, non loin de Chézery, est fermé par une espèce de muraille de Jurassique supérieur sous laquelle les terrains crétacés et molassiques du synclinal disparaissent comme dans un tunnel. Vincienne considère ce paquet discordant comme un lambeau de décollement qui se serait détaché du versant très abrupt de l'anticlinal du Reculet, et aurait glissé sur les marnes argoviennes jusqu'au fond du synclinal. Ce « décollement » se serait produit au cours d'une seconde phase de plissement agissant sur le pli déjà démantelé du Reculet.

III. — *L'écoulement de la Dent de Vaulion.*

1. Un autre accident du même genre, mais beaucoup plus impressionnant par ses dimensions, existe dans la chaîne de la Dent de Vaulion, dans le Jura vaudois. A ce sujet, j'écrivais en 1938, en rédigeant la « Monographie géologique de la vallée de Joux » (3): « Le pli chevauchant s'est avancé à la manière d'un fluide, tournant les obstacles de l'avant-pays ». C'était de la tectonique d'écoulement avant la lettre.

Les plis de la vallée de Joux, si remarquables par leur continuité, sont bouleversés à la hauteur du village du Pont, par un réseau de cassures qui se rattachent à ce que l'on appelle ordinairement le décrochement de Vallorbe-Pontarlier, quoiqu'il s'agisse d'une dislocation infiniment plus complexe qu'une simple faille à rejet horizontal ¹.

En premier lieu, on distingue un réseau de cassures et de décrochements dirigés approximativement du N au S. Ces accidents, qui datent d'une première phase de plissement, déterminèrent dans la chaîne interne, une zone fracturée, affaissée et de moindre résistance. Après une période d'érosion, pendant laquelle ces premiers plis furent partiellement démantelés, une seconde poussée orogénique se produisit qui eut des résultats remarquables dans cette région. Sous son impulsion, une tranche en forme de trapèze comprenant toute la région de Vaulion avec la dent du même nom, s'enfonça comme un coin à l'intérieur du Jura, jusque dans le prolongement de la vallée

¹ Pour les grandes lignes, consulter la figure 1 ; pour les détails, voir les cartes indiquées dans la liste bibliographique (4, 5, 6).

de Joux qui, de ce fait, fut transformée en un bassin fermé. C'est la progression de cette espèce d'énorme traineau qui nous a fourni un magnifique exemple d'écoulement par gravité.

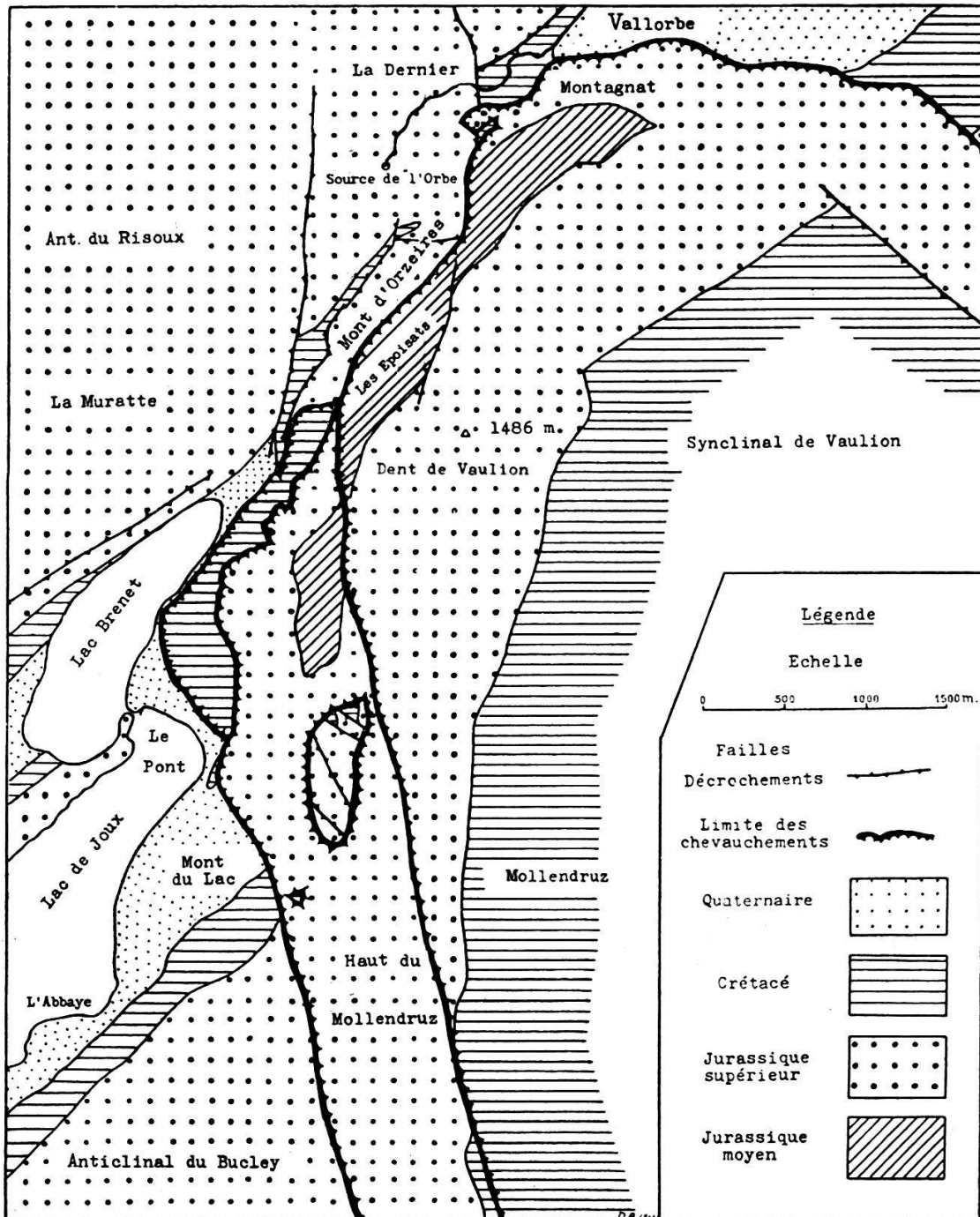


FIG. 1. — Carte géologique de la Dent de Vaulion.

2. L'anticlinal du Bucley (fig. 1) est une voûte régulière ; mais dès qu'il pénètre dans la zone disloquée, il se transforme radicalement. On le voit se coucher, puis déborder vers le N comme une petite nappe de charriage. Son flanc

normal constitue alors la longue échine incurvée de la Dent de Vaultion ; sa charnière est marquée par les terrains du Jurassique moyen qui affleurent aux Epoisats. Quant à l'autre flanc, nous allons y revenir. Pour l'instant, remarquons que ces dislocations cessent à la hauteur de Vallorbe, au contact de nouveaux accidents obliques — le côté oriental du trapèze — au delà desquels l'anticlinal retrouve sa forme classique de pli jurassien.

Revenons au flanc NW que nous appellerons pour plus de commodité flanc inverse, bien que sa position ne justifie pas toujours cette expression. Nous le voyons apparaître au Mont du Lac (1 km. au SSE du Pont), où il interrompt net le versant crétacé par une masse assez désordonnée de Jurassique supérieur qui se détache de la chaîne et s'étale dans la vallée. Nous suivons facilement son bord festonné qui repose ici sur l'Aptien, là sur une série de Crétacé inférieur, qui constitue pour son compte un chevauchement secondaire (dit du lac Brenet), jusqu'au Mont d'Orzeires où le Malm s'écrase pour faire place au Dogger.

L'aire sur laquelle repose cet anticlinal charrié n'est pas un plan de fracture ; en réalité, c'est une ancienne surface topographique, modelée par l'érosion antérieure au second plissement. Ceci apparaît le long du bord ondulé du flanc inverse et, mieux encore, dans une fenêtre qui perce les terrains charriés à l'E du Pont, sous la forme d'une éminence de Crétacé et de Portlandien de plus d'un km. de long, autour de laquelle se moulent le Séquanien et l'Argovien du pli chevauchant.

Au SW de Vallorbe, le phénomène est encore plus remarquable ; à la hauteur de l'usine électrique de la Dernier, le massif rocheux du Mont d'Orzeires, interrompu par un décrochement, fait place aux terrains crétacés du synclinal de Vallorbe. La masse charriée, contenue jusqu'ici par cet obstacle, semble profiter de sa disparition pour s'avancer plus loin dans la vallée. Nous la voyons tourner le Mont d'Orzeires et s'écouler au N en suivant la ligne du décrochement, sur une longueur de près d'un km. Rien de plus frappant que le lambeau de recouvrement de la Dernier qui s'étend jusqu'à deux pas de la rive de l'Orbe (fig. 2). C'est une lame de Jurassique supérieur, comme celle de Chézery, qui s'est décollée de la masse principale de la Dent de Vaultion, puis a glissé au pied du Mont d'Orzeires pour prendre place sur la trace du décrochement.

A l'E de la Dernier, le charriage n'est plus représenté que par un noyau de Dogger et par quelques jalons de Jurassique

supérieur qui en marquent la ligne frontale : le lambeau de Montagnat, qui s'appuie à un pointement d'Urgonien, puis une longue traînée de Malm qui s'incurve au S pour se raccorder finalement à la montagne de sur Grati (2 km. au SSE de Vallorbe), où cesse le chevauchement.

Que l'anticlinal de la Dent de Vaultion occupe une surface préalablement usée par l'érosion, cela ne fait aucun doute ; l'existence de la fenêtre et la position du lambeau de la Dernier suffiraient à le prouver. Que les terrains charriés aient été attirés par la pesanteur, cela me semble démontré par la façon dont ils se sont comportés à l'E du Mont d'Orzeires. Mais je ne prétends pas, cela va de soi, que tout le

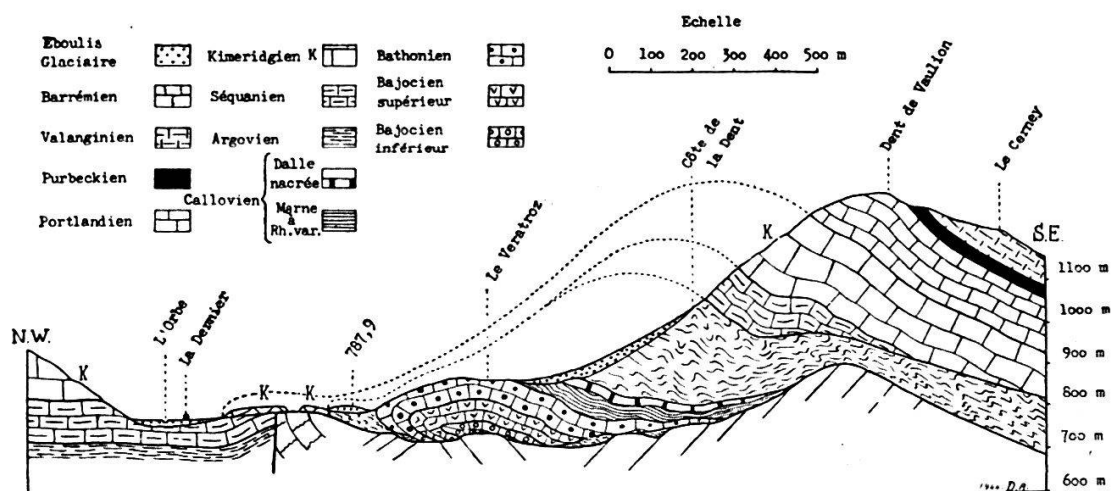


FIG. 2. — Coupe du chevauchement de la Dent de Vaultion passant par la Dernier.

mouvement de la Dent de Vaultion soit un effet de la gravité, car l'influence d'une poussée latérale est indéniable. C'est seulement la partie frontale de la masse en mouvement, le tranchant du coin si l'on veut, qui, poussé par derrière et ne rencontrant pas de résistance en avant, a glissé dans le vide qui s'étendait devant lui.

3. A part ce glissement principal, dont le plan affleure au pourtour de la fenêtre et au bord des terrains chevauchants, des phénomènes du même ordre mais de moindre importance, ont dû se produire dans la masse charriée elle-même, d'où le grand nombre de disharmonies et de contacts anormaux que l'on y observe. Ainsi, les marno-calcaires relativement plastiques de l'Argovien ne sont jamais en concordance avec les calcaires rigides du Kimeridgien et du Séquanien supérieur. Tandis que les premiers ont glissé sur le fond en se repliant, les grosses masses du Jurassique supérieur, incapa-

bles de se modeler, se sont dressées et se sont fracturées. A une échelle mille fois plus petite, nous retrouvons ici les traits des Préalpes médianes «plastiques» ou «rigides» (1). Ce caractère apparaît surtout dans le petit chevauchement du lac Brenet constitué uniquement par du Crétacé ; toute sa partie frontale est faite d'un empilement désordonné de lambeaux rocheux provenant des faciès les plus résistants du Crétacé inférieur, tandis que les terrains marneux et plus tendres n'affleurent nulle part.

Cette disharmonie est encore bien plus apparente à la Derrière, entre le lambeau de recouvrement de Kimeridgien et le noyau bathonien de l'anticlinal glissé (fig. 2). Alors que ce dernier s'avancait comme un épais rouleau mi-rigide, la couverture kimeridgienne, dont il ne reste que quelques fragments, devait glisser par dessus ou flotter à la surface de l'Argovien comme une épave sur un cours d'eau.

4. Un autre fait méritant explication est l'absence du Malm dans toute la partie médiane du flanc inverse. En effet, la volumineuse série de Kimeridgien qui le constitue à l'E du Pont, s'effile bientôt, s'écrase à l'extrémité du Mont d'Orzeires et ne réapparaît qu'au S de Vallorbe. Dans toute la partie centrale, sur plus de 2 km., le bord du pli est formé par le Dogger du noyau anticlinal, qui bute contre le Mont d'Orzeires. Nolthenius, un élève du Laboratoire de Géologie de Lausanne, qui fit il y a vingt-cinq ans une étude de cette région (5, 7), avait déjà remarqué cette anomalie, qu'il expliquait en supposant que la carapace de Malm de la Dent de Vaulion s'était ouverte comme deux volets que l'on écarte, l'intervalle ayant permis aux terrains plus profonds de progresser au centre. N'est-ce pas plutôt que l'anticlinal de la Dent de Vaulion était déjà altéré par l'érosion au moment où il a été projeté au NW ? A ce moment son flanc N devait être profondément échancré par un cirque d'érosion au fond duquel affleuraient le Dogger et l'Argovien, tandis que les extrémités de la chaîne avaient conservé leur couverture de Malm. La nouvelle poussée, puis le glissement qui le déplacèrent ensuite vers le N, ne changèrent rien à cette disposition, le Jurassique supérieur occupant toujours les deux ailes du pli, et le Dogger, le centre.

5. Le contact des terrains charriés et de leur substratum peut être observé en plusieurs points. Près du Mont du Lac (1 km. au SSE du Pont), le Kimeridgien chevauchant et le Valanginien autochtone, qui pointe dans une petite fenêtre,

sont séparés par une brèche de friction, constituée par un amas de cailloux jurassiques striés. Dans les escarpements qui dominent le lac Brenet à l'E du Pont, le Malm repose très exactement sur des bancs d'Urgonien, sans le moindre accident si ce n'est quelques diaclases. Le Mont d'Orzeires lui-même, qui a supporté le choc de toute la partie centrale du chevauchement, ne porte aucune trace d'un ébranlement quelconque.

Que conclure, sinon que les masses charriées ne possédaient qu'une force vive minime, et qu'elles épousaient très exactement le relief sur lequel elles progressaient, sans exercer de pression considérable sur les obstacles qu'elles rencontraient. Un tel mouvement s'expliquerait mal s'il s'agissait d'une poussée orogénique ; en revanche il se comprend très bien si l'on admet que les terrains chevauchants se sont écoulés sous l'effet de leur poids.

6. *Conclusions.* — Les développements et les observations qui précèdent se justifient par la clarté qu'ils jettent sur le mécanisme de l'écoulement par gravité. Ils nous ont convaincus de l'existence de ce phénomène dans le Jura. Ils nous ont montré le comportement de cette masse en mouvement qui a glissé comme un fluide sur une ancienne surface topographique, remplissant les creux et tournant les obstacles, sans exercer de pression appréciable sur le terrain qu'elle envahissait. Ils nous ont renseignés sur le rôle de l'érosion qui a facilité le glissement en affaiblissant le versant de l'anticlinal et en découvrant les couches marneuses profondes qui ont fonctionné comme lubrifiants. L'observation attentive des masses glissées nous a fait saisir enfin, la profonde disharmonie qui existe entre les calcaires rigides et les niveaux marneux plus souples, qui, en raison de leur différence de résistance, n'ont pu se déplacer d'un seul mouvement.

7. Jusqu'ici, Chézery et la Dent de Vaulion sont les seuls cas d'écoulement par gravité qui, à ma connaissance tout au moins, aient été décrits dans le Jura. Mais il suffit de jeter un coup d'œil sur les coupes tectoniques de certaines régions particulièrement disloquées, pour se convaincre qu'il doit en exister de nombreux exemples. Ainsi, dans la zone des recouvrements, où l'on voit les plis jurassiens déferler sur le Jura tabulaire sur une largeur de plusieurs kilomètres, il semble bien que la pesanteur ait joué un rôle. On peut en dire autant des chevauchements de la région de Besançon et de Salins. Marcel Bertrand qui les a étudiés en 1881 (8) faisait déjà remarquer, avec son extraordinaire pouvoir de pénétra-

tion, que ces accidents diffèrent des autres chevauchements, mais que ce ne sont pas de « véritables éboulements ». Sans doute avait-il déjà pressenti le rôle de la pesanteur dans cette tectonique.

Que l'on me comprenne bien ! Je ne vais pas généraliser et prétendre que tous les plis jurassiens procèdent d'un glissement par gravité. Tout au contraire, je suis d'avis que les accidents de ce genre sont limités à certaines régions très disloquées, où des circonstances spéciales ont permis à la masse en mouvement de prolonger sa progression sous l'effet de la pesanteur. C'est dire qu'ils ne représentent qu'un épisode secondaire du plissement jurassien, sans rapport avec l'édification de la chaîne considérée dans son ensemble, problème que nous allons maintenant aborder, en liaison avec la théorie de l'écoulement.

IV. — *La structure du Jura.*

1. L'erreur que l'on commet généralement quand on considère la chaîne du Jura, est de lui attribuer une trop grande simplicité, et de croire qu'elle est constituée, dans toute son étendue, par des plis réguliers, allongés parallèlement les uns aux autres. Si cette image correspond à la réalité dans certaines régions, elle est loin de donner une représentation exacte de la chaîne. Les hautes croupes du bord interne ont une continuité remarquable, c'est vrai ; mais de distance en distance, elles sont interrompues par des accidents transversaux, appelés « décrochements », bien qu'il s'agisse plus exactement de zones de dislocations, bouleversées par des réseaux de failles, des chevauchements locaux et des gauchissements.

L'extrémité NE de la chaîne se rétrécit, mais ses plis s'amplifient d'autant, avec un caractère faillé plus prononcé. Dans la zone des recouvrements, les plis s'empilent les uns sur les autres comme de minuscules nappes de charriage, l'anticlinal le plus externe déferlant largement sur le Jura tabulaire.

Les complications les plus inattendues apparaissent aussi dans certaines régions du Jura français ; les recouvrements bordiers se retrouvent dans les chaînes bisontines, avec de singuliers complexes de plis dans le rebroussement du Jura salinois, tandis que la bordure orientale, côté Bresse, est caractérisée par une structure en écailles imbriquées.

Dans l'intervalle, entre la chaîne interne et l'arc externe, s'étendent les plateaux jurassiens, vastes aires synclinales à peine plissées, séparées par des ondulations et des cassures complexes.

2. L'étude de la Dent de Vaulion nous a montré que des disharmonies existent au sein des plis, en relation avec la présence de couches marneuses intercalées dans les séries calcaires. Le même accident doit s'être produit à tous les contacts analogues, pour peu que le plissement ait été assez intense. On peut même se demander si le style tectonique jurassien n'est pas lié à la présence, ou à l'absence, de tel ou tel niveau marneux. La structure des hautes chaînes s'expliquerait alors par la réduction des marnes oxfordiennes, insuffisamment compensée par la présence de l'Argovien semi-calcaire, tandis que leur développement considérable sur le bord externe, serait à l'origine de la tectonique fuyante, toute en chevauchements, qui y domine.

3. La complexité jurassienne est également perceptible dans le temps. L'âge du plissement du Jura n'est pas facile à déterminer exactement à cause de la rareté des sédiments tertiaires et de leur stérilité. Toutefois quelques précisions ont pu être apportées dans ce domaine grâce à de patientes recherches. Dans le Jura bernois, Buxtorf et ses élèves (9) ont réussi à démontrer que le plissement jurassien s'est produit en deux phases, l'une précédant immédiatement le Pontien et l'autre succédant à cet étage, alors que certains plis étaient déjà esquissés à une époque plus ancienne. Ainsi Liniger (10) a apporté la preuve que des rides anticlinales du bassin de Delémont existaient déjà avant le Stampien, et qu'elles furent rafraîchies à deux reprises par de nouveaux mouvements à l'Oligocène et au Miocène.

Ailleurs, les résultats n'atteignent pas une telle précision. Au Locle, Jules Favre (11) a montré que le plissement était commencé avant la sédimentation de la gompholithe helvétique. A la vallée de Joux, j'ai découvert également l'existence de deux phases de plissement dont la plus ancienne date du Miocène inférieur, peut-être du Stampien (3). La Molasse rouge du pied du Jura vaudois, que les recherches de Hürzeler permettent d'attribuer avec certitude au Stampien, contient de nombreux galets jurassiens (12). C'est la preuve que la chaîne était déjà soulevée, sinon plissée, à l'Oligocène. Quant à l'anticlinal du Salève, selon Joukowsky et J. Favre, il émergeait déjà à l'Eocène (13).

De ces exemples que l'on pourrait multiplier, il ressort que le plissement principal du Jura date approximativement du Pontien, mais qu'il a été précédé de nombreuses phases préliminaires pendant le Miocène, l'Oligocène et même l'Eocène.

Il apparaît encore que si le plissement pontien s'est produit dans toute l'étendue de la chaîne, les poussées plus anciennes semblent n'avoir pas été synchroniques.

4. En considérant l'ensemble du Jura, en étudiant les détails de sa structure et de son histoire géologique, on se rend compte que sa monotonie, son uniformité ne sont que des apparences, et on saisit combien est complexe ce grand territoire, qui n'est pas à proprement parler une chaîne, mais plutôt une sorte de vaste plateau surélevé, où se sont inscrits plusieurs plissements, à des moments différents.

V. — *Le Jura : nappe de glissement plissée.*

En étudiant le tunnel du Weissenstein (14), A. Buxtorf observa que les plis traversés par la galerie, si profonds fussent-ils, sont constitués par tous les terrains du Jurassique et du Trias jusqu'à la couche à anhydrite du Muschelkalk comprise, mais que jamais ils ne contiennent les terrains plus anciens, Muschelkalk inférieur, grès bigarrés et Permien, comme si ces derniers n'avaient jamais participé au plissement. De cette observation capitale, le savant bâlois conclut très judicieusement que le plissement jurassien est superficiel, en ce sens qu'il n'affecte que les couches supérieures de la série stratigraphique, les plus profondes, Trias inférieur et Permien, étant restées adhérentes au socle hercynien. Il s'agit là, non d'hypothèses, mais de faits d'observations qui constituent le fondement de toute tentative d'explication du Jura.

Ces bases ont amené Buxtorf à considérer le Jura comme une *nappe de glissement plissée* ; il a voulu dire par là que la série sédimentaire s'est décollée dans toute l'étendue de la chaîne, au niveau des couches à anhydrite, puis a glissé en se plissant sur ces terrains salifères et plastiques jouant le rôle de lubrifiant, comme un tapis sur un parquet bien ciré, tandis que le fond, constitué par le socle hercynien et son revêtement de Permien et de Trias inférieur, ne participait pas au plissement.

Ce mouvement s'expliquait par la *poussée alpine*, qui se serait transmise d'une chaîne à l'autre par la puissante série secondaire et tertiaire du Plateau suisse. Les nappes alpines auraient donc réussi à vaincre l'inertie de cette énorme masse de calcaire et de molasse, qui, à son tour, aurait refoulé devant elle la couverture sédimentaire du Jura.

Cette fois, nous sortons du domaine des faits observés :

nappe de glissement plissée, transmission de la poussée alpine ressortent de l'hypothèse.

La théorie de la nappe de glissement plissée, qui paraissait pourtant si satisfaisante à l'esprit, est remise en question du moment que l'on admet celle de l'écoulement des nappes alpines externes. Effectivement, si le serrage est localisé dans les massifs anciens, on ne peut concevoir que la poussée orogénique qui est à l'origine des Alpes, ait pu se propager jusqu'au Jura comme on l'imaginait auparavant. En outre, si les nappes de charriage helvétiques et préalpines sont réellement des masses sédimentaires glissant par gravité sur un plan incliné, elles ont été bien incapables de mettre en mouvement la série autochtone sur laquelle elles progressaient.

De toute façon, la nouvelle théorie orogénique établie dans les Alpes, entraîne la nécessité de réviser celle du Jura, en fonction de l'écoulement par gravité. C'est le problème que je me propose d'envisager dans les lignes qui suivent.

VI. — *Le Jura : nappe de glissement libre.*

Le Jura ne serait-il pas en fait, une nappe de glissement libre, comparable à celles des Alpes externes, c'est-à-dire une couverture sédimentaire qui, sous l'effet de son propre poids, se serait écoulée sur un talus, en direction du NW, comme une couche de neige glissant sur un toit ? Sa forme d'arc inscrit dans la ligne des môles hercyniens, la succession de ses plis emboîtés parallèlement les uns derrière les autres, viennent à l'appui de cette hypothèse, comme aussi la position de certains anticlinaux (Landskron et Burgenwald), qui semblent s'être développés librement en direction de la zone affaissée du fossé rhénan.

Si séduisante qu'elle soit par sa simplicité, cette explication n'est pas entièrement satisfaisante, ainsi que l'a montré précédemment M. Lugeon (15), car le plan sur lequel aurait glissé le Jura est le versant de la saillie hercynienne de la Forêt Noire et des Vosges, qui réapparaît dans le massif de la Serre. Or cette surface est inclinée au SE, c'est-à-dire en sens inverse du mouvement du Jura, et il semble bien qu'il en était déjà ainsi au Miocène, avant le plissement principal ; à cette époque, en effet, la mer qui remplissait le bassin molassique ne s'étendait que sur la bordure interne du territoire jurassien, le reste de la chaîne étant occupé par la pénélaine vindobonienne, inclinée des Vosges vers le S.

D'autre part, si le Jura s'était écoulé par gravité, les terrains molassiques et mésozoïques du Plateau suisse auraient dû en faire autant, puisqu'il n'existe aucune discontinuité entre le Jura et le Plateau. Or, pendant l'Oligocène supérieur et la plus grande partie du Miocène, ces sédiments se sont enfoncés dans la fosse de subsidence du bassin molassique. On ne peut raisonnablement leur demander d'en être sortis, sous l'effet de leur propre poids, à la fin de cette période.

Il faut donc abandonner l'idée que le Jura puisse être une nappe de glissement libre.

VII. — *Le Jura : plissement par bourrage en profondeur.*

Dans une publication parue en 1941 (15), M. Lugeon a tenté de résoudre le problème jurassien à la lumière de ses nouvelles idées. Il constate d'abord que le cisaillement au niveau du Trias n'est pas limité au Jura, mais qu'il se prolonge sous la molasse du Plateau. Il le retrouve dans l'autochtone alpin, où le Trias magnésien, séparé du socle ancien par une carapace fixe de quartzite, a fui sous l'effet de la pression et s'est accumulé en de grosses boursouflures. Un phénomène semblable a dû se produire en plus grand en bordure de la chaîne des Alpes. Ensevelis sous des milliers de mètres de molasse et comprimés par la surcharge des nappes préalpines et helvétiques, les terrains plastiques du Trias ont fui dans la direction de moindre résistance, c'est-à-dire vers l'W et le NW, où la pression verticale diminue avec l'épaisseur de la molasse. Finalement, le flux profond a soulevé les couches supérieures en formant de gros bourrages qui sont à l'origine des plis jurassiens. Ainsi que le fait remarquer M. Lugeon, cela nous ramène à une nouvelle forme de soulèvement.

C'est une idée aussi ingénieuse qu'originale et certainement féconde, mais dans le cas particulier, elle ne suffit pas à expliquer l'orogénèse jurassienne. Que la surcharge, estimée à 12 500 tonnes au m² par M. Lugeon, ait provoqué un flux des terrains plastiques du Muschelkalk, et que ces derniers, en s'accumulant en bordure du bassin molassique, aient joué un rôle dans la genèse des plis jurassiens, cela paraît plausible. Toutefois, le plissement jurassien implique non seulement un exhaussement, mais aussi un rétrécissement local de l'écorce terrestre, ainsi que l'a fait remarquer E. Gagnébin (16). Or une telle déformation ne peut être le résultat d'un mouvement vertical, qu'il s'agisse de l'ascension du Trias ou

d'une poussée plutonienne ; elle ne peut s'expliquer que par l'existence d'un mouvement tangentiel, d'un refoulement latéral.

Au demeurant, admettre la théorie du bourrage en profondeur, c'est admettre du même coup que le plissement jurassien correspond à une augmentation de volume équivalente à la quantité de matière injectée à la chaîne. Or cette augmentation de volume est facile à calculer approximativement en représentant, sur un profil transversal, le niveau du Jurassique supérieur avant et après le plissement. Elle est de l'ordre de 30 km³ par le travers de Besançon, pour une bande de 1 km. de large. De son côté, la couche à anhydrite ne dépasse pas 150 m. d'épaisseur (135 m. au sondage d'Allschwyl, dont plusieurs dizaines de mètres de dolomies), d'où l'on peut conclure, par un calcul très simple, que la matière plastique dont la migration aurait provoqué le bourrage jurassien, aurait dû s'étendre primitivement sur une largeur de 200 km. en bordure de la chaîne ! Sans vouloir attribuer à ce résultat numérique plus de valeur qu'il n'en a, il faut convenir pourtant qu'il constitue, par son ordre de grandeur, un argument de poids contre l'hypothèse du plissement jurassien par fuite en profondeur.

Il n'en reste pas moins que l'idée de M. Lugeon conserve tout son intérêt, car si les flux et les bourrages de Trias ne peuvent être considérés comme la cause principale de l'édification du Jura, ils sont pourtant un des éléments de son orogénie, sur lequel nous aurons l'occasion de revenir.

VIII. — *Le Jura : nappe de glissement par surcharge.*

L'édifice des nappes helvétiques et préalpines repose sur un substratum de molasse et d'autochtone qui prolonge vers le S le remplissage du Plateau suisse et le Jura. Peut-être l'énorme surcharge résultant de la mise en place des nappes externes a-t-elle été capable de décoller cette série sédimentaire au niveau du Trias, et de la faire glisser tout entière au NW. Peut-être a-t-elle été assez forte pour se transmettre à la molasse et à son substratum mésozoïque, ainsi qu'au Jura, les entraînant dans un vaste mouvement de translation vers l'W, qui serait à l'origine du plissement jurassien. Cela revient à admettre en définitive, que la propulsion de la nappe de glissement jurassienne est la conséquence du poids des nappes alpines externes, et non pas celle de leur poussée horizontale.

Albert Heim (17, p. 651) a calculé que le plissement de la haute chaîne jurassienne, à l'exclusion des plateaux et de

la zone externe, correspond à un rétrécissement de 12,6 km. à la hauteur du Reculet, de 12 km. au Mont Tendre et de 17 km. à Aarburg. En tenant compte des accidents dont il ignorait l'existence et des plis de la bordure externe, on peut estimer sans exagération ce rétrécissement à une vingtaine de kilomètres, dans les régions les plus élevées du Jura.

Suivant l'hypothèse envisagée, cela signifie que la nappe de glissement tout entière, molasse et autochtone compris, a effectué un mouvement latéral de 20 km. sous l'action de la surcharge alpine. C'est beaucoup, surtout si l'on songe, à la suite de Gignoux (18), que tout glissement, s'il a pour effet l'accumulation de matière, implique aussi la disparition d'une masse équivalente dans un autre secteur. Dans notre cas, il devrait donc exister une zone dénudée d'une vingtaine de km., équivalente au rétrécissement jurassien. Où ira-t-on la chercher ? Sous les Helvétiques ? Je ne sais pas qu'on l'y ait jamais observée, sauf sur le versant S des Aiguilles Rouges, sous la nappe de Morcles, où M. Lugeon a montré que la série autochtone, entraînée par le mouvement de la nappe, a été projetée de l'autre côté du massif cristallin (19).

Ainsi, les conjonctures sont peu favorables à l'hypothèse d'un plissement jurassien par surcharge. Aucun fait ne vient l'étayer, si ce n'est le cisaillement au niveau du Muschelkalk, tant dans le Jura que dans l'autochtone alpin. En revanche, on pourrait peut-être trouver là l'explication des écaillés de la molasse.

IX. — *Le Jura : plissement superficiel apparent.*

Depuis les observations de Buxtorf, relatées à la page 226, on admet que le Jura est un plissement superficiel ; mais nous venons de voir que cela s'accorde mal avec la théorie de l'écoulement appliquée aux Alpes, quelles que soient les hypothèses envisagées pour concilier l'origine des deux chaînes. C'est pourquoi j'en suis venu à me demander si le Jura n'est pas un *plissement superficiel apparent*, dont la cause réside dans les dislocations de son socle cristallin, ainsi que Staub l'indique sur les coupes de son ouvrage « Der Bau der Alpen » (20).

1. Des oscillations du substratum hercynien du Jura se sont produites dès la période jurassique, dont on retrouve les traces dans la série stratigraphique. Ainsi l'étude des faciès du Malm, met en évidence la migration des Coraux, découverte par Bourgeat (21). Ces organismes, qui à l'Oxfordien

et à l'Argovien, étaient cantonnés dans la partie NW de la chaîne, abandonnent ces régions et se déplacent vers le S, où on les retrouve à des niveaux de plus en plus élevés. Or ce mouvement, qui correspond sans doute à un relèvement progressif du fond de la mer, semble être lié à la direction des plis actuels. On pourrait n'y voir qu'une coïncidence fortuite, si le même fait ne se répétait pas au Portlandien supérieur, dans la répartition des calcaires dolomitiques et des faciès du Purbeckien. Cette observation appartient à Maillard qui relève en effet, dans son étude sur le Purbeckien du Jura (22), que les faciès de ce sous-étage suivent la direction des plis du Jura central. Dès lors elle a été répétée à la limite du Purbeckien et du Thitonique, au point de jonction du Jura et des Alpes dauphinoises.

Durant la même période, le Jura acquiert son individualité stratigraphique. Alors qu'au Trias, au Lias et au Dogger, il n'était encore qu'une dépendance de la cuvette germanique ou du bassin de Paris, dont rien ne le différenciait stratigraphiquement, au Jurassique supérieur apparaissent des faciès originaux qui lui appartiennent en propre. Dès lors, on peut parler d'une province jurassienne, distincte des régions voisines. Au Crétacé, cette particularité s'accroît encore, au point que Gignoux (23, p. 352) a pu dire que ses terrains crétacés constituent une série typique dont l'aire de répartition correspond à la définition tectonique du Jura.

Ainsi, l'étude stratigraphique du Jura révèle des oscillations du fond de la mer, dans lesquelles on découvre certains rapports avec les formes de la tectonique actuelle. On en conclura, non pas que le plissement de la chaîne a débuté à une époque si lointaine, mais que la répétition de tels mouvements n'est pas étrangère à la genèse des plis jurassiens.

2. Vu du Plateau suisse, le Jura forme un mur à peu près continu qui s'élève d'un seul jet au-dessus de la plaine. Quelques plis secondaires s'en détachent, mais dans l'ensemble, le bord de la chaîne est franc, arqué avec une régularité parfaite, et le chaînon le plus interne correspond presque partout à l'anticlinal le plus puissant. De tels caractères sont-ils le fait d'un plissement de surface ? Il semble plutôt qu'une limite aussi nette et le brusque redressement des couches qui jaillissent de sous la molasse, aient été déterminés par un accident profond. De toute façon, il doit exister, le long de la ligne du Jura, une flexure ou tout au moins une rupture de pente de la surface hercynienne, qui, d'une manière ou d'une autre, a déclenché le plissement.

3. Du côté français, la limite du territoire jurassien est marquée sur une grande longueur, par une faille remarquablement continue qui sépare la zone des Avant-Monts des plateaux de la Saône. C'est la faille de l'Ognon. Elle prend naissance au contact du massif de la Serre, puis se prolonge au NE, puis au N, jusqu'à la lisière W des Vosges. D'après les résultats du sondage de Chazelot, à proximité immédiate de sa trace, Fournier (24) pense qu'elle dépasse en profondeur les terrains secondaires et qu'elle se prolonge dans le fond hercynien. Emmanuel de Margerie (25) aboutit à une conclusion analogue dans le massif de la Serre, en constatant que sa direction coïncide, à peu de chose près, avec la ligne de démarcation accidentelle du Cristallin et du Permien du petit massif hercynien.

Or la faille de l'Ognon n'est pas indépendante du plissement jurassien comme celles du fossé rhénan. Elle se distingue aussi de celles qui fragmentent les plateaux de la Saône. Sa direction, sa position en bordure des derniers plissements, ses contacts avec les ondulations des Avant-Monts, la rattachent au domaine jurassien dont elle semble être la limite.

En tout cas il est intéressant de savoir qu'une ancienne faille hercynienne a joué à nouveau lors du plissement jurassien ou peu avant ; aussi est-on en droit de supposer que ce cas n'est pas unique et que d'autres dislocations du Jura sont en relation avec des déformations de sa base hercynienne, comme dans le bassin de Paris, où P. Fallot a pu démontrer que les déformations de la couverture résultent de la tectonique du bâti ancien (26).

4. Les considérations qui précèdent nous amènent à la conclusion que la genèse du Jura ne s'explique pas d'une façon pleinement satisfaisante par l'hypothèse d'une nappe de glissement plissée. En revanche, elles nous ont révélé que des influences profondes paraissent n'être pas étrangères à l'érection de la chaîne.

Pourtant les observations de Buxtorf correspondent à la réalité. Sont-elles réellement incompatibles avec l'existence de tout mouvement de fond ?

En aucune façon ; il se pourrait en effet que la couche à anhydrite, que l'on considère comme un niveau de décollement ou de glissement, ne soit en réalité qu'une zone de *dis-harmonie* dans un système de dislocation unique, qui comprendrait aussi bien le substratum hercynien avec sa croûte de Permien et de Trias, que la série sédimentaire supérieure.

Dans la première partie de cette étude, nous avons vu que les niveaux marneux les plus épais, Argovien, Oxfordien, Lias supérieur, déterminent fréquemment des disharmonies, pour peu que le plissement ait été assez intense. Mieux encore que les marnes jurassiques, la zone à anhydrite doit se prêter à de semblables accidents, avec ses niveaux argileux, ses anhydrites, ses faciès salifères fondants. Aussi, sa présence dans la série sédimentaire dut-elle avoir pour conséquence de modifier l'effet des poussées, au point que les déformations des terrains situés au-dessous ne correspondent pas aux dislocations des couches supérieures.

5. Essayons de préciser.

Dès le Jurassique supérieur, le tréfonds jurassien commence à se disloquer sous l'action d'une force orogénique dont nous n'avons pas à rechercher ici l'origine. Des compartiments longitudinaux, orientés comme les plis actuels, s'affaissent ou se soulèvent, s'inclinent ou se redressent, entraînant des modifications de faciès dans les sédiments jurassiques, puis crétacés. Ces mouvements sont trop faibles pour engendrer un faciès orogénique comme dans les Alpes, sauf au moment de l'émersion purbeckienne, où se déposent par endroits des brèches que l'on pourrait assimiler à une sorte de *flysch*.

Au Tertiaire, le mouvement s'accroît ; des écaillés hercyniennes se soulèvent, provoquant des plissements locaux. Mais ce n'est qu'à la fin du Miocène que le mouvement devient général, sous l'effet d'une poussée tardive (phase insubrienne?). Des coins de cristallin se rapprochent, se resserrent et se chevauchent avec le Permien et les Grès bigarrés qui y adhèrent. Le mouvement est amorti dans le Muschelkalk moyen dont les marnes, éminemment plastiques, ne transmettent pas en direction les pressions qu'elles subissent, mais se comportent plutôt comme une espèce de fluide, obéissant aux lois de l'hydrostatique, entre les masses profondes qui les compriment et les couches supérieures qui les retiennent.

L'épaisse série de sédiments, qui comprend tous les niveaux supérieurs au Muschelkalk moyen, avait déjà été soulevée localement par des mouvements antérieurs et démantelée par l'érosion en certains endroits. La dernière poussée va achever son plissement. Le serrage des coins de cristallin la soulève à nouveau, tout en rétrécissant sa base (fig. 3), en même temps que les marnes triasiques sous pression bourrent les plis naissants et les déforment. Cela nous ramène à l'hypothèse de M. Lugeon qui reprend ici toute sa valeur. Sous ces actions com-

binées, ces 1500 m. de calcaires et de marnes se replient sur eux-mêmes avec plus ou moins d'intensité, mais sans épouser jamais les déformations du socle profond. Dans les régions où la poussée atteint son maximum, sur le tranchant des écailles hercyniennes, le plissement superficiel est le plus violent et comporte de nombreux plis, accompagnés de cassures et de chevauchements. Par endroits, des cisaillements se produisent dans le Trias, avec des glissements locaux de toute la série sédimentaire.

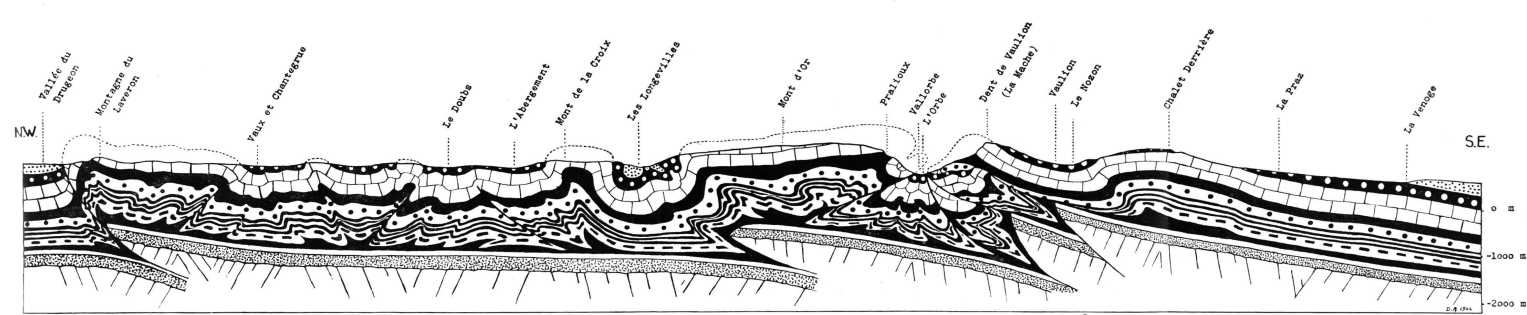
Ailleurs, sur le dos des coins, le plissement moins puissant se réduit à un plissotement, à une série de rides ou à de larges ondulations, qui s'atténuent et finissent par disparaître dans les régions subtabulaires des plateaux jurassiens, où les couches supérieures doivent être restées en concordance avec la surface hercynienne.

6. Dans l'ensemble, cette explication répond bien à l'aspect du Jura, à ses faisceaux de plis parallèles et arqués, à ses territoires violemment disloqués qui contrastent avec des régions où les plis sont à peine marqués. Elle rend intelligible l'existence et la forme des plis couchés et chevauchants et des failles longitudinales, si nombreux dans la haute chaîne. Enfin, notre hypothèse correspond au fait que la majorité de ces accidents ont le « regard français », pour reprendre une expression chère à Emmanuel de Margerie ; mais elle s'applique aussi à ceux qui sont tournés du côté suisse, de même qu'aux plis en retour et aux anticlinaux coiffés, qui s'expliquent les uns et les autres par la contraction du tréfonds jurassien.

7. En définitive, cette façon de concevoir le plissement du Jura nous ramène, sans que nous l'ayons cherché, à la nouvelle théorie orogénique des Alpes. Dans les deux cas, le serrage, localisé dans le socle hercynien, soulève et ébranle la couverture sédimentaire qui se plisse secondairement. Mais, alors que dans les Alpes le phénomène atteint une telle violence que les masses sédimentaires s'écoulent à de grandes distances, dans le Jura, le plissement du revêtement sédimentaire se ramène à des faisceaux de rides plus ou moins complexes avec des glissements locaux.

On pourrait donc définir le Jura comme une *répétition affaiblie et tardive des Alpes*.

8. Les considérations qui viennent d'être exposées n'ont pas la prétention d'épuiser, ni de résoudre définitivement le problème de l'origine du Jura. Leur seule intention est de le poser à nouveau, en regard des théories qui voient le jour



Herzynien



Permien



Trias inf.



Zone à anhydrite



Trias sup.



Lias



Dogger



Argovien



Malm



Crétacé



Molasse



FIG. 3.

Coupe de la zone interne du Jura, passant par Vallorbe.

dans l'orogénie alpine. Le Jura est-il réellement un plissement de surface? une nappe de glissement? Quel a été le rôle des bourrages de Trias ou des poussées profondes? J'ai répondu à ces questions par l'hypothèse qui me paraissait la plus plausible.

Le problème jurassien subsiste. Pour lui trouver une solution, de nouvelles recherches sont nécessaires, mais je ne crois pas que les méthodes habituelles du géologue, par l'observation des affleurements, y suffisent. A défaut de tunnels ou de sondages, la parole est aux géophysiciens, qui pourront nous dire si le Jura est véritablement un plissement de surface, reposant sur une ancienne pénéplaine hercynienne restée stable, ou si, comme je l'ai supposé, ce n'est qu'un plissement superficiel apparent, résultant de la dislocation de son socle de cristallin.

Ouvrages cités.

1. MAURICE LUGEON et ELIE GAGNEBIN. Observations et vues nouvelles sur la Géologie des Préalpes romandes. *Mém. Soc. vaud. Sc. nat.*, N° 47, Vol. 7, N° 1. 1941.
2. HENRI VINCIGENNE. Un type de décollement dans le Jura méridional au Nord de Chézery (Ain). *Bull. Lab. Géogr. phys. Univ. Paris*, Vol. V, fasc. 1 et 2. 1932.
3. D. AUBERT. Monographie géologique de la Vallée de Joux (Jura vaudois). *Mat. carte géol. Suisse*, nelle série, 78^e livr. 1943.
4. D. AUBERT. Atlas géologique de la Suisse 1 : 25 000, F. 17, Vallée de Joux. 1939.
5. A. B. TUTEIN NOLTHENIUS. Carte géologique des environs de Vallorbe. 1 : 25 000. *Comm. géol. Soc. helv. Sc. nat.*, carte spéciale N° 92. 1920.
6. W. CUSTER et D. AUBERT. Atlas géologique de la Suisse 1 : 25 000, F. 5, Mont-la-Ville—Cossonay. 1935.
7. A. B. TUTEIN NOLTHENIUS. Etude géologique des environs de Vallorbe. *Mat. carte géol. Suisse*, nelle série, 43^e livr. 1921.
8. MARCEL BERTRAND. Failles de la lisière du Jura, entre Besançon et Salins. *Bull. Soc. géol. France*, 3^e série, t. X, p. 114-127. 1881-1882.
9. A. BUXTORF et R. KOCH. Zur Frage der Pliocaenbildungen im nordschweizerischen Juragebirge. *Verh. der Naturforsch. Gesellschaft Basel*, Band XXXI. 1920.
10. HANS LINIGER. Geologie des Delsberger Beckens und der Umgebung von Movelier. *Mat. Carte géol. Suisse*, nelle série, 55^e livr. 1925.

11. JULES FAVRE. Description géologique des environs du Locle et de La Chaux-de-Fonds. *Ecl. géol. helv.*, vol. 11, p. 369-475. 1911.
12. J. HÜRZELER. Alter und Fazies der Molasse am Unterlauf des Talent zwischen Oulens und Chavornay. *Ecl. géol. helv.*, vol. 33, p. 191. 1940.
13. ET. JOUKOWSKY et J. FAVRE. Monographie géologique et paléontologique du Salève. *Mém. Soc. Phys. et Hist. nat. Genève*, vol. 37, fasc. 4. 1913.
14. AUG. BUXTORF. Geologische Beschreibung des Weissensteintunnels und seiner Umgebung. *Mat. carte géol. Suisse*, nelle série, 21^e livr. 1908.
15. MAURICE LUGEON. Une hypothèse sur l'origine du Jura. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, vol. 61, N^o 256. 1941. *Bull. Lab. géol. Univ. Lausanne*, N^o 73. 1941.
16. ELIE GAGNEBIN. Vues nouvelles sur la géologie des Alpes et du Jura. *Bull. Soc. neuchât. sc. nat.*, t. 67. 1942.
17. ALBERT HEIM. Geologie der Schweiz. Bd. I. Leipzig, Tauchnitz. 1918.
18. M. GIGNOUX. Quelques réflexions sur des théories tectoniques récentes. *Ann. Univ. Grenoble*, section Sciences-Médecine, t. XVIII, p. 73-95. 1942.
19. MAURICE LUGEON. Sur l'entraînement des terrains autochtones en dessous de la nappe de Morcles. *Ctes rendus Acad. Sc.*, tome 159, p. 192. 13 juillet 1914.
20. R. STAUB. Der Bau der Alpen. *Mat. carte géol. Suisse*, nelle série, 52^e livr. 1924.
21. ABBÉ E. BOURGEAT. Recherches sur les formations coralligènes du Jura méridional. Thèse Fac. Sc. Paris, 1 vol., Lille. 1887.
22. G. MAILLARD. Etude sur l'étage purbeckien dans le Jura. Diss. Univ. Zurich. 1884.
23. MAURICE GIGNOUX. Géologie stratigraphique. Masson, Paris 1926.
24. E. FOURNIER. Sur la structure tectonique profonde de la zone des Avant-Monts du Jura. *Bull. Soc. géol. France*, 4^e série, t. XXII, p. 223-233. 1922.
25. EMM. DE MARGERIE. Le Jura II. *Mém. carte géol. France*. 1936.
26. P. FALLOT. Au sujet de la genèse des plis du Bassin de Paris. *Ctes rendus Soc. géol. France*, fasc. 3, p. 20. 1942.