

INSTITUT DE GÉOLOGIE, UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL

Directeur : Professeur Eugène Wegmann

ÉTUDE DE LA STRATIFICATION ENTRECROISÉE DANS LA PIERRE JAUNE (HAUTERIVIEN SUPÉRIEUR) AUX ENVIRONS DE NEUCHÂTEL (SUISSE)

par

LASZLO KIRALY

AVEC 8 FIGURES

INTRODUCTION

Dans les travaux ayant pour objet la Pierre jaune de Neuchâtel (ou de Hauterive), d'illustres géologues se sont occupés surtout de la stratigraphie et de la paléontologie de cette formation. Que les Marnes bleues de Hauterive et la Pierre jaune de Neuchâtel aient été choisies comme les types même de l'étage hauterivien (inférieur et supérieur), montre assez bien la valeur de ces travaux classiques.

Le présent travail est consacré, par contre, presque entièrement à l'étude des relations spatiales entre éléments structuraux de la Pierre jaune, et cela parce que toute l'histoire de cette dernière est réduite et figée en trois groupes de phénomènes actuellement observables :

1. Composition de la roche.
2. Structure sédimentaire.
3. Indices et traces des déformations ultérieures au dépôt.

Il ne fait aucun doute que les phénomènes observables des deux derniers groupes sont essentiellement des rapports spatiaux, donc « géométriques ». En ce qui concerne la composition de la roche elle n'est pas dépourvue, non plus, d'une certaine structuration : une roche, et en particulier la Pierre jaune, n'est, en effet, jamais tout à fait homogène à toutes les échelles.

Les données géologiques les plus immédiates et les plus accessibles sont donc (à part la composition) essentiellement spatiales ou « géométriques ». Ce sont les rapports spatiaux que l'on extrapole et que l'on « traduit » en relations spatio-temporelles (cinétiques, dynamiques et génétiques).

Etant donnée l'importance des rapports spatiaux, mon but principal était la reconstruction d'une image structurale de la Pierre jaune dans sa position originelle (c'est-à-dire avant la déformation) que l'on pourra traduire en conditions génétiques. La reconstruction de cette image structurale implique déjà des transformations des données immédiates, notamment l'extrapolation des éléments et rapports structuraux observés, ainsi que l'élimination des effets des déformations ultérieures au dépôt (c'est-à-dire le rabattement de l'image extrapolée à l'horizontale). C'est donc une image ayant subi deux sortes de transformation qui sera traduite en conditions génétiques, cette « traduction » correspondant à une troisième transformation des données initiales. Mais on n'obtient, par la transformation des énoncés exacts, d'autres énoncés exacts que si les lois de transformation sont tautologiques, ce qui n'est, en général, pas le cas en géologie. Il s'ensuit que les faits énoncés résultant de l'extrapolation et de la transformation des éléments et rapports géométriques observés ne sauraient être pourvus d'une assertion positive indiquant la certitude de leur existence. Les énoncés résultant des transformations auront donc une valeur logique inférieure à 1, valeur qui sera d'autant plus petite que le nombre des transformations précédentes était grand. Si l'on insiste sur le changement de modalité (ou de la valeur logique) des énoncés au cours de cette étude géologique, c'est parce que dans beaucoup de travaux on sous-entend que l'observation et la mesure exactes des phénomènes donnent automatiquement la même exactitude aux conclusions finales. Nous venons de voir qu'il n'en est rien, bien que l'exactitude des observations et l'étude scientifique des lois de transformation augmentent considérablement la valeur logique des conclusions.

Remarquons, cependant, que « l'indétermination » des énoncés résultant des transformations et de l'extrapolation ne subsiste que par rapport à notre ensemble référentiel actuel et que toute augmentation de la densité ou de l'étendue de cet ensemble référentiel pourra diminuer ou lever complètement l'indétermination des énoncés (= les observations ultérieures en montreront soit l'exactitude, soit l'inanité).

Situation générale

Les géologues distinguent dans l'étage hauterivien trois groupes de sédiments, de nature pétrographique et lithologique différente :

1. en haut : une zone oolithique ;
2. au milieu : une zone marno-calcaire ;
3. en bas : une zone marneuse.

La zone 3 forme l'Hauterivien inférieur, la zone 1 l'Hauterivien supérieur ; quant à la zone 2 les opinions divergent : elle peut être rattachée à 1 ou à 3.

Quant aux dénominations « Pierre de Neuchâtel » (de Loriol), « Pierre de Hauterive » (Baumberger), « Pierre jaune de Neuchâtel » (Frei) et « Pierre jaune » des carriéristes, elles s'appliquent toujours aux roches de la zone oolithique. Etudier la Pierre jaune signifie donc que

Profil II. - direction N 175°

Profil I. - direction N 85°

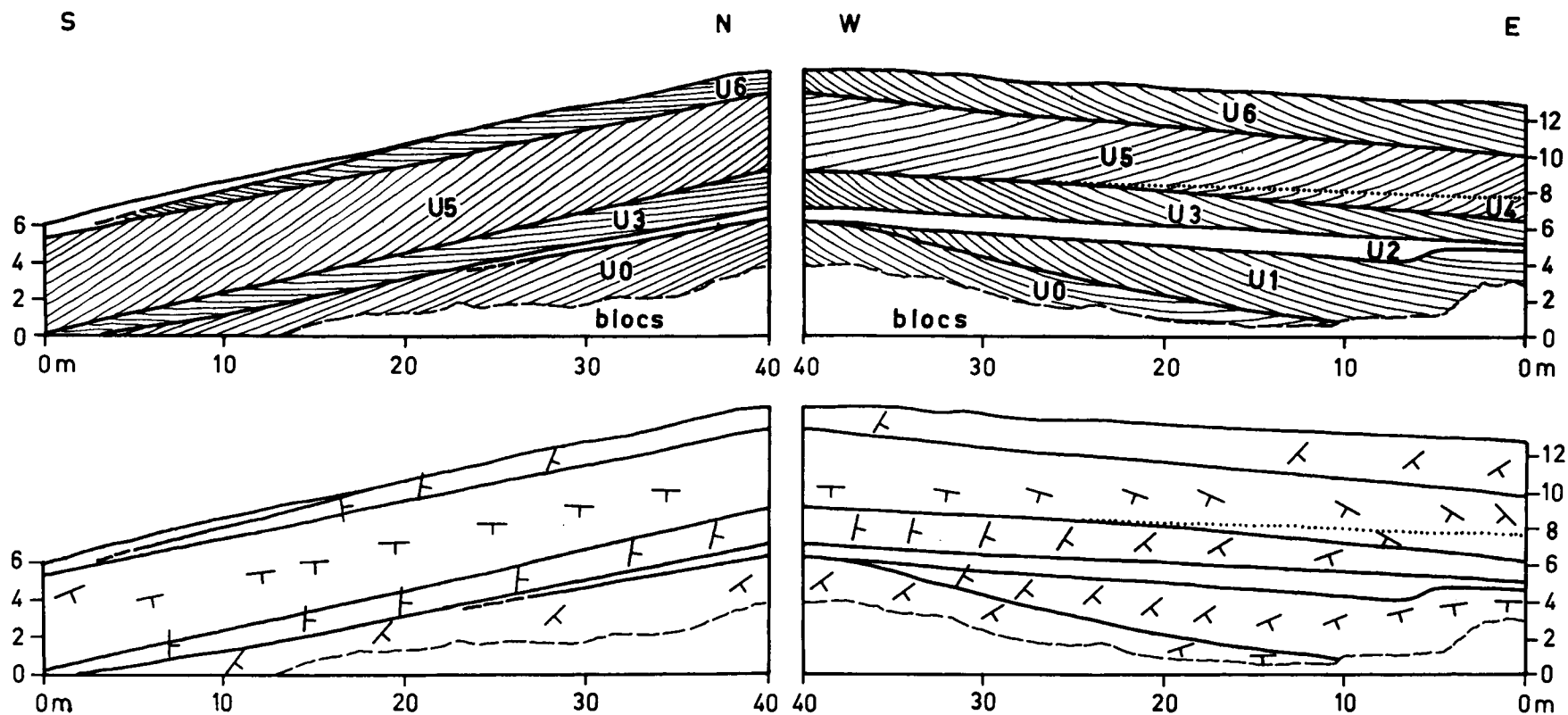


Fig. 1. Les deux falaises de l'affleurement de Corcelles 1.

Sur la figure inférieure, on a indiqué l'orientation moyenne des couches en prenant la verticale pour la direction N.

l'intérêt principal doit se porter sur le faciès oolithique de l'Hauterivien supérieur.

Ayant à sa base les marno-calcaires, la Pierre jaune oolithique est délimitée vers le haut par un nouveau changement de faciès. L'apparition du faciès de la Rusille et du faciès urgonien marquera la base de l'étage barrémien, donc la limite supérieure de la Pierre jaune.

Les affleurements de la série étudiée forment, entre Corcelles et Le Landeron, une bande étroite, longue d'une vingtaine de kilomètres, mais dont la largeur ne dépasse guère quelques centaines de mètres. La disposition des affleurements est déterminée par la structure régionale : toute la série appartient, en effet, aux flancs S des deux premiers anticlinaux du Jura qui sont l'anticlinal de Chaumont et celui de Châtoillon. La série étant très mince (épaisseur moyenne de la Pierre jaune proprement dite : 15 m à 20 m), elle n'affleure que sur une bande étroite et parallèle aux deux plis dont elle fait partie.

Pour avoir une idée de la position stratigraphique et paléogéographique qu'occupe la Pierre jaune dans l'ensemble européen, on peut consulter la figure 96 de la « Géologie stratigraphique » de M. GIGNOUX (1950). Il en ressort clairement que la transgression néocomienne, venant du S et SE, atteint son maximum à l'Hauterivien inférieur (Marnes bleues dans la région du Jura neuchâtelois) et que l'Hauterivien supérieur correspond à une période de régression. La proximité des rivages se traduit par les dépôts plus littoraux de la Pierre jaune. La présence de la stratification entrecroisée dans cette dernière indique que la sédimentation avait eu lieu dans un milieu en mouvement. Le présent travail donnera quelques précisions concernant la direction principale de transport, ses variations spatiales et temporelles, ainsi que les variations dans le mode de mise en place des sédiments.

La stratification entrecroisée

I. GÉOMÉTRIE DES UNITÉS

Les méthodes employées dans l'étude géométrique de la stratification entrecroisée seront illustrées par un exemple simple et concret : par la présentation de l'analyse complète d'une carrière, celle de Chantemerle à Corcelles. Il faut souligner tout de suite que ces méthodes ont été inspirées par celles que développait P. WURSTER (1958) dans son étude sur la « Geometrie und Geologie von Kreuzschichtungskörpern ».

Les deux profils (correspondant aux deux falaises de la carrière) de la figure 1 montrent les éléments les plus importants, à l'échelle de l'affleurement, de la structure sédimentaire originelle. Deux sortes d'éléments simples nous sont immédiatement donnés : l'ensemble C des couches (strata, Schichten) et l'ensemble F des grandes surfaces qui divisent les couches en plusieurs sous-ensembles ou groupes. Ces derniers sont formés par une série de couches plus ou moins parallèles et délimitées, vers le bas et vers le haut, par des surfaces F.

Puisque dans un même groupe les couches restent plus ou moins parallèles, il n'y a pas de stratification entrecroisée proprement dite à l'intérieur même du groupe, bien que les couches soient obliques aux surfaces F. L'orientation des couches peut être, par contre, très différente dans deux groupes voisins et ce n'est qu'avec la superposition de deux ou plusieurs de ces groupes différemment orientés que la stratification entrecroisée proprement dite apparaît. Ces groupes à stratification oblique (mais non entrecroisée) fonctionnent, donc, comme des éléments structuraux complexes, eux-mêmes formés d'éléments simples C et F. Pour souligner leur caractère fondamental et élémentaire dans la structure entrecroisée, ces groupes seront appelés par la suite *unités* et formeront l'ensemble U des unités. Sur les deux profils elles sont numérotées de bas en haut : U⁰, U¹, U², U³, U⁴, U⁵ et U⁶.

L'unité (ou le groupe) peut être caractérisée par *sa forme* (déterminée par les surfaces F ; F = forme) et par *son contenu* (déterminé par les couches C se trouvant à l'intérieur de l'unité). Cette différence formelle entre éléments C et F traduit une différence génétique : les couches sont dues à la sédimentation positive, tandis que les surfaces F représentent, sans aucun doute, des surfaces d'érosion (« sédimentation négative »).

La forme des unités

L'épaisseur des unités n'est pas constante : les unités U¹, U², U⁴ et U⁶ se ferment en biseau et disparaissent, et l'épaisseur des unités U³ et U⁵ se réduit aussi vers les extrémités des profils. D'après les variations d'épaisseur et l'allure des surfaces limites on peut supposer que les unités se ferment en biseau à leurs extrémités et s'épaississent vers leur milieu. Il s'agit donc d'une forme convexe et lenticulaire (ce qui ne signifie pas que cette « lentille » est régulière et symétrique).

L'extension latérale des unités ne pourra pas être précisée pour le moment, mais on peut admettre que les dimensions latérales des unités sont plus grandes que la longueur des falaises, c'est-à-dire 40 m (U³ et U⁵ traversent, par exemple, les deux falaises sans montrer leur fermeture).

L'épaisseur des unités varie entre 1,5 m (U²) et 5 m (U⁵), par conséquent l'extension latérale des unités pourrait bien être 15 à 20 fois plus grande que leur épaisseur, ce qui explique que les surfaces limites paraissent, dans des formes aussi plates, presque parallèles les unes aux autres.

En prenant la moyenne des mesures des surfaces F (en les reportant, par exemple, sur un réseau stéréographique), on peut déterminer l'orientation générale de la forme des unités ou, en empruntant une expression à la pétrographie, la « Formregelung » des unités (par opposition à l'orientation de la structure interne ou « Gitterregelung »). D'après les mesures des surfaces F, les unités sont réglées plus ou moins parallèlement à un plan imaginaire de direction N 65° E et plongeant de 18° vers le SE. Ce résultat correspond à l'orientation générale de la bande hauterivienne à cet endroit, ce qui signifie que l'orientation originelle, selon la forme, des unités devait être à peu près horizontale. Ce sont les surfaces F qui représentent, en première approximation, l'ancienne horizontale et leur

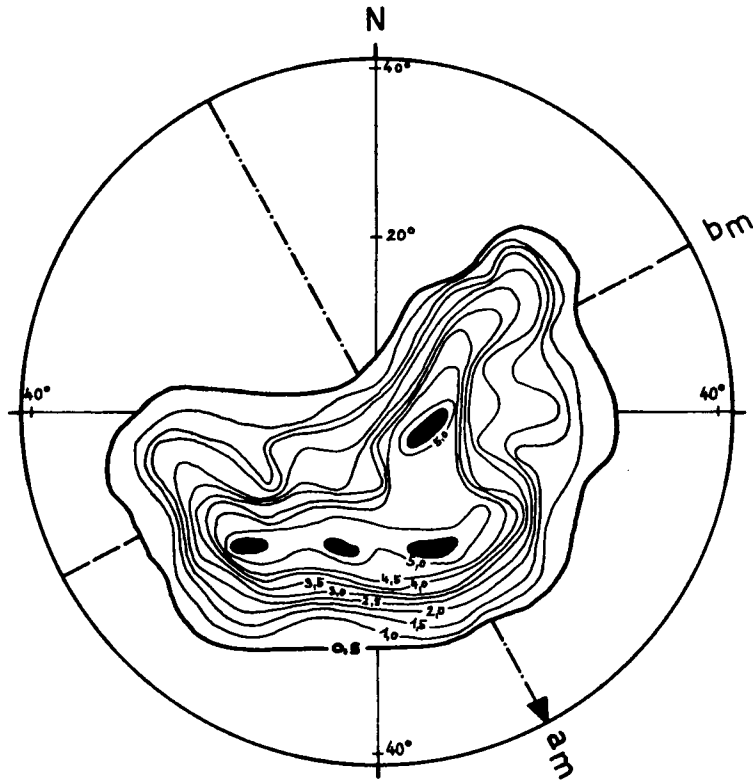


Fig. 2. Répartition des pôles de couche rabattus de Corcelles 1. — Projection stéréographique équisurface, hémisphère supérieur.

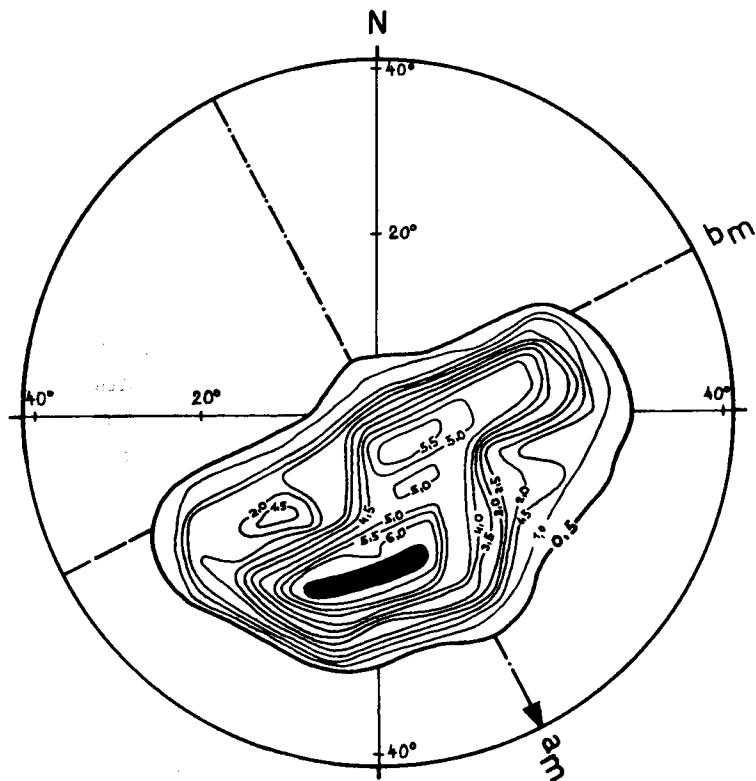


Fig. 3. Répartition des pôles de couche rabattus de Corcelles 1, après avoir parallélisé les directions de transport des unités.

orientation actuelle indique la déformation angulaire résultante subie par la série.

La structure interne (ou contenu) des unités

La structure interne est le résultat des processus de la sédimentation active. Pour déterminer la direction du transport géologique, on doit déterminer l'orientation de la structure interne dans sa position originelle, c'est-à-dire avant les déformations. Pouvoir annuler les effets des déformations ultérieures au dépôt suppose la connaissance exacte des déformations subies par la série. Or, toutes les déformations n'ont pas laissé de traces évidentes ou il est impossible d'évaluer leur ampleur d'une façon exacte. Ici, encore, on doit procéder par approximation.

Les déformations subies par la série pouvaient être continues et discontinues. Dans chaque groupe il pouvait y avoir :

1. rotation autour d'un axe horizontal (« balancement ») ;
2. rotation autour d'un axe vertical ou oblique ;
3. translations d'ampleurs différentes dans diverses directions ;
4. les combinaisons des trois cas précédents.

Puisque les mesures directes concernant l'orientation de la série ne révèlent qu'une déformation résultante par rapport à l'horizontale, je ne pourrais éliminer, par un rabattement de la série, qu'une seule composante de la déformation totale : celle qui s'est faite autour d'un axe plus ou moins horizontal (donc le « balancement »). Conscient de ce qu'il y a d'approximatif dans ce procédé de rabattement, je fais, en quelque sorte, un pari : je parie, en effet, que la composante ainsi éliminée forme la plus grande partie de la déformation totale et que les résultats obtenus, bien qu'approximatifs, seront suffisamment exacts pour ce travail.

Les surfaces F étant considérées, en première approximation, comme représentant l'ancienne horizontale, leur direction moyenne actuelle (N 65° E) sera l'axe de rotation et leur pendage moyen actuel (18° vers le SE) donnera l'angle de rotation nécessaire pour le rabattement des couches mesurées.

La figure 2 montre la distribution des pôles rabattus de toutes les couches mesurées dans la carrière. En considérant uniquement la forme de la surface occupée par les pôles, je peux définir un plan de symétrie vertical de direction N 152° E. L'intersection de ce plan avec l'horizontale donne l'axe a_m . L'axe b_m est perpendiculaire au plan de symétrie et à a_m . La série rabattue a ainsi son propre système de référence bien défini et naturel, où a_m représente la direction moyenne du « transport géologique ».

Si la direction moyenne a_m est facilement déterminable, elle présente le désavantage d'homogénéiser la série, c'est-à-dire de ne donner aucun renseignement sur la variation de la direction de transport dans le temps. D'après la figure 1, cette direction de transport aurait pu varier considérablement au cours de la sédimentation, aussi faut-il s'efforcer de la déterminer pour chaque unité.

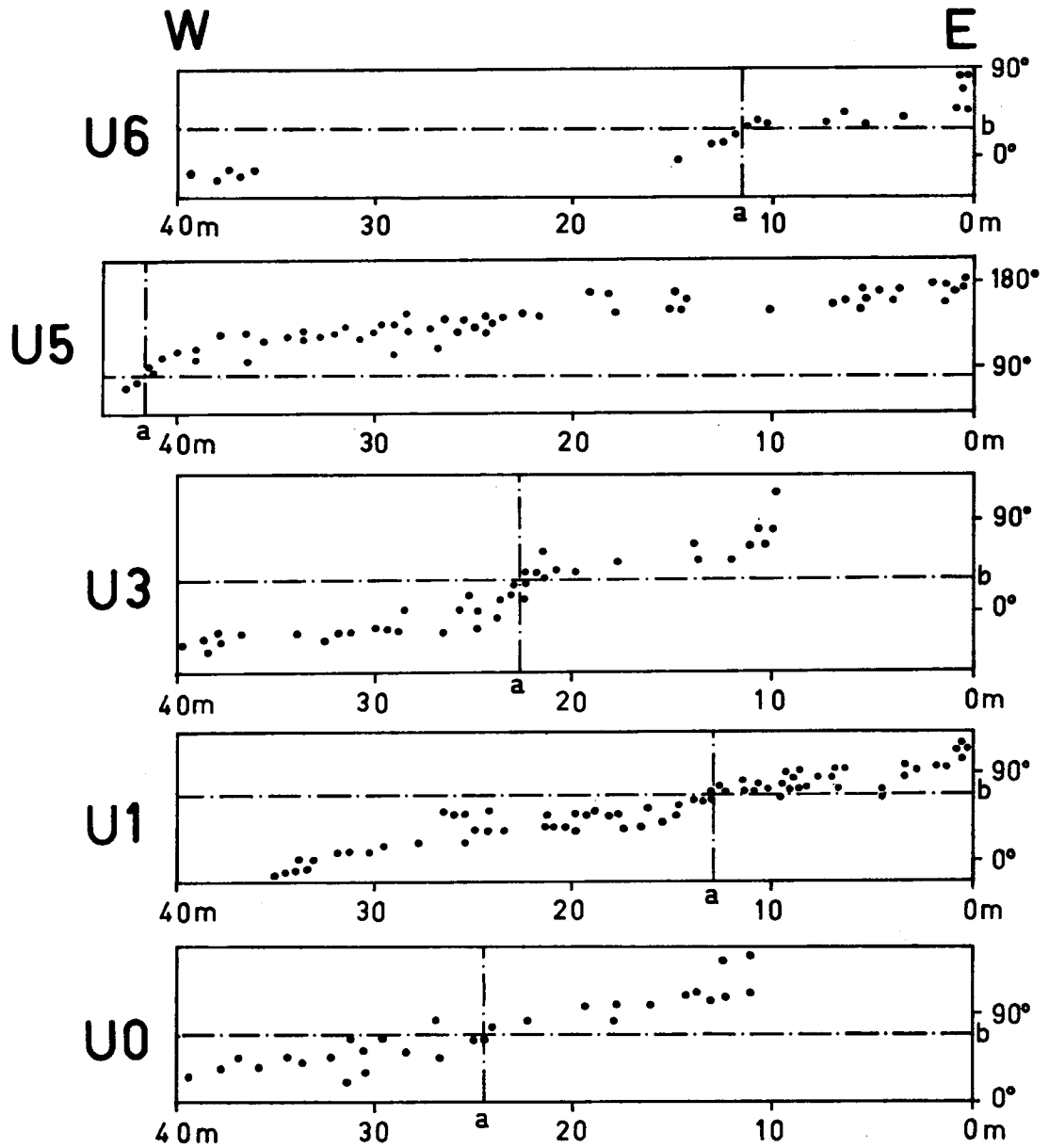


Fig. 4. Changement de direction des couches rabattues en fonction de leur position dans la carrière (falaise I) de Corcelles 1.

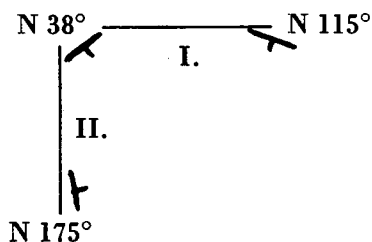
Appelons *Cu* l'ensemble des couches appartenant à une même unité. Dans cet ensemble seront comprises toutes les couches, même celles que nous ne voyons pas affleurer, mais qui existent actuellement à l'intérieur de la série et qui appartiennent à la même unité. Ainsi on associera à chaque unité *U* un ensemble de couches *Cu* dont l'orientation donnera celle de la structure interne.

Mais il faut se rappeler qu'aucune des unités n'est entièrement visible dans la carrière, donc *les couches observables ne représentent qu'une petite partie des ensembles Cu définis plus haut. Il s'ensuit que l'orientation des constituants visibles ne saurait être identifiée à celle de tout l'ensemble (sauf si l'orientation des constituants ne varie point)*. Or, d'après les observations de P. WURSTER et d'après mes propres observations, il apparaît que l'orientation des couches varie à l'intérieur des unités (fig. 1). Pouvoir proposer une direction de transport pour l'unité exige donc que l'on considère non seulement l'orientation des couches visibles, mais aussi l'orientation des couches se trouvant à l'intérieur de l'unité.

Sur la figure 4 j'ai marqué, selon la méthode employée par P. WURSTER (1958), la direction des couches rabattues en fonction de leur position dans la carrière et dans l'unité. Les diagrammes montrent que le changement de direction des couches rabattues n'est pas quelconque à l'intérieur de l'unité, mais il est statistiquement régulier et de sens déterminable : la direction des couches diminue, en effet, dans toutes les unités considérées de l'E vers l'W. En admettant que le sens du changement de direction reste le même aussi dans la partie cachée de l'unité (ce qui serait assez logique) et en évaluant l'importance approximative de sa partie invisible, on arrive à se faire une idée assez juste (en tout cas vraisemblable) de l'orientation des couches se trouvant immédiatement en dehors de la carrière. Examinons chaque unité individuellement.

Unité U^0

La direction des couches rabattues varie, à l'intérieur de l'unité, assez régulièrement : sur la falaise I elle diminue vers l'W, et sur la falaise II vers le S. La valeur angulaire du changement de direction sur les deux falaises sera appelée *intervalle ΔD* ; il est dans le cas présent de 120° :



(Je dois remarquer ici que les valeurs limites des intervalles ΔD représentent les directions moyennes des couches rabattues aux extrémités des falaises, et non pas toujours les directions de couche extrêmes pouvant résulter des irrégularités locales des couches mesurées.)

L'unité U^0 n'étant pas fermée dans la carrière, on conçoit facilement que l'intervalle ΔD doit rester ouvert, lui aussi. Puisque le volume de l'unité se prolonge de part et d'autre de la carrière, on doit s'attendre à trouver dans les parties cachées de l'unité

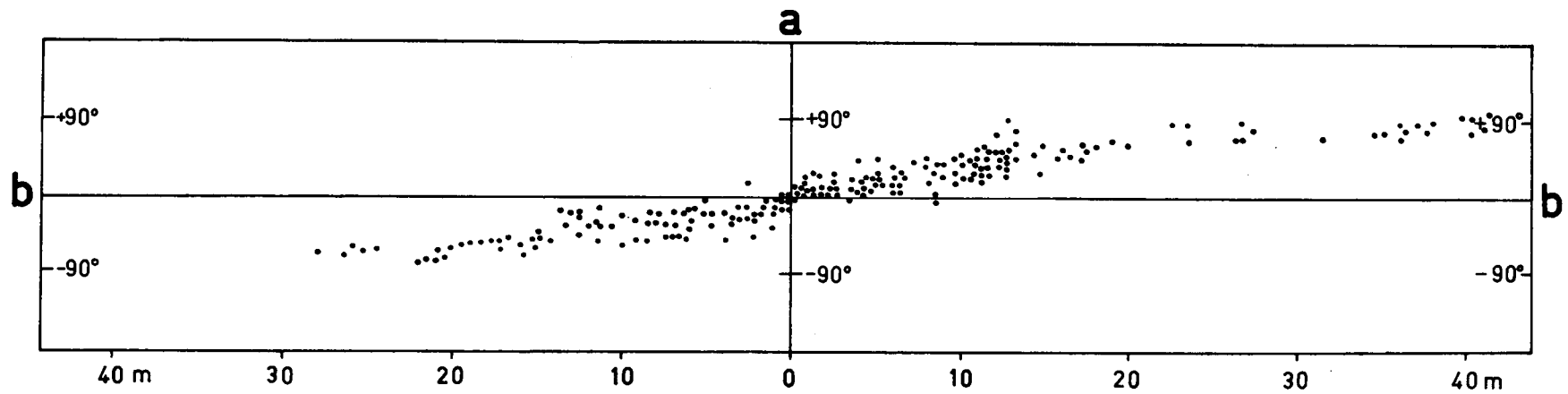


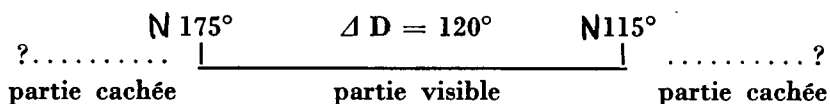
Fig. 5. Changement de direction des couches dans une unité « moyenne » en fonction de leur position par rapport à l'axe *a*.

des couches ayant des directions plus grandes que N 115° et plus petites que N 175°. Cela signifie qu'avec le prolongement possible et probable du volume même de l'unité on *doit* prolonger l'intervalle ΔD aussi, et ce prolongement angulaire pourrait être d'autant plus considérable que la partie cachée de l'unité paraît plus grande.

Donc, en considérant à la fois la forme de l'unité, la position de sa partie visible dans la carrière et le changement d'orientation de ses couches, on arrive à déterminer :

1. l'intervalle ΔD des couches visibles et rabattues ;
2. dans quelle direction l'intervalle ΔD doit rester ouvert et dans quelle direction il est fermé ;
3. quelle pourrait être, approximativement, l'importance du prolongement de l'intervalle ΔD dans les directions ouvertes.

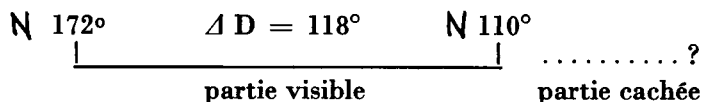
La situation pour U^0 sera la suivante :



La même situation est représentée sur le stéréogramme U^0 de la figure 7 : la surface occupée par les pôles de couche rabattus de la partie visible de l'unité est complétée de la même manière que l'intervalle ΔD plus haut. Sur le stéréogramme complété je peux définir (comme sur le stéréogramme global de la figure 2) un plan de symétrie de direction N 162° E ; un axe a (U^0) ayant la même direction et un axe b (U^0) perpendiculaire à ce dernier. La direction de l'axe a (U^0) donnera la direction du transport géologique à l'intérieur de l'unité, et l'emplacement du même axe dans la carrière indiquera le « milieu » de U^0 . Cet axe est, en effet, très facilement localisable : il suffit de retrouver dans la carrière les couches dont la direction est égale à la direction de b (U^0), et ces couches indiqueront l'emplacement de l'axe a (U^0), donc le « milieu » de l'unité (fig. 4).

Unité U^1

Elle est fermée vers l'W, mais la partie visible ne représente qu'une « moitié » environ, de sorte que l'intervalle ΔD pourrait se prolonger considérablement vers les directions de couches plus grandes que 110° :



En complétant de la même façon le stéréogramme des pôles de couche rabattus, j'ai : a (U^1) = N 160° E et b (U^1) = N 70° E.

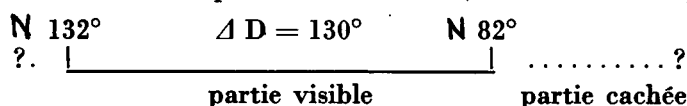
L'emplacement de l'axe a (U^1) dans la carrière est montré sur la figure 4.

Unité U^2

Les couches de cette unité sont très mal développées, irrégulières, et semblent orientées parallèlement aux surfaces F. La stratification n'étant pas oblique aux surfaces limites, cette unité ne présente aucun intérêt pour l'étude de la stratification entrecroisée.

Unité U^3

Elle est presque fermée dans la partie S de la falaise II, mais est ouverte vers l'E. Une extrémité de l'intervalle ΔD est près de la fermeture, l'autre doit être prolongée :



Le stéréogramme complété de U^3 donne (fig. 7) : a (U^3) = N 124° E, b (U^3) = N 34° E. L'emplacement de l'axe a (U^3) dans la carrière est visible sur la figure 4.

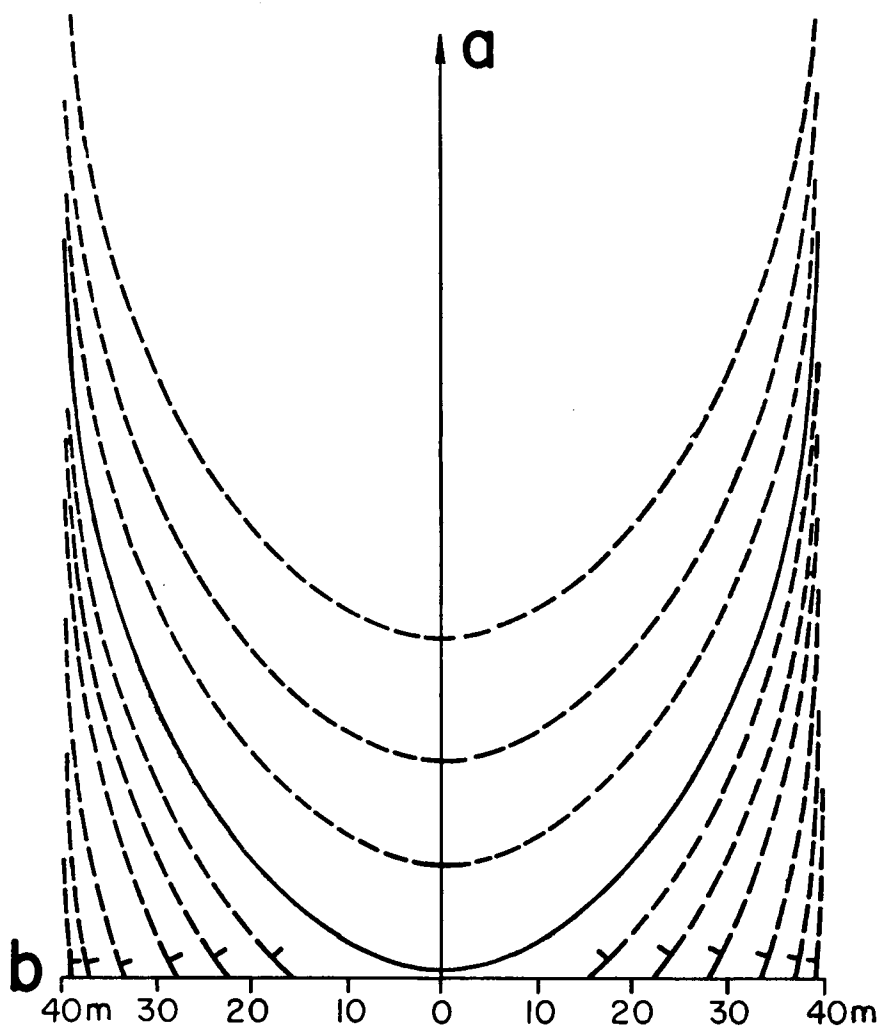


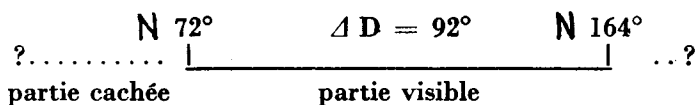
Fig. 6. La forme des couches d'une unité « moyenne », reconstruite d'après les données de la figure 5.

Unité U⁴

Sa partie est trop petite pour qu'on puisse songer à la reconstruction de l'unité entière.

Unité U⁵

Elle s'amincit assez rapidement vers l'E, mais une « bonne moitié » de l'unité doit se trouver à l'W de la falaise II. C'est donc dans cette direction que l'intervalle ΔD pourrait se prolonger considérablement :

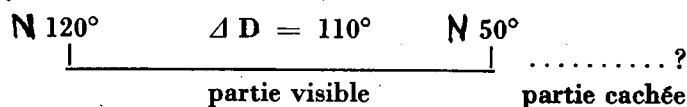


Le stéréogramme complété de U⁵ donne les axes : $a (U^5) = N 172^\circ E$, $b (U^5) = N 82^\circ E$.

La figure 4 montre l'emplacement de l'axe $a (U^5)$ dans la carrière.

Unité U⁶

Elle est fermée vers le SW, mais la moitié, environ, de l'unité pourrait se trouver au NE de la carrière :



La distribution des pôles de couche de l'unité complétée nous suggère un axe a (U⁶) = N 114° E et un axe b (U⁶) = N 24° E.

La figure 7 montre que la direction du transport a subi des variations au cours de la sédimentation, mais ces variations ne sont toutefois pas aussi grandes qu'on s'attendait à en trouver d'après l'aspect des falaises. Les directions a (U) sont, en effet, remarquablement groupées autour de la valeur moyenne a_m (fig. 7) et la différence maximum entre l'orientation de deux unités superposées est de 58° (entre U⁶ et U⁵). Le transport géologique était donc dirigé, pendant toute la sédimentation vers le S-SE, avec des variations temporelles ne dépassant pas 60°.

Quant à la figure 4 elle indique l'emplacement des axes a (U) — donc le milieu des unités — dans la carrière. On voit tout de suite que les unités sont décalées latéralement les unes par rapport aux autres, c'est-à-dire ce ne sont pas les parties correspondantes des unités que l'on trouve superposées sur une même verticale, mais des parties d'unités plus ou moins dissemblables. Ainsi la partie « gauche » de U⁶ est posée sur la moitié « droite » de U⁵, qui est à son tour superposée à la partie « gauche » de U³. La majeure partie de U¹ repose sur la moitié « droite » de U⁰.

La véritable signification de ce décalage latéral des unités n'apparaît clairement que si l'on connaît la variation de l'orientation des couches à l'intérieur même des unités. Quand on sait que la direction des couches peut changer de 160° ou 180° d'une extrémité à l'autre de l'unité, on comprendra aussi qu'un décalage latéral d'une demi-largeur entre deux unités superposées (mettant l'extrémité de l'une sur le milieu de l'autre) peut mettre « en contact » des couches ayant des directions fort différentes, même si les deux unités superposées sont orientées parallèlement l'une à l'autre.

Il apparaît donc que l'anatomie de la structure entrecroisée est profondément influencée par le changement d'orientation des couches à l'intérieur des unités, c'est-à-dire par le fait que les couches doivent être considérées, à l'échelle de l'unité, comme des *surfaces courbes*.

La *forme des couches* ne peut être reconstruite entre les deux extrémités d'une seule unité concrète, car aucune des unités n'est entièrement visible dans la carrière. Mais en « parallélisant » les unités (en rendant parallèles les axes a (U) par exemple) et en faisant disparaître les décalages latéraux (en faisant coïncider les emplacements des axes a (U)), des parties d'unité absolument semblables se trouveront sur une même verticale, et les « moitiés » et « parties centrales » des différentes unités formeront, par compensation, une seule unité « moyenne », mais « *entière* » (WURSTER 1958).

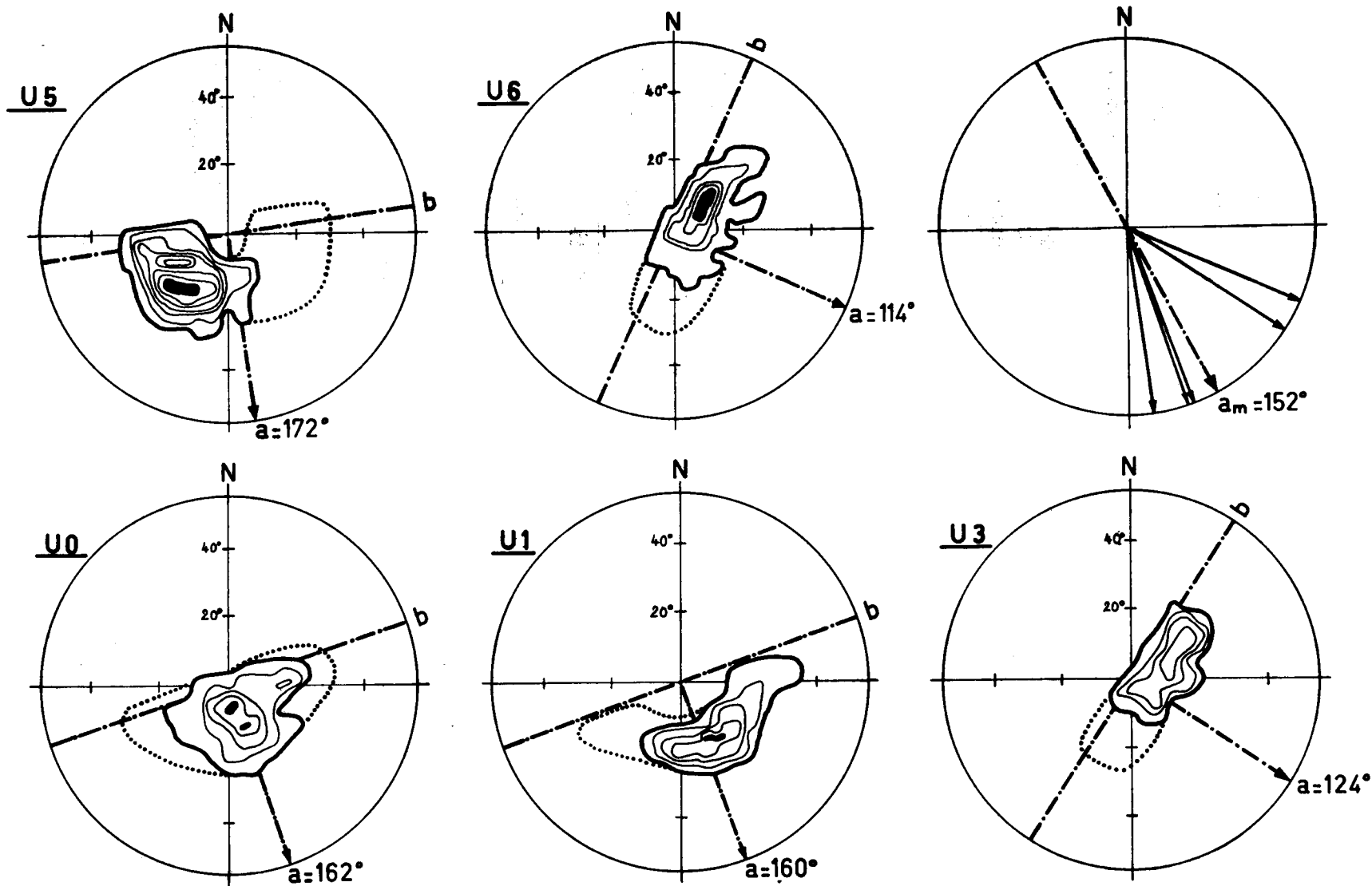


Fig. 7. Répartition des pôles de couches rabattus des unités de Corcelles 1. — En pointillé : orientation probable des couches dans la partie cachée de l'unité.

La figure 3 montre la répartition des pôles de couche de cette unité entière. La forme de la surface occupée par les pôles est un demi-cercle presque parfait et de symétrie essentiellement monoclinique. (Les traits tricliniques proviennent du fait que le pendage des couches n'est pas le même dans toutes les unités.) La différence entre les directions des couches se trouvant aux deux extrémités de l'unité est de 180° . Donc, si la direction des couches est perpendiculaire à l'axe a (U) au milieu de l'unité, elle devient plus ou moins parallèle à la direction du transport vers les extrémités.

La figure 5 montre que le changement de direction des couches n'est pas une fonction linéaire de leur distance mesurée depuis l'axe a (U) : à gauche et à droite du centre de l'unité, la direction des couches change d'abord rapidement (surtout entre -10 m et $+10$ m), ensuite très lentement. La direction b (U) étant égale à 0° le changement de direction tend vers les valeurs extrêmes de $+90^\circ$ à droite de a (U) et -90° à gauche de a (U). Ces valeurs maxima sont atteintes à 30 m ou 40 m de distance de l'axe a (U), donc *la largeur probable de l'unité moyenne se situe entre 60 m et 80 m.*

D'après ces données, on peut facilement reconstruire la forme des couches (fig. 6). Conformément aux conclusions de WURSTER (1958), on trouve que l'intersection des couches avec un plan horizontal donne des courbes paraboliques plus ou moins irrégulières et que les couches sont assimilables à des surfaces paraboloides concaves vers le haut.

On peut enfin conclure que, dans cette carrière, l'unité est un corps géologique de forme convexe et lenticulaire, large de 60 m à 80 m, allongé probablement parallèlement à l'axe a , contenant des couches assimilables à des surfaces paraboloides concaves vers le haut et plus ou moins symétriques par rapport à la direction a , cette dernière indiquant la direction du transport géologique.

Dès lors l'apparition de la stratification entrecroisée dans le cas de deux ou plusieurs unités superposées peut avoir de multiples raisons (pour le moment « géométriques »), dont voici les principales :

1. les surfaces courbes superposées (donc les couches des unités superposées) ont des rayons de courbure trop différents ;
2. les surfaces courbes superposées ont des dimensions latérales trop différentes ;
3. les surfaces courbes superposées sont différemment orientées ;
4. les surfaces courbes superposées sont latéralement décalées les unes par rapport aux autres ;
5. des surfaces courbes concaves sont superposées à des surfaces courbes convexes vers le haut (ou vice versa) ;
6. les différentes combinaisons des 5 possibilités mentionnées ci-dessus.

Il s'ensuit que la présence de la stratification entrecroisée dans une série ne signifie pas toujours « changement brusque » de l'orientation de la structure interne des unités et encore moins, dans l'interprétation, « variations rapides et considérables » de la direction du transport.

2. INTERPRÉTATION DES DONNÉES GÉOMÉTRIQUES

Les couches des unités avaient été déposées dans une mer se mouvant dans une direction pendant une période assez considérable, donc par des courants. La direction des courants était parallèle à l'axe a (U) des unités reconstruites. Cela signifie que le régime des courants était dirigé pendant la sédimentation vers le S-SE ($a_m = 152^\circ$). Pour expliquer la genèse des unités on peut envisager deux hypothèses :

1. La première consiste à admettre que la surface limite inférieure des unités représente le fond d'un chenal sous-marin et que les couches forment le remplissage de ce chenal. La figure 1 montre que si l'unité U¹ avait pu se former de cette façon, pour les autres unités on aurait de la peine à admettre une genèse pareille. Les surfaces limites des autres unités sont, en effet, presque parallèles les unes aux autres et il serait très difficile à découvrir, dans la forme des surfaces F, un quelconque chenal sous-marin.

2. La deuxième hypothèse suppose que les couches représentent les « foresets » de formes topographiques positives, semblables aux dunes ou aux barkhanes, avançant sur le fond de la mer dans la direction du courant.

La seconde hypothèse semble expliquer mieux l'absence, dans la série, de chenaux d'érosion et la régularité, à l'échelle d'unité, des surfaces limites inférieures et supérieures. Si les unités étaient vraiment des formes topographiques positives, cela signifierait que la sédimentation devait prédominer sur l'érosion. Or, d'après A. LOMBARD, la présence de la stratification entrecroisée suppose non seulement un régime de courants, mais encore l'excès des matériaux meubles transportés, que les courants n'arrivent pas à étendre en couches horizontales.

En admettant la seconde hypothèse et la forme « en relief » des unités, on doit envisager que les surfaces limites F n'étaient pas forcément horizontales au moment de la sédimentation et, dans ce cas, le rabattement de ces surfaces à l'horizontale amène une légère exagération du pendage des couches.

3. RÉPARTITION DE LA STRATIFICATION ENTRECROISÉE DANS LA PIERRE JAUNE

Si j'ai présenté d'abord la carrière de Chantemerle à Corcelles, c'est parce que les unités de cet affleurement sont les plus simples, les plus faciles à reconstruire, et leur superposition donne l'aspect le plus « typique » de la stratification entrecroisée. Il faut remarquer cependant que, d'une part, l'unité « moyenne » reconstruite à Corcelles n'est pas exclusive dans la partie entrecroisée de la série étudiée et que, d'autre part, la structure entrecroisée n'est pas exclusive dans l'Hauterivien supérieur.

La description sommaire d'un petit nombre d'affleurements permettra de souligner les particularités de certaines unités et d'évaluer les

changements les plus importants qui s'opèrent latéralement dans la série (voir la situation et le profil des affleurements sur la figure 8).

A *Neuchâtel 1* (chantier du Crêt-Taconnet, vis-à-vis de la Gare ; coord. : 557 350/204 250), la direction moyenne du transport = N 148° E, est presque la même qu'à Corcelles. Les unités U⁰, U¹, U², U³ sont du même type que les unités définies à Corcelles.

L'unité U⁴ présente, par contre, une particularité : après avoir reconstruit l'allure des couches, j'ai trouvé que ces dernières étaient *convexes vers le haut* et non pas concaves comme dans les autres unités. Cela signifie que la forme concave des couches n'est pas exclusive, bien que prépondérante.

L'unité U⁵ présente une stratification externe irrégulière et essentiellement parallèle aux surfaces F, mais la stratification interne (donc la « microstratification ») semble oblique à l'ancienne horizontale. Sur U⁵ (qui annonce déjà des changements dans la sédimentation), on trouve une *couche marneuse* désignée M¹. Elle est très caractéristique, étant composée d'une couche inférieure (80 cm de marnes tendres et feuilletées, de couleur rouge violacé et se désagrégeant facilement) et d'une couche supérieure (40 cm de marno-calcaire très compact et dur, de couleur brun roux et de granulométrie fine).

L'unité U⁶ est une unité complexe, très différente de ce que nous avons vu jusqu'ici. Son épaisseur est de 3,5 m environ, et la structure sédimentaire change de bas en haut de la façon suivante :

sur les marnes M¹ reposent des calcaires oolithiques, de granulométrie moyenne à fine, en couches régulières, minces et parallèles à M¹ (stratification interne parallèle à la stratification externe).

20 cm à 30 cm plus haut ces couches commencent à devenir irrégulières et lenticulaires, mais encore essentiellement parallèles à M¹ (stratification interne devient oblique à la stratification externe).

1 m environ au-dessus des marnes M¹, les couches (stratification externe) deviennent obliques par rapport à M¹ ; elles forment de petites unités à stratification oblique qui, en se superposant, font apparaître la stratification entrecroisée. Les dimensions latérales de ces petites unités ne dépassent pas, en général, 5 m et leur épaisseur maximum est de 40 cm ou 50 cm. Les couches forment une « auge » concave vers le haut, et la direction des couches rabattues change de 180° entre les deux extrémités de l'unité, c'est-à-dire en l'espace de 5 m. Il s'agit donc d'unités complètes, mais 15 fois plus petites que celles analysées à Corcelles.

U⁷ est une grande unité du type défini à Corcelles.

L'unité U⁸ présente une stratification régulière et parallèle aux surfaces F. La roche est finement oolithique et plus claire que la Pierre jaune typique.

Les niveaux M² et M³ qui apparaissent au-dessus de U⁸ ne sont pas de véritables couches marneuses : ce sont des zones enrichies en matières argileuses et ferrugineuses et contenant des « grumeaux » calcaires. Ces niveaux ont un aspect « conglomératique » et font penser à des surfaces de remaniement.

La roche qui est supérieure à M^2 est différente de la Pierre jaune en ce sens qu'elle est plus finement oolithique, plus claire et beaucoup plus compacte ; elle est dure et difficile à casser.

La présence des couches M^2 et M^3 , l'absence de la stratification entrecroisée, ainsi que le changement de faciès indiquent qu'on est au sommet de la Pierre jaune. Dès lors les niveaux M^2 et M^3 prennent une certaine importance car ils pourront marquer à d'autres affleurements le sommet de l'Hauterivien supérieur, et ainsi les profils d'affleurements éloignés les uns des autres pourront être plus facilement comparés.

L'épaisseur de la série observée était de 26 m environ, dont la structure entrecroisée occupe plus de 20 m. La structure sédimentaire est toutefois plus variée qu'à Corcelles, et l'on peut distinguer trois complexes dans cette série :

1. un complexe inférieur à M^1 ayant une structure presque uniquement entrecroisée et une épaisseur de plus de 12 m ;
2. un complexe « médian » entre M^1 et M^2 où la structure entrecroisée n'existe qu'au milieu ;
3. un complexe supérieur caractérisé par les niveaux M^2 et M^3 , par la stratification parallèle, par la couleur plus claire des roches et aussi par leur dureté.

En allant vers l'E, on retrouve facilement les niveaux caractéristiques M^1 et M^2 . Ainsi au Mail (affleurement *Neuchâtel 3* ; coord. : 562 850/205 700), on voit très bien que les niveaux M^2 et M^3 marquent véritablement le sommet de l'Hauterivien supérieur, car au-dessus de ces niveaux commencent les calcaires clairs ayant un faciès urgonien typique. La nature des unités a changé dans ce sens qu'elles sont plus minces et moins larges.

A *Hauterive 1* ; coord. : 564 850/207 200, les marnes M^1 ont changé : les deux complexes entrecroisés, inférieur et médian, ne sont plus séparés que par une couche mince et discontinue de marne jaune ocre. La roche qui est sur M^2 est encore plus claire et plus dure que la Pierre jaune typique, mais les couches deviennent beaucoup plus irrégulières qu'à Neuchâtel.

Un peu plus à l'E, on retrouve, à la base de la carrière de Vardes (affleurement *Saint-Blaise 1* ; coord. : 565 300/207 650), les marnes M^1 avec exactement le même faciès qu'à Neuchâtel, mais contenant à leur base des rognons siliceux. Or les « rognons siliceux » marquent la limite inférieure de la Pierre jaune, donc sous le niveau M^1 ou bien il n'y a pas de Pierre jaune ou bien il n'y en a que très peu. Sur les marnes on trouve trois unités à stratification oblique typique. Au-dessus on reconnaît les niveaux ferrugineux M^2 et M^3 ainsi que les unités U^3 , U^4 et U^5 . Ces dernières contiennent des couches irrégulières et lenticulaires, réglées essentiellement parallèlement aux surfaces F. Ces couches étant particulièrement bien visibles, on découvre aisément que la stratification

interne est oblique à la stratification externe et, à l'échelle des microstrates, on pourrait parler de stratification entrecroisée. Un autre fait remarquable est que les unités supérieures, aussi, sont formées par la Pierre jaune typique. Cela signifie que le faciès typique de la Pierre jaune monte au-dessus du niveau M², contrairement à ce qui s'est passé à Neuchâtel. En outre l'épaisseur de la partie franchement entrecroisée a singulièrement diminué : elle est de 5,5 m !

A *Saint-Blaise 2* ; coord. : 566 250/207 700, on retrouve la couche caractéristique M¹ tout à fait à la base de la Pierre jaune. En haut le niveau M² marque le sommet de l'Hauterivien, mais cette fois la structure entrecroisée monte presque jusqu'au sommet.

A l'E de Saint-Blaise, je n'ai pu nulle part retrouver la couche marneuse M¹.

A *Cornaux 1* ; coord. : 568 000/210 150, on trouve à la base de la Pierre jaune une roche très compacte, de couleur brun gris, de granulométrie fine et contenant beaucoup de glauconie. Il s'agit de la transition qui existe, à cet endroit, entre la Pierre jaune typique et les marnocalcaires hauteriviens (les carriers appellent cette roche « le roc »). La stratification de cette roche est essentiellement parallèle.

Chose intéressante : la première unité à stratification oblique se développe encore dans le faciès du « roc » ; la Pierre jaune typique n'apparaît que dans les unités U¹, U², U³ et continue au-dessus du niveau M². Les unités U⁴ et U⁵, à faciès typiquement Pierre jaune, ont des couches très irrégulières : on voit très bien que la stratification externe est le résultat de l'érosion, mais elle est encore plus ou moins parallèle aux surfaces F. Les surfaces ondulées limitant les couches recourent nettement les microstrates obliques qui « s'entrecroisent » à la limite de deux couches voisines : cette structure forme la transition entre la stratification franchement entrecroisée et la stratification « parallèle ». L'épaisseur de la partie entrecroisée est de 11 ou 12 m.

Au *Landeron 1* ; coord. : 571 200/212 200, la partie franchement entrecroisée devient encore plus mince : elle n'a qu'une épaisseur de 8 m environ. Sur le « roc » formant la base de la carrière et de la Pierre jaune, on trouve trois unités peu épaisses, formées de couches très irrégulières, mais encore obliques aux surfaces F. Sur ces trois unités, on observe le niveau ferrugineux et « conglomératique » M², auquel est superposée une très belle couche lumachellique contenant surtout des Brachiopodes. Au-dessus de M², la Pierre jaune continue encore, mais cette fois elle a une structure sédimentaire franchement entrecroisée. Les unités sont minces (50 cm à 70 cm), larges de 10 à 20 m, avec une stratification oblique parfaitement développée. Les surfaces séparant deux couches voisines sont parallèles les unes aux autres et légèrement concaves vers le haut. (Le rayon de courbure autour de l'axe *a* paraît plus grand que dans les unités des autres affleurements.)

Cependant l'épaisseur de ce complexe supérieur à M² (à faciès de Pierre jaune et à stratification entrecroisée) ne dépasse pas 3 m ou 4 m, car tout près de la carrière apparaît le calcaire clair et compact du faciès urgonien typique.

4. CONCLUSIONS

Après avoir examiné la structure sédimentaire de la Pierre jaune sur un petit nombre d'affleurements, j'aimerais distinguer trois groupes de structures sédimentaires qui me paraissent fondamentalement différentes.

- I. La stratification externe (donc la forme des couches) est oblique aux surfaces représentant l'ancienne horizontale (surfaces F, couches marneuses).
- II. La stratification externe (qu'elle soit régulière ou irrégulière) est essentiellement parallèle à l'ancienne horizontale, mais la stratification interne (donc le contenu des couches) est essentiellement oblique à l'ancienne horizontale.
- III. La stratification externe et la stratification interne sont concordantes et toutes les deux sont parallèles à l'ancienne horizontale.

Type structural I.

A ce type appartiennent toutes les unités qui forment la stratification entrecroisée proprement dite dans la Pierre jaune.

Ces unités peuvent être très différentes : leur largeur peut varier entre 5 m et 80 m, leur épaisseur entre 40 cm et 5 m ; elles peuvent être composées de couches régulières ou irrégulières, concaves ou convexes vers le haut ; elles pourraient représenter des anciens chenaux sous-marins ou des « sandbars » avançant sur le fond de la mer, mais elles signifieront, toutes, une chose essentielle : la présence d'un régime de courants et l'excès de matériaux meubles, d'une certaine granulométrie, sur le fond de la mer.

La direction moyenne du transport est très facile à trouver si l'on mesure les couches dans un assez grand nombre d'unités. Si la direction du transport n'a pas varié dans le temps, les pôles des couches mesurées donnent une configuration hémicirculaire où la différence entre les directions extrêmes ne dépasse pas 180° (fig. 3). Si la différence entre les directions extrêmes dépasse 200° à 220°, cela signifie que la direction du transport géologique a varié dans le temps. Pour préciser les variations temporelles de la direction du transport, cette dernière doit être déterminée dans chaque unité.

La détermination de la *direction du transport dans une unité* exige la reconstruction tridimensionnelle de sa forme et de son contenu. Pour ce faire les parties cachées de l'unité doivent être aussi bien prises en considération que les parties visibles : on doit avoir une idée de ce qui manque de l'unité pour pouvoir proposer une direction de transport.

Je dois remarquer qu'aucune des classifications en usage ne sera employée ici pour désigner les différents « types » d'unités rencontrés. Ces classifications se basent, en général, sur l'aspect que présente l'unité coupée par une falaise. Or, les couches étant des surfaces courbes, l'unité peut présenter, dans des coupes différemment orientées, des aspects fort différents, allant du « simple cross-stratification » jusqu'au « through cross-stratification ».

Voici une brève énumération (mais non classification) des principaux types d'unités rencontrées :

1. Les unités les plus grandes ont une épaisseur de 3 m à 5 m, une largeur allant de 60 m à 80 m et des couches très régulières, de forme parabolique et concaves vers le haut. Les unités sont décalées les unes par rapport aux autres, souvent aussi différemment orientées, mais la différence ne dépasse, en général, pas 60°. Vu la régularité des couches, le mouvement du milieu et l'apport devaient être remarquablement stables pendant la sédimentation. On observe ces unités surtout aux environs de Corcelles et de Neuchâtel.
2. Ces unités sont moins épaisses que les précédentes (1 m à 3 m), mais sont encore relativement larges (30 m à 60 m). Les couches sont parfois irrégulières, mais présentent encore une certaine courbure autour de l'axe a : le changement de direction des couches est statistiquement régulier et de sens déterminable. Les couches sont, en général, concaves vers le haut, sauf quelques exceptions (voir l'unité U⁴ à Neuchâtel 1). L'irrégularité des couches dénote une certaine hétérogénéité dans le mouvement du milieu ou dans la quantité de l'apport. Ces unités sont les plus nombreuses, surtout dans la partie E de la série.
3. Unités très minces (50 cm à 70 cm), larges de 10 m à 20 m environ (voir l'unité U⁴ au Landeron 1), formées de couches régulières, minces et relativement peu courbées autour de la direction de transport. Les unités sont, en général, réglées parallèlement les unes aux autres, avec décalage latéral.
4. Les unités les plus petites ont une épaisseur de 40 cm à 50 cm, une largeur de 4 m à 5 m et des couches bien développées et concaves vers le haut (voir l'unité U⁶ à Neuchâtel 1). Elles sont réglées parallèlement les unes aux autres, avec décalage latéral. Ces unités représentent la transition entre les unités précédentes et la stratification « irrégulière » du type suivant.

Type structural II.

A ce type appartiennent les unités ayant une stratification à l'aspect « irrégulier ». Cette « irrégularité » ne concerne, probablement, que la stratification externe, donc la forme des couches. La stratification interne étant oblique à l'ancienne horizontale, un certain mouvement devait exister dans le milieu, mais les rapports entre courant, quantité d'apport et granulométrie devaient être tels que toute accumulation considérable en couches obliques était impossible.

Type structural III.

A ce type appartiennent les couches dues à une sédimentation « normale » : les rapports entre mouvement du milieu, quantité d'apport et granulométrie devaient être tels que les sédiments pouvaient être épanchés en couches plus ou moins horizontales et parallèles les unes aux autres. Une telle structure sédimentaire est présente dans les marnes, marno-calcaires et dans le « roc », ainsi qu'au sommet de la Pierre jaune à Neuchâtel.

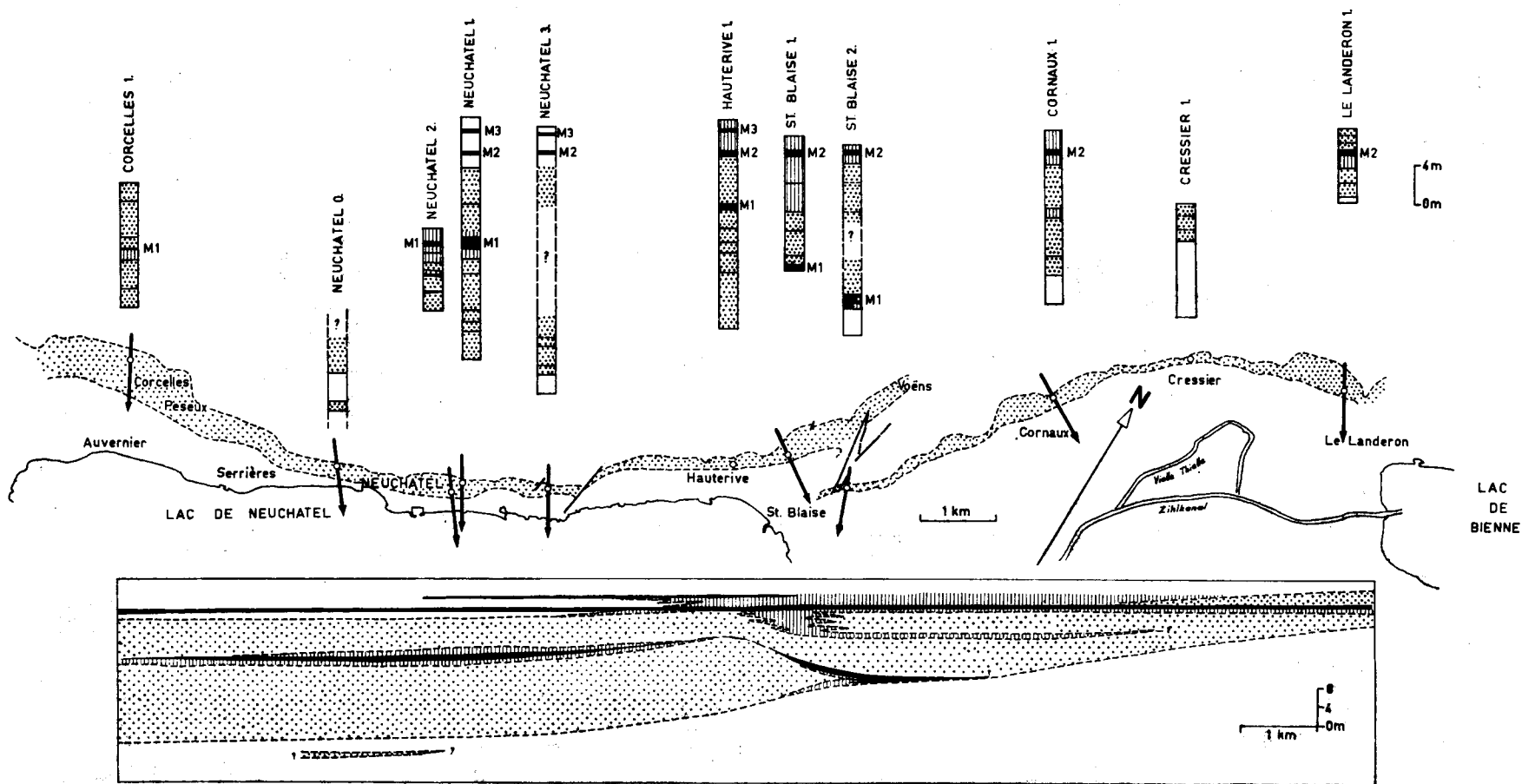


Fig. 8

Profils et coupe : pointillé = stratification entrecroisée (type structural I).
 hachure = stratification « irrégulière » (type structural II).
 blanc = stratification « parallèle » (type structural III).

Esquisse topographique : pointillé = Hauterivien supérieur.
 flèches = direction moyenne du transport.

Ces trois types de structures sédimentaires correspondent certainement à des conditions génétiques assez différentes ; par conséquent leur distribution verticale et horizontale dans la Pierre jaune pourra nous renseigner sur l'ancien « paysage sédimentaire ».

Sur la figure 8, j'ai extrapolé les observations locales en une coupe « régionale » montrant les changements d'épaisseur des trois types structuraux I, II et III définis ci-dessus. Les profils des différentes carrières sont disposés de telle façon que les couches M² soient au même niveau. (Il va sans dire qu'une telle « parallélisation » exigerait des preuves paléontologiques que je ne suis, malheureusement, pas en mesure de fournir.)

La coupe extrapolée montre que les masses ayant une structure franchement entrecroisée ne sont pas continues uniformément. Leur épaisseur varie considérablement, et l'on peut parler de « paquets » d'unités entrecroisées, séparés par des zones ayant une autre structure sédimentaire.

Généralisant la subdivision établie à Neuchâtel 1, nous pouvons distinguer :

1. Un paquet inférieur qui se trouve sous la couche marneuse M¹ ;
2. Un paquet complexe médian qui se trouve entre la couche M¹ et le niveau M² ;
3. Une série supérieure qui se trouve au-dessus de M².

Essayons de traduire cette image extrapolée en *conditions génétiques* :

Après la sédimentation des marnes de l'Hauterivien inférieur (milieu « calme », granulométrie fine des sédiments apportés, etc.), la teneur en carbonates du milieu et la granulométrie des sédiments meubles devaient augmenter : c'est la série des marno-calcaires qui se dépose. Déjà, dans ces marno-calcaires, on trouve des zones plus grossières à stratification oblique (sous la Colline du Château, par exemple), mais ce ne sont que des signes précurseurs montrant l'existence d'une zone à régime de courants située vers le N-NW. Cette zone se rapproche, toutefois, et l'on constate l'établissement d'un régime de courants permanents : l'énergie des courants et la quantité des matériaux apportés augmentent, et on assiste à la formation du « paquet » entrecroisé inférieur.

Dans la région étudiée, ce paquet atteint son épaisseur maximum aux environs de Corcelles et disparaît à l'E de Saint-Blaise : c'est une lentille très large et extrêmement mince (sur la coupe de la figure 8 les épaisseurs sont exagérées de 50 fois par rapport aux distances horizontales !), qui a son « milieu » vers Corcelles et son « bord » vers Saint-Blaise. Les unités de ce paquet sont très grandes et très régulières aux environs de Corcelles, moins régulières et plus minces vers Hauterive et Saint-Blaise. Donc : apport considérable, courants forts et uniformes dans le temps vers l'W ; mouvements du milieu plus faibles et moins uniformes, accumulation peu considérable vers le NE. Il s'agit probablement d'un delta sous-marin très mince, très plat, d'extension latérale considérable et formé, vraisemblablement, devant l'embouchure d'un

systeme de fleuves. D'après la direction du transport des unités, les rivages devaient se situer vers le N-NW de ce « delta ».

Ce régime change avec la sédimentation des marnes rouge violacé. Leur formation pourrait avoir plusieurs causes :

1. un reflux de la mer (« transgression ») et le recul des rivages vers le N-NW ;
2. la source des sédiments grossiers était momentanément épuisée ;
3. l'affaiblissement ou la disparition des courants ;
4. grande quantité de matériaux argileux apportés depuis la terre ferme ;
5. les combinaisons des quatre possibilités mentionnées ci-dessus.

L'épaisseur de la couche M^1 n'est pas constante partout : à Corcelles, elle est à peine marquée et discontinue ; à Hauterive 1, elle change de faciès et devient de nouveau discontinue. Elle s'épaissit à deux places : à Neuchâtel et à Saint-Blaise. On dirait qu'elle s'est déposée dans deux « bassins » plus tranquilles, séparés par deux zones plus mouvementées où un certain régime de courants et d'apport plus considérable persistait encore.

Après la sédimentation de la couche M^1 , le régime de courants et d'apport plus grossier semble se rétablir et se généraliser de nouveau : c'est la série entre M^1 et M^2 qui se dépose pendant cette période. En regardant les changements d'épaisseur de cette série, on s'aperçoit que le centre d'apport et le maximum de « subsidence » s'est déplacé vers l'E. La série n'est pas homogène, d'ailleurs, car on peut distinguer trois « paquets » assez bien séparés. On voit en outre que cette série médiane s'amincit aussi vers l'E, comme le « paquet » inférieur, mais s'étend beaucoup plus loin vers Le Landeron que ce dernier. On pourrait dire qu'un second « delta » sous-marin est venu s'étaler sur le premier en le débordant vers l'E. Mais ce deuxième « delta » n'est pas homogène ; il est composé de plusieurs « lentilles » à structure entrecroisée, ce qui dénote une certaine hétérogénéité spatiale et temporelle dans l'apport et dans le mouvement du milieu.

La formation de la couche M^2 met fin à cette deuxième période. Son apparition simultanée sur une vingtaine de kilomètres environ laisse supposer une certaine uniformité des conditions génétiques. Son aspect « conglomératique » fait penser à une surface de remaniement. Il est possible que l'arrêt provisoire de la « subsidence » ait déterminé la formation d'une surface d'équilibre où nulle déposition n'était plus possible et où les mouvements du milieu (courants ? vagues ? marais ?) ne pouvaient s'employer qu'à déranger les sédiments déjà déposés.

Après ce bref arrêt, la sédimentation active reprend de nouveau sur toute l'étendue de la région étudiée : c'est la formation de la série supérieure à M^2 . Aux environs de Neuchâtel, ce n'est plus la Pierre jaune typique qui se dépose, mais c'est une sorte de roche finement oolithique, blanchâtre et plus compacte que la Pierre jaune et, surtout, ayant une

structure sédimentaire différente : il y a concordance entre les stratifications externe et interne, et les deux semblent parallèles à l'ancienne horizontale.

Vers Hauterive, on retrouve le même faciès qu'à Neuchâtel (finement oolithique, blanchâtre et compact), mais la structure sédimentaire est déjà plus dérangée : parfois les couches sont obliques à l'ancienne horizontale, parfois elles sont « irrégulières » seulement.

A Saint-Blaise 1, les couches posées sur M² sont de la Pierre jaune typique, à stratification « irrégulière » (structure sédimentaire du type II). A Cornaux, la Pierre jaune continue encore quelques mètres au-dessus de M² ; elle a une structure sédimentaire très irrégulière.

Enfin, au Landeron, M² est surmonté par la Pierre jaune à stratification entrecroisée et ayant à sa base une couche lumachelique. La présence de cette série est très significative : elle indique en effet, que le centre du régime de courants et d'apport de sédiments plus grossiers s'est encore déplacé vers le NE-E. Autrement dit la Pierre jaune entrecroisée, supérieure à M², des environs du Landeron, pourrait représenter le bord d'un troisième « delta » formé beaucoup plus à l'E que les deux inférieurs.

La structure sédimentaire « irrégulière », observée entre Cressier et Hauterive, pourrait former la transition entre le « delta » à régime de courants et le « large » représenté par la stratification « parallèle » des environs de Neuchâtel. (Il faut mentionner, toutefois, que même dans la région du « large », il devait y avoir une certaine récurrence du régime de courants, car on observe quelques unités à stratification oblique aussi dans l'Urgonien inférieur.)

En résumant ce qui précède, on peut dire que la plus grande partie de la Pierre jaune a été déposée dans un delta sous-marin complexe, formé de plusieurs petits deltas plus ou moins lenticulaires et décalés les uns par rapport aux autres. Au cours de la sédimentation le centre des deltas s'est déplacé vers l'E-NE, et leur épaisseur diminuait considérablement (Les « paquets » supérieurs sont moins épais que les « paquets » inférieurs.) C'est pourquoi on observe une nette diminution de l'épaisseur de la partie franchement entrecroisée vers l'E-NE.

Quant à l'extrémité W de ce delta complexe, on trouve quelques renseignements dans le profil stratigraphique et lithologique de la Pierre jaune levé par JORDI (1955), à Yverdon. Ce profil ne montre que deux niveaux à stratification franchement entrecroisée (ayant des épaisseurs de 4 m et 1,5 m), séparés par une couche marneuse relativement épaisse (4,5 m) et par la Pierre jaune à stratification parallèle.

Ainsi l'épaisseur de la roche ayant une structure entrecroisée diminue aussi bien vers le Landeron (donc vers le NE) que vers Yverdon (vers le SW). Cela signifie que la masse entrecroisée de la Pierre jaune avait été vraiment déposée dans une sorte de delta complexe, extrêmement plat et allongé, qui ne devait probablement jamais être en « relief », c'est-à-dire que son épaisseur ne devait jamais dépasser de beaucoup celle des sédiments déposés autour de lui.

Enfin une dernière remarque : puisque le niveau M² marquait à Neuchâtel la base de l'étage barrémien, je peux conclure (si le parallélisme des profils est juste) que le faciès typique de la Pierre jaune n'est pas réduit à l'Hauterivien supérieur, mais il monte, à l'E et NE du Landeron, jusque dans le Barrémien inférieur. Mon opinion rejoint celle de DE LORIOU qui concluait, il y a un siècle, que la partie supérieure de la Pierre jaune du Landeron appartient bel et bien à l'Urgonien inférieur et non pas à l'Hauterivien supérieur.

Résumé

La différenciation rationnelle des éléments de la structure sédimentaire a permis de distinguer dans l'Hauterivien supérieur un corps géologique à structure deltaïque.

Après l'analyse des unités formant la stratification entrecroisée, l'auteur présente la répartition de la stratification entrecroisée dans l'Hauterivien supérieur, aux environs de Neuchâtel.

L'extrapolation des observations locales permet de supposer qu'il s'agit d'un ancien delta « sous-marin » complexe, où les sédiments avaient été accumulés par des courants venus du N-NW. Le centre d'apport semble s'être déplacé vers l'E-NE pendant la sédimentation.

Zusammenfassung

Das Studium der Ablagerungsstrukturen erlaubt, im oberen Hauterivien eine Gruppe mit Deltabau auszuscheiden.

Nach der Analyse der Kreuzschichtung wird die Verbreitung derselben im Oberhauterivien der Umgebung von Neuchâtel dargelegt.

Die Extrapolation der örtlichen Beobachtungen erlaubt die Vermutung, es handle sich um ein komplexes untermeerisches Delta, aufgeschüttet durch Strömungen aus N-NW. Das Schüttungszentrum scheint sich im Verlaufe der Sedimentation gegen E-NE verlagert zu haben.

Summary

By a rational differentiation of the elements of its sedimentary structure, it has been possible to recognise in the Upper Hauterivien a geological body structured like a delta.

An analysis of the units that form an intercrossed stratification, enables the A. to establish the distribution of such structures in the Upper Hauterivien from around Neuchâtel.

Extrapolation of local results leads to the supposition that it is an ancient « sub-marine » delta complex in which sediments were accumulated by currents from N-NW. The centre of material deposition appears to have been displaced towards E-NE during sedimentation.

BIBLIOGRAPHIE

- BAUMBERGER, E. et MOULIN, H. — (1898). La série néocomienne à Valangin. *BSNT*. 26 : 150-210.
- GIGNOUX, M. — (1950). Géologie stratigraphique. *Paris* (Masson & C^{ie}).
- ILLIES, H. — (1949). Die Schrägschichtungen im fluviatilen und litoralen Sedimenten, ihre Ursachen, Messung und Auswertung. *Mitt. Geol. Staainst. Hamburg* 19 : 89-109.
- JORDI, H. A. — (1955). Geologie der Umgebung von Yverdon (Jurafuss und mittelländische Molasse). *Matériaux pour la Carte Géologique de la Suisse*. Livraison (n.s.) n° 99.
- LORIOU, P. DE. — (1869). Monographie paléontologique et stratigraphique de l'étage urgonien inférieur du Landeron. *Mém. SHSN*. 23 : 124.
- PICARD, K. — (1953). Zur Auswertung der Kreuzschichtung in fluviatilen Sedimenten. *Geologische Rundschau* 41 : 383-386.
- TWENHOFEL, W. H. — (1926). Treatise on Sedimentation. *Baltimore*.
- WEGMANN, E. C. — (1943). La pierre jaune ; orientation géologique. *BSN*. 68 : 149.
- WURSTER, P. — (1958). Geometrie und Geologie von Kreuzschichtungskörpern. *Geologische Rundschau* 47 (1) : 322-359.
-