

Zeitschrift:	Mémoires de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles
Herausgeber:	Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles
Band:	11 (1989)
Artikel:	Révision de l'étage hauterivien (région-type et environs, Jura franco-suisse)
Autor:	Remane, Jürgen
Kapitel:	3: Description lithologique des coupes
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-100766

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 28.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

<i>Mémoires de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles</i>	Tome XI	p. 19-48, 14 fig.	Neuchâtel, 1989
---	---------	-------------------	-----------------

III. DESCRIPTION LITHOLOGIQUE DES COUPES

DESCRIPTION DE PROFILS DANS L'HAUTERIVIEN DE LA RÉGION NEUCHÂTELOISE, DU MONT-DE-CHAMBLON ET DES ENVIRONS DE SAINTE-CROIX (cantons de Neuchâtel et de Vaud, Suisse)

par

Jürgen REMANE, Robert BUSNARDO, Jean CHAROLLAIS, Bernard CLAVEL et Jean-Pierre THIEULOUY,

Recherche subventionnée
par le Fonds national suisse de la recherche scientifique (crédit N° 2.434.075)

ABSTRACT.—In the historical type region of the Hauterivian around Neuchâtel there is no section showing the whole series which makes up this stage according to its definition by RENEVIER (1874). The present article gives lithostratigraphic descriptions of 14 partial profiles, covering the interval from the Valanginian Calcaire roux up into the “Urgonien blanc” (Late Hauterivian / Barremian). Together with sections from the Southern Jura Mountains, these outcrops have provided materials for a biostratigraphic revision of the historical type Hauterivian based on ammonites, echinoids, foraminifera, ostracods, calcareous algae, palynomorphs, and nannoplankton. All these groups are dealt with in other contributions to this volume.

In order to obtain better information about the Marne bleue, several sections were dug up. Our lithostratigraphic investigations have provided some new facts and in other cases allow to decide controversial questions. Thus the Marne à Astieria is not an independent formation. Its yellow colour is simply due to a contamination of the lowermost Marne bleue by iron oxides washed out of the underlying Calcaire roux. Lithologically, the zone marno-calcaire (marly limestones) is much closer to the limestones of the overlying Pierre jaune than to the marls of the underlying Marne bleue. As a matter of fact, the zone marno-calcaire can often not be separated from the Pierre jaune. The Pierre jaune grades continuously upwards into the “Urgonien jaune” so that there is no mappable boundary. In the upper Marne bleue and in the zone marno-calcaire glauconitic hard-grounds with crustacean burrows were observed at several places. They seem, however, to be local phenomena and do not indicate major gaps. The main condensation with submarine erosion is situated at the top of the Calcaire roux, at the Valanginian-Hauterivian transition.

RÉSUMÉ. — Les environs de Neuchâtel, région du stratotype historique de l'Hauterivien, ne fournissent cependant aucune section complète de l'étage tel qu'il fut défini par RENEVIER (1874). Cet article donne la description lithostratigraphique de 14 coupes partielles, couvrant l'intervalle (fig. 1) du Calcaire roux (Valanginien) jusqu'à l'"Urgonien blanc" (Hauterivien sup. / Barrémien). Avec d'autres coupes du Jura méridional, ces affleurements ont fourni les matériaux pour une révision biostratigraphique de l'Hauterivien historique, basée sur les ammonites, échinides, foraminifères, ostracodes, algues calcaires, palynomorphes et le nannoplankton, traités dans les autres contributions de ce volume. Pour obtenir une meilleure image de la Marne bleue, plusieurs fouilles furent exécutées. L'étude lithostratigraphique a fourni certains résultats nouveaux ou permet de trancher dans quelques questions controversées. Les Marnes à Astieria ne correspondent pas à une formation indépendante. Leur couleur jaune est plutôt due à une contamination par des oxydes de fer lessivés du Calcaire roux qui a affecté la partie basale de la Marne bleue. La zone marno-calcaire se rapproche, par sa nature lithologique, beaucoup plus de la Pierre jaune (dont elle est parfois impossible à séparer) que de la Marne bleue. Le passage de la Pierre jaune à l'Urgonien jaune est très progressif et ne correspond pas à une limite lithostratigraphique cartographiable. Dans la partie supérieure de la Marne bleue et dans la zone marno-calcaire on rencontre par endroits des fonds durcis glauconieux, minés de terriers de crustacés. Ces discontinuités paraissent être assez localisées et ne correspondent cependant pas à des lacunes majeures. Le niveau de condensation et d'érosion sous-marine maximales se situe au sommet du Calcaire roux.

SOMMAIRE

	Pages
Abstract — Résumé	19
1. INTRODUCTION	21
1.1. Répartition stratigraphique des profils	21
1.2. Problèmes de présentation	21
2. L'HAUTERIVIEN AU NORD DU LANDERON	22
2.1. Travaux antérieurs	22
2.2. Révision du profil LA3 de HAEFELI et al. (1965)	22
2.3. Le stand de tir à 300 m	22
2.4. Le stand de tir à 50 m	25
3. LA MARNIÈRE DE CRESSIER	27
3.1. Travaux antérieurs	27
3.2. Possibilités et limites de l'évaluation stratigraphique de la marnière	27
3.3. La succession des couches	29
4. L'HAUTERIVIEN DE VALANGIN	31
4.1. Travaux antérieurs	31
4.2. Révision du profil de la rive droite du Seyon	31
5. LE FORAGE 208 À NEUCHÂTEL ET LES AFFLEUREMENTS DU SECTEUR VAUSEYON-ÉCLUSE	32
5.1. Données techniques	32
5.2. Successions des couches et subdivision lithostratigraphique de la série du forage	33
5.3. La succession au portail N du tunnel de Prébarreau	33
5.4. Comparaison avec les données des auteurs antérieurs	35
6. BILAN DES OBSERVATIONS NOUVELLES DANS LE SECTEUR NEUCHÂTELOIS	35
7. RÉGION DE SAINTE-CROIX	36
7.1. Ravin du Colas	36
7.2. La fouille au NE de L'Auberson, au lieu-dit le Remblai	39
8. LA PIERRE JAUNE DU MONT-DE-CHAMBLON	42
8.1. Travaux antérieurs	42
8.2. Lithostratigraphie de la carrière des Uttins	42
9. LA LIMITÉ PIERRE JAUNE — «URGONIEN» À NEUCHÂTEL	43
9.1. Introduction	43
9.2. L'évolution des faciès au passage Pierre jaune — «Urgonien»	44
10. BIBLIOGRAPHIE	47

1. INTRODUCTION

1.1. Répartition stratigraphique des profils

Nulle part dans la région considérée il n'existe une coupe ininterrompue de l'Hauterivien. Comme nos prédécesseurs nous étions donc obligés de combiner les données de différents affleurements pour arriver à une image complète. La fig. 1 fait ressortir les étendues stratigraphiques des profils étudiés, exprimées en unités lithostratigraphiques courantes, telles qu'elles ont été définies dans l'introduction sur l'Hauterivien-type historique (REMANE, ce vol.).

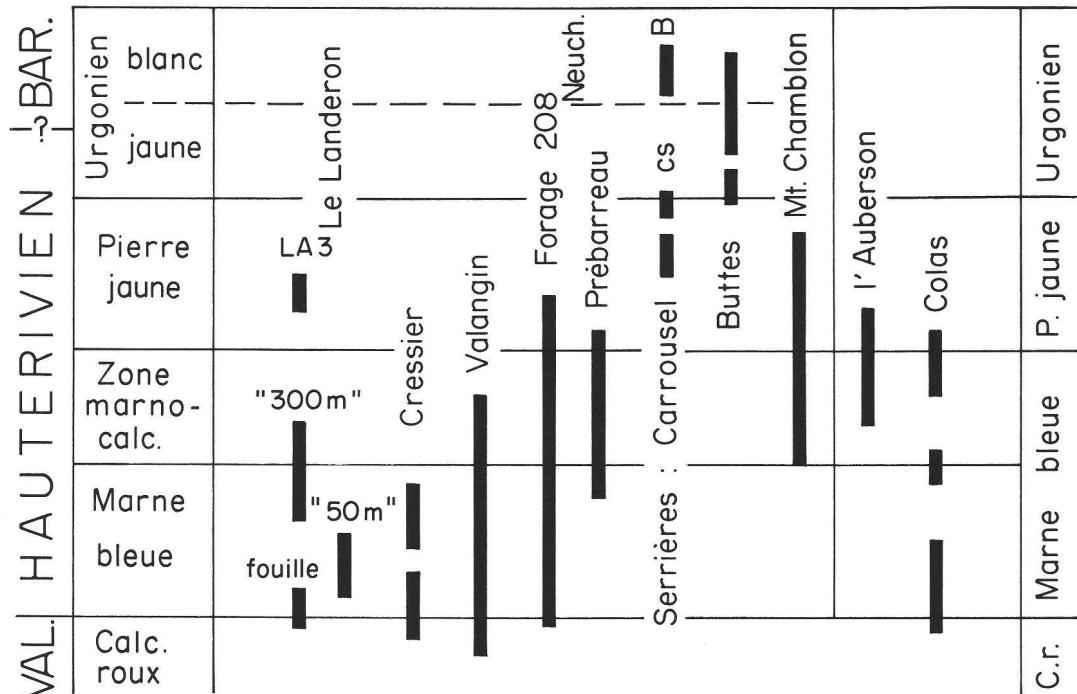


FIG. 1. — Aperçu des profils étudiés en détail; les barres indiquent leur extension stratigraphique par rapport aux unités lithostratigraphiques classiques

Synopsis of the sections described in this paper. The bars indicate their stratigraphic extension with respect to classical lithostratigraphic units.

1.2. Problèmes de présentation

Les successions de couches observées aux différents endroits ressortent des fig. 2 à 14. Ces dessins appellent cependant quelques remarques quant à la schématisation des observations de terrain qui a présenté certaines difficultés :

- 1) L'absence d'un litage distinct dans la Marne bleue et souvent aussi dans la Zone marno-calcaire; on a plutôt affaire à des ensembles noduleux dont les limites sont mal définies.
- 2) La participation de plusieurs observateurs à l'élaboration des lithologs schématiques. Inévitablement chacun à sa vue propre quant à certains détails qu'il faudrait mettre en relief ou au contraire supprimer.

D'autres auront certainement fait la même expérience, à quel point il peut être frustrant d'essayer de retrouver sur le terrain les termes d'une succession d'après une description détaillée publiée par un prédécesseur. Pour cette raison nous avons renoncé ici à une description détaillée des coupes. Les

commentaires complétant les dessins visent surtout à mettre en relief les niveaux-repères faciles à reconnaître, points de départ sûrs pour celui qui voudrait remesurer et échantillonner à nouveau nos coupes. Dans la même optique, la fiabilité des mesures d'épaisseur peut être soumise à un examen critique.

2. L'HAUTERIVIEN AU NORD DU LANDERON

(Atlas géol. de la Suisse 1: 25 000 feuille 1145 Bieler See)

2.1. Travaux antérieurs : DE LORIOL & GILLIÉRON (1869), BURRI (1956), KIRÁLY (1964), HAEFELI, MAYNC, OERTLI & RUTSCH (1965)

L'intérêt de ce secteur réside dans le fait que HAEFELI et al. (1965) y ont défini le «stratotype» le plus complet (relativement) de l'étage Hauterivien. Une première description détaillée de la succession des couches, basée sur les affleurements le long du ruz passant au lieu dit «La Scie» au N du Landeron, fut publiée par DE LORIOL & GILLIÉRON (1869). Tout en donnant une subdivision légèrement différente, BURRI (1956) en confirma les données. La subdivision de la série, adoptée par HAEFELI et al. (1965) est exactement la même que celle de BURRI (1956), quelques observations pétrographiques sont cependant ajoutées.

L'état actuel des «stratotypes» proposés par HAEFELI et al. laisse fort à désirer. La carrière LA2 dans la Zone marno-calcaire est devenue inaccessible par la construction d'une villa. Les affleurements qui, selon les coordonnées indiquées, correspondent à la coupe LA1 sont toujours assez bons, mais la série est fortement tectonisée en cet endroit et les conditions d'observation sont nettement plus favorables au stand de tir à 300 m, une bonne centaine de mètres plus au N. Ainsi, la seule coupe qui garde encore une certaine valeur est LA3, mais depuis quelques années cette carrière est en train d'être remblayée et ce profil aura bientôt disparu lui aussi.

2.2. Révision du profil LA3 de HAEFELI et al. (1965)

Petite carrière au bord N de la route menant du Landeron à Combes, coord. 571,14/212,23 (fig. 2b). Nous avons mesuré à nouveau la série à partir d'un zéro arbitraire fixé au sommet actuel de l'affleurement (fig. 2b). Les épaisseurs trouvées ne concordent pas toujours avec celles indiquées par BURRI (1956) et HAEFELI et al. (1965), c'est-à-dire que les deux intercalations centrimétriques de marne à 4 et à 5 m sont les seules qui puissent correspondre aux niveaux 10b et 10d de HAEFELI et al. (1965, fig. 10). Il s'agit de marnes argileuses plastiques, de couleur jaune, malheureusement dépourvues de microfaune diagnostique. La meilleure description de cet affleurement a été donné par KIRÁLY (1964: 199) qui a aussi observé le banc riche en «*Eudesia*», excellent repère pour celui qui cherche un point de départ sûr pour une révision de la coupe. Ce banc (2,0 à 2,2 m de la fig. 2b) sépare un ensemble supérieur de biosparite en petites plaquettes à stratification oblique très nette d'un ensemble irrégulièrement lité en bas, où la stratification oblique est le plus souvent mal développée ou absente. Ici, on observe de rares galets argileux dans la partie inférieure. Le niveau ayant livré la presque totalité de la faune dite «urgonienne» de DE LORIOL & GILLIÉRON (1869) se situe au-dessous de cet affleurement (DE LORIOL & GILLIÉRON, 1869: 103). On observera que toute la succession actuellement visible montre un faciès Pierre jaune tout à fait typique.

2.3. Le stand de tir à 300 m (coord. 571,48/212,48, fig. 3)

2.3.1. Situation générale (fig. 4b)

Il s'agit d'un affleurement artificiel (butte de tir). Une faille passant à la limite N a abaissé les couches un peu plus résistantes de la Zone marno-calcaire (= calcaire jaune néocomien de DE LORIOL & GILLIÉRON). Ainsi la partie supérieure de la Marne bleue se trouve en une position protégée; la succession des couches

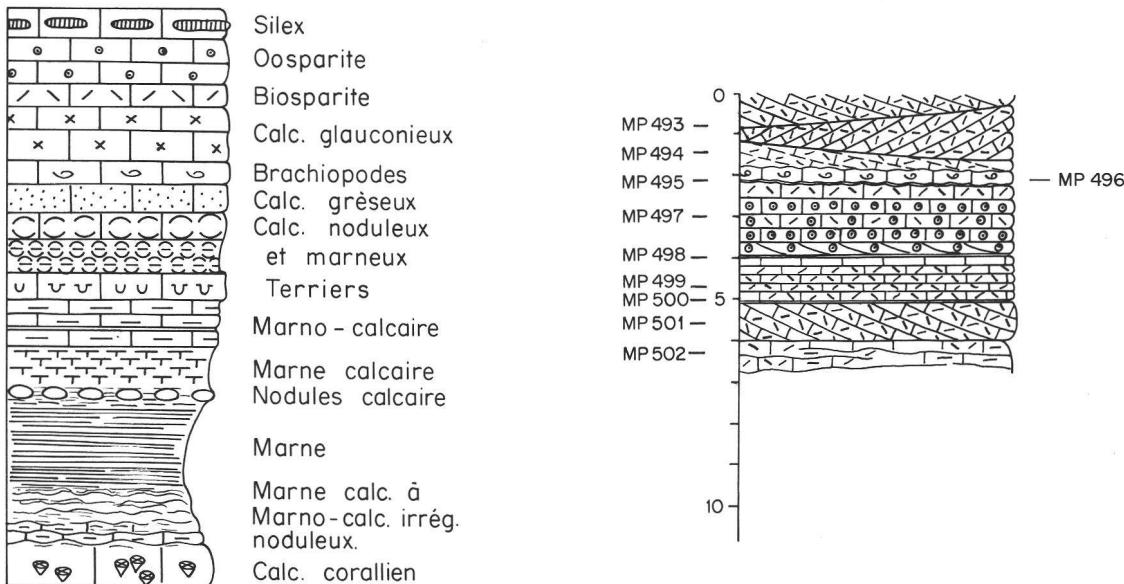


FIG. 2. — 2a) Légende lithologique pour les profils détaillés, fig. 2b à 14.

2b) Profil LA3 de HAEFELI et al. (1965) dans la Pierre jaune au NW du Landeron, faisant ressortir la position des échantillons par rapport à l'échelle métrique.

2a) Lithological legend for figs 2b-14; silex = chert, calc. glauconieux = glauconitic limestone, calc. gréseux = sandy 1st., calc. noduleux et marneux = nodular marly 1st., marno-calcaire = marly 1st., marne calcaire = calcareous marl, marne calc. à marno-calc. irrég. noduleux = calcareous marl to marly 1st., in irregular nodules.

2b) Profile LA3 of HAEFELI et al. (1965) showing a part of the Pierre jaune, NW of Le Landeron. Numbers indicate the position of samples with respect to the metric scale. MP 495-496, around 2 m indicate the most characteristic level of this succession, a biomicrite rich in Brachiopods, especially «*Eudesia*».

est tout à fait régulière, sans le moindre accident tectonique (fig. 3, voir aussi BUSNARDO & THIEULOY, fig. 2, ce vol.). Les conditions d'observation sont donc beaucoup plus favorables que dans la coupe LA1 de HAEFELI et al. (1965), ce qui nous a permis d'obtenir une image plus détaillée de la partie inférieure de la Zone marno-calcaire. D'un autre côté, en déblayant un peu la base, on arrive à étendre le profil presque 5 m plus bas que la coupe LA1. La coupe a été mesurée de haut en bas, à partir d'un zéro arbitraire correspondant au niveau le plus élevé qu'il était possible d'atteindre. Il va de soi que les épaisseurs sont plus approximatives dans la Marne bleue que dans la Zone marno-calcaire.

2.3.2. Corrélation avec les données des observateurs antérieurs

C'est le passage de la Marne bleue à la Zone marno-calcaire qui fournit le lien pour la comparaison avec les observations antérieures faites non loin d'ici (DE LORIOL & GILLIÉRON, 1869: 101, 102; BURRI, 1956: 620, 621; HAEFELI et al., 1965: 57). Juste en-dessous de la Zone marno-calcaire on observe une petite vire due à une intercalation d'environ 40 cm de marne grise presque sans nodules calcaires (entre 3 et 4 m de notre coupe, fig. 3). Vers le haut, environ 30 cm d'une marne jaune ou grise, bourrée de nodules calcaires, font la transition vers la Zone marno-calcaire. Ces deux couches ont été réunies sous le N° 15 par DE LORIOL & GILLIÉRON (1869: 101) tandis que BURRI (1956: 620) les a séparés (ses niv. 22 et 23, repris comme 2 et 3 par HAEFELI et al. (1965). BURRI (1956) et HAEFELI et al. (1965) ont placé la limite entre Marne bleue et Zone marno-calcaire entre les deux, tandis que DE LORIOL & GILLIÉRON (1869) ont encore inclus la couche supérieure, noduleuse, dans la Marne bleue, ce qui est plus logique: la teinte jaune de cette marne à nodules n'est pas constante (elle dépend de la circulation des eaux météoriques à travers les marno-calcaires) et les grainstones caractéristiques de la Zone marno-calcaire n'apparaissent que vers le toit. Nos observations sont

aussi en accord avec celles de nos prédecesseurs en ce qui concerne la présence d'une marne gris foncé, dure, très riche en nodules calcaires sous la petite vire mentionnée plus haut (entre 3,9 et 5,1 m de notre coupe). Nous y retrouvons à peu près le niveau 16 de DE LORIOL & GILLIÉRON (1869) ou, pas tout à fait équivalent, le niveau 21 de BURRI (1956) = 1 de HAEFELI et al. (1965).

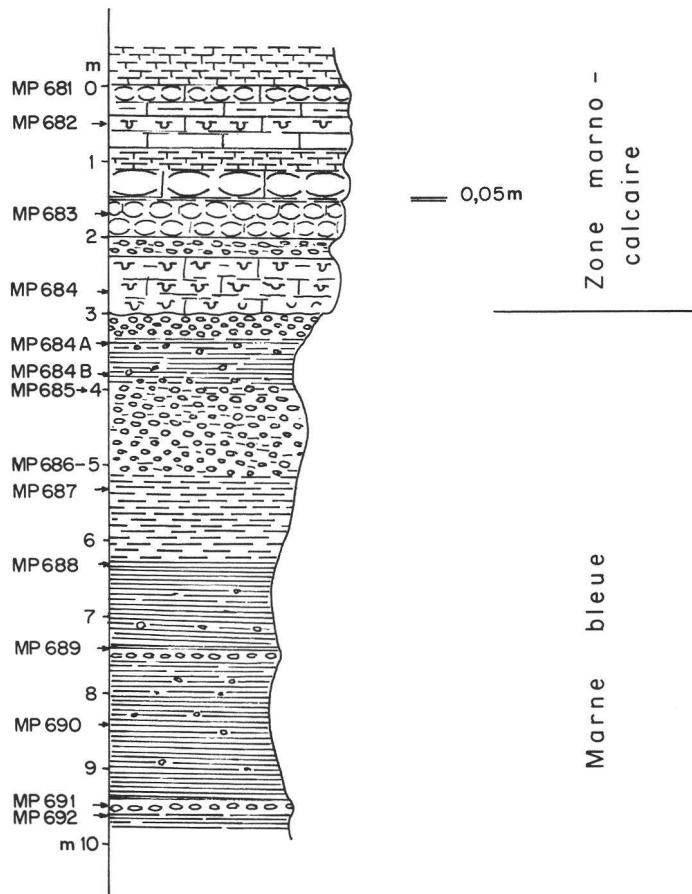


FIG. 3. — Succession au stand de tir au fusil à 300 m, au N du Landeron. La position des échantillons est indiquée en regard de l'échelle métrique.

Section of the shooting-stand over 300 m, N of Le Landeron. The positions of samples are plotted against the metric scale at left. The most characteristic levels are = 5 cm of yellow marls at 1,5 m and an intercalation of yellow marls rich in calcareous nodules between 2,00 and 2,25 m.

2.3.3. Stratigraphie de la Zone marno-calcaire

Les conditions d'affleurement plus favorables nous ont permis de mieux observer le passage de la Marne bleue à la Zone marno-calcaire. Vue de loin, la limite (à 3 m de notre coupe) paraît très nette mais en réalité elle n'est pas soulignée par un joint de stratification. On passe très rapidement de la marne à nodules calcaires à un calcaire dur, à peine marneux, déterminant ainsi un surplomb dans la paroi. Il s'agit d'un grainstone glauconieux dont les 10 à 20 cm inférieurs prennent un aspect noduleux, tant ils sont minés par les terriers de crustacés. Le diamètre des terriers atteint plusieurs centimètres et les parois sont imprégnées de glauconie. Cette bioturbation marque sans doute un arrêt de sédimentation mais l'absence d'une limite supérieure nette de cette partie du banc ne parle pas en faveur de la présence d'un véritable hard-ground.

Dans le reste de la série on observe surtout des calcaires (grainstones) légèrement marneux, avec une tendance à former des nodules qui peuvent atteindre des dimensions décimétriques. Il n'y a aucune trace de stratification oblique, tandis que les terriers ne manquent jamais totalement. En l'absence d'un vrai litage, toute schématisation graphique est plus ou moins arbitraire. Il n'y a que deux niveaux un peu plus caractéristiques pouvant servir de repère lors d'une révision de la coupe.

- 1) 5 cm de marne jaune schistoïde à passées glauconieuses à 1,5 m;
- 2) une marne jaune à petits nodules calcaires entre 2,0 et 2,25 m de notre coupe.

2.4. Le stand de tir à 50 m (= stand de tir au pistolet) et profils annexes

2.4.1. Deux affleurements plus une fouille ont été étudiés dans ce secteur :

- 1) La base de la Marne bleue qui affleure dans la paroi au-dessus de la falaise de Calcaire roux bordant le ruz, juste à l'E de l'accès au stand de tir (coord. 571,34 / 212,41, fig. 5a).
- 2) La butte de tir au stand de tir à 50 m (coord. 571,27 / 212,58, fig. 4a).
- 3) Une fouille exécutée à 60 m à l'W de la butte de tir qui avait pour but de dégager mieux le passage Calcaire roux-Marne bleue qu'on ne pouvait le faire dans la paroi au-dessus du ruisseau (coord. 571,21 / 212,40, fig. 5b).

Aucune de ces trois coupes n'a été étudiée antérieurement. Malheureusement il est impossible d'arriver à des corrélations précises entre elles. Cela est même vrai pour la fouille et la paroi au-dessus du ruisseau où on est pourtant deux fois en présence de la partie basale de la Marne bleue. Les niveaux noduleux sont trop mal définis pour fournir des repères fiables et les conditions d'altération sont très différentes. Mais, vraisemblablement, il y a un léger chevauchement entre la première coupe et celle du stand de tir.

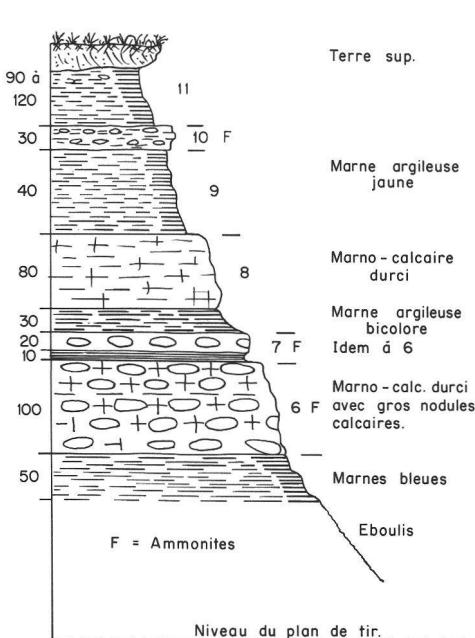


FIG. 4a

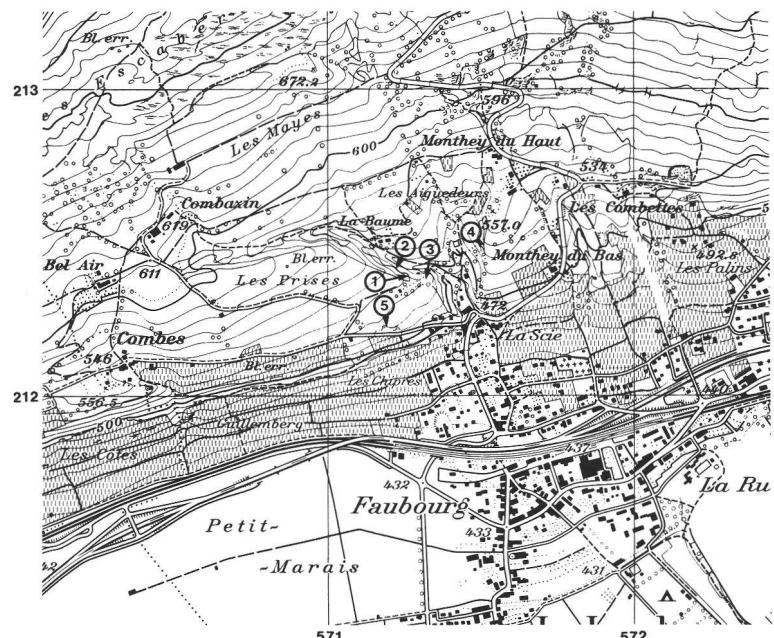


FIG. 4b

FIG. 4a. — Succession du stand de tir au pistolet, à 50 m, selon le lever de R. BUSNARDO, août 1984, après rafraîchissement du talus. Epaisseur en centimètres.

Marne bleue in the shooting-stand over 50 m, thicknesses in centimeters. Level 8 is the most characteristic one of the section, corresponding to a homogeneous indurated marly band at two thirds of the height of the escarpment.

FIG. 4b. — Plan de situation des coupes du secteur du Landeron. (Reproduit avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie du 22.11.1988.)

1. Coupe de tir au pistolet à 50 m (voir fig. 4a).
2. Fouille (tranchée) de la limite Calcaire roux-Marne bleue (voir fig. 5b).
3. Coupe de la falaise au-dessus du ruisseau (voir fig. 5a).
4. Coupe de tir au fusil à 300 m (voir fig. 3).
5. Coupe LA3 (HAEFELI et al., 1965); voir fig. 2b.

2.4.2. Le stand de tir au pistolet (coord. 571,27 / 212,58, fig. 4a)

Pour la butte de tir un excellent affleurement a été créé dans la partie inférieure de la Marne bleue qui est visible ici sur environ 5 m. La base de l'affleurement devrait se situer à quelques mètres au-dessus du toit du Calcaire roux. Nous reproduisons ici le lever de R. BUSNARDO (fig. 4a) qui fait bien ressortir l'alternance de marnes plus ou moins argileuses, plus ou moins riches en nodules calcaires. Le niveau le plus facile à reconnaître correspond à une marne plus dure et très homogène (niv. 8) qui forme une bande plus lisse aux deux tiers de la hauteur de la paroi sud. Les ammonites se trouvent à plusieurs niveaux dans cette succession (BUSNARDO & THIEULOUY, fig. 3, ce vol.).

2.4.3. Paroi au-dessus du ruisseau (coord. 571,34 / 212,41, fig. 5a)

Au-dessus de la falaise verticale formée par le Calcaire roux valanginien s'élève une pente boisée très raide et, à 40 m en aval de la bifurcation pour le stand de tir, un petit affleurement de Marne bleue apparaît. Assuré par une corde on arrive à l'élargir jusqu'au toit du Calcaire roux (fig. 5a). Fait intéressant : le Calcaire roux se termine par des bancs corrodés, noduleux et la base de la Marne bleue est formée par 10 cm de marne jaune, lithologiquement identique aux Marnes à *Astieria* pourtant rapportées manquantes dans ce secteur (BAUMBERGER, 1901; BURRI, 1956). Quant à la Marne bleue proprement dite, on est surtout frappé par l'importance des niveaux noduleux si bas dans la série.

2.4.4. La fouille à l'W du stand de tir (coord. 571,21 / 212,40, fig. 5b)

Une fouille partant du ruz dans le pré, 60 m à l'W de la butte de tir, devait permettre d'étudier plus en détail le passage Calcaire roux - Marne bleue (fig. 5b).

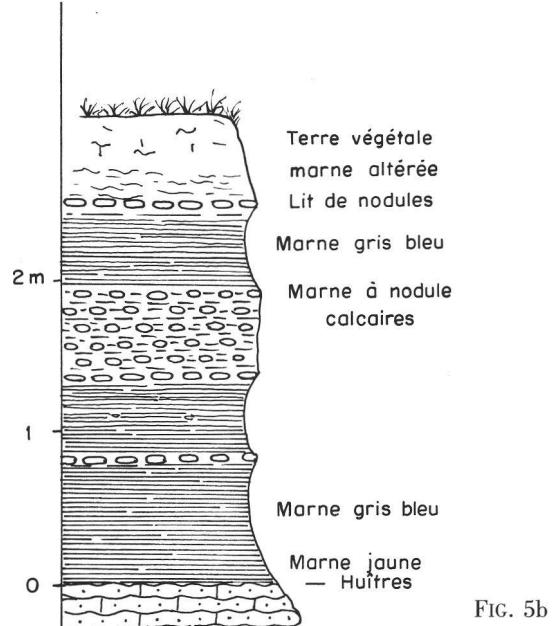
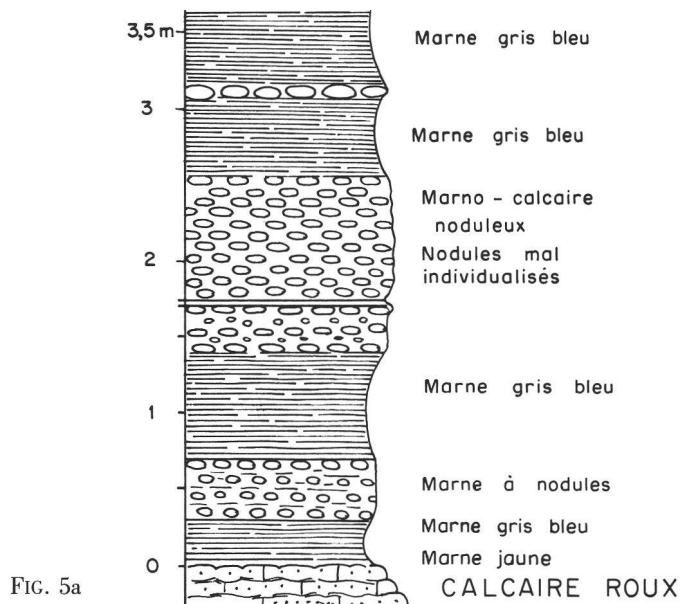


FIG. 5. — Sections dans la région du stand de tir à 50 m au NNW du Landeron.

5a) Paroi au-dessus du ruisseau.

5b) Fouille à l'W du stand de tir.

Sections around the shooting-stand over 50 m, NNW of Le Landeron.

5a) Above the escarpment of Calcaire roux SE of the beck.

5b) Excavation W of the shooting-stand.

Sections a and b at a distance of 100 m, both exposing the top of the Valanginian Calcaire roux and the lowermost Marne bleue. Calcareous nodules are surprisingly frequent, but levels rich in nodules cannot be correlated from one section to the other. Under these circumstances the overlap between section fig. 4a and fig. 5a (or b) is impossible to determine with precision.

Dans sa partie sommitale, le Calcaire roux est constitué d'une biosparite ferrugineuse dure, disposée en bancs irréguliers, les joints soulignés par une argile brun rouille. Vers le toit ces bancs se dissocient en nodules irréguliers qui sont recouverts par environ 10 cm de marnes jaune-ocre riches en fragments de grandes huîtres : c'est l'équivalent des «Marnes à *Astieria*» sans *Astieria* ; les seuls fossiles diagnostiques sont de rares oursins indiquant un âge valanginien (voir CLAVEL, ce vol.).

La Marne bleue, dégagée par la fouille sur une épaisseur de 2,5 m, s'est avérée peu fossilifère (voir BUSNARDO & THIEULOUY, ce vol.). Les nodules calcaires paraissent être moins fréquents que dans la coupe au-dessus du ruisseau mais il est difficile de dire à quel point la différence est réelle ou due à un état d'altération différent.

3. LA MARNIÈRE DE CRESSIER

(Atlas géol. de la Suisse 1: 25 000, feuille 1145 Bieler See, coord. 569,25 / 211,60)
fig. 6 et 6b et fig. 4 et 5 de BUSNARDO & THIEULOUY (ce vol.)

3.1. Travaux antérieurs : SCHARDT (1899a); BAUMBERGER (1903-1910); REMANE (1982)

La note de SCHARDT (1899a) est centrée sur le problème d'une écaille tectonique constituée de Cénomanien et de Calcaire roux valanginien, «enchâssée» dans la Marne bleue de la marnière de Cressier. Depuis, l'exploitation a fait disparaître cet accident et il n'y a pas de doute que le Calcaire roux qui affleure actuellement à l'extrémité N de la marnière, est en contact stratigraphique avec la Marne bleue (REMANE, 1982). BAUMBERGER (1906a: 10 à 12, in BAUMBERGER 1903-1910) donne un profil détaillé pour l'Hauterivien de ce secteur. La Marne bleue montrerait, de haut en bas, les subdivisions suivantes :

3. Marne grise, 1,5 à 2 m.
2. Marne grumeleuse, gris-clair avec concrétions calcaires dans la partie supérieure, la faune hauterivienne habituelle y est bien représentée, 8 à 10 m.
1. Marne homogène gris-bleu à céphalopodes, 10 m.

Vu les complications tectoniques dans la marnière, il doit s'agir d'une coupe synthétique dont il est difficile de retrouver les éléments sur le terrain.

3.2. Possibilités et limites de l'évaluation stratigraphique de la marnière

3.2.1. Problèmes de mesure

La marnière de Cressier est le seul affleurement où toute la Marne bleue est visible en surface. La couverture par des éboulis tombés du front de taille n'est importante qu'à l'extrémité N de la marnière ; ici, la base de la Marne bleue fut dégagée par une fouille.

En l'absence de niveaux-repères fiables dans la majeure partie de la succession, la seule possibilité de créer un système de référence était de mesurer la hauteur des échantillons au-dessus du toit du Calcaire roux, perpendiculairement par rapport aux plans de stratification.

Indépendamment des problèmes tectoniques dont il sera question plus loin, cette méthode devient naturellement d'autant plus imprécise qu'on monte dans une série marneuse dépourvue d'un litage distinctif.

Ainsi pour les 5 m inférieurs de la Marne bleue, la hauteur peut encore être déterminée avec une bonne précision, mais ensuite, étant obligé d'échantillonner par tronçons décalés latéralement, les chiffres deviennent très approximatifs. On ne sait, par exemple, si le niveau F4 situé à 5 m de la coupe (fig. 6a) correspond à un seul et même niveau marno-calcaire, ou s'il y a deux bancs à quelques décimètres de distance. Ceci explique également la légère disparité d'épaisseur entre la fig. 6a ci-contre et la fig. 5 de BUSNARDO & THIEULOUY. Toutefois les chiffres indiquent la succession stratigraphique correcte des échantillons.

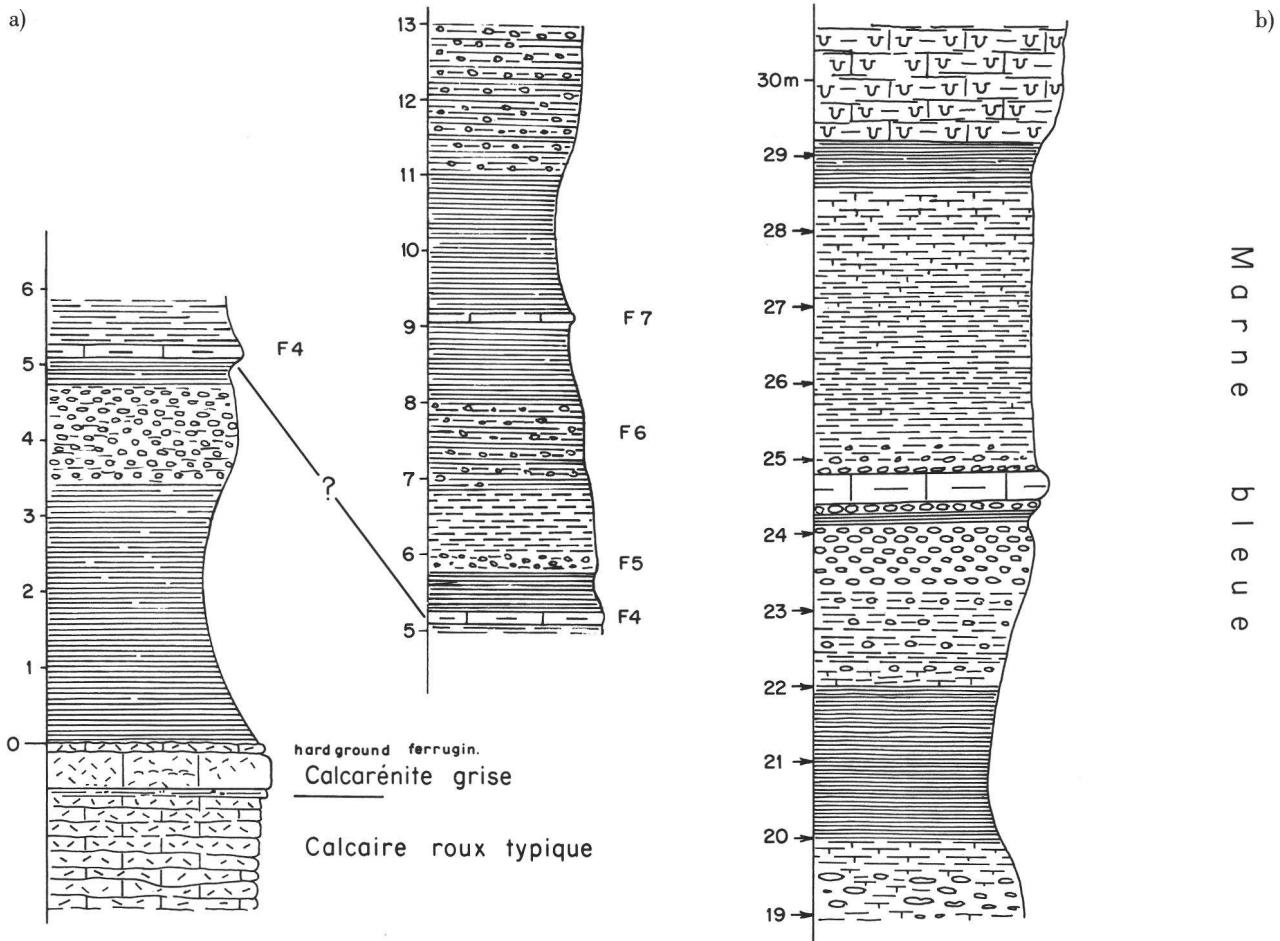


FIG. 6. — Deux sections dans la marnière de Cressier, selon REMANE (1982) modifié.

- a) Sommet du Calcaire roux et partie inférieure de la Marne bleue au fond de la marnière côté N.
 b) Partie supérieure de la Marne bleue au centre de la marnière.

Two sections in the marl-pit NW of Cressier.

- 6a) Uppermost Calcaire roux and lowermost Marne bleue, metric scale at left gives a rather good approximation of thicknesses.
 6b) Upper part of Marne bleue, corresponding to an undisturbed part of the succession protected by a fault. Thicknesses can be measured precisely, but the vertical distance from the base of the Marne bleue is no more than a rough estimate. The roof of the marly 1st. between 24 and 25 m is formed by a heavily bored glauconitic hardened surface.

Le métrage part du toit du Calcaire roux pris comme zéro, pour aller vers le haut jusqu'à la valeur plus ou moins fictive de 30 m, niveau où l'on croyait avoir atteint la Zone marno-calcaire (REMANE, 1982). Ces valeurs métriques ont été utilisées pour caractériser la position stratigraphique des échantillons dans les études micropaléontologiques et géochimiques de ce volume. Les mêmes chiffres apparaissent comme «épaisseurs» à côté des lithologs de la fig. 6, mais il faut être conscient du fait qu'aux erreurs de mesure discutées ci-dessus s'ajoutent les effets de la tectonique.

3.2.2. Accidents tectoniques

Une zone complètement tectonisée est soulignée par un empilement d'écailles marno-calcaires un peu plus dures (voir fig. 4 de BUSNARDO & THIEULOUY, ce vol.). Elle forme un angle qui sépare, dans la paroi, la partie centrale de l'extrémité N de la marnière. Parties inférieure et supérieure de la Marne bleue sont ainsi séparées et, faute de repères sûrs, on n'arrive pas à les corrélérer.

Vu l'épaisseur totale observée, il ne peut guère y avoir de lacune entre les deux tronçons de la coupe. D'un autre côté, le recouvrement éventuel ne peut en aucun cas dépasser quelques mètres : rien, jusqu'à la hauteur de 13 m, ne correspond à la marne noduleuse bourrée de rhynchonelles autour des 23 m de notre coupe. Dans la Marne bleue inférieure il n'y a pas d'accidents tectoniques majeurs mais la roche est parcourue par des veines calcitiques montrant des surfaces striées et peu inclinées par rapport à la stratification. Cela signifie que des mouvements tectoniques internes ont faussé les épaisseurs. Ce facteur s'ajoute donc aux erreurs de mesure discutées plus haut.

En revanche la succession des niveaux ne paraît pas être perturbée. Au milieu de la marnière une faille presque verticale (suintements d'eau !) a créé un coin protégé. Grâce à un banc marno-calcaire qui fait apparaître le pendage, on arrive à mesurer avec une très bonne précision la Marne bleue moyenne (19 à 29 m de notre coupe).

La couleur de la paroi au-dessus de la vire marneuse à 29 m nous avait fait attribuer cette série à la Zone marno-calcaire (REMANE, 1982, fig. 3). Des éboulements ayant mis à jour la roche fraîche sur une grande partie de la paroi, ont cependant révélé qu'il s'agit d'une marne calcaire dure, grise et non jaune, de wackestones et non de grainstones. La Marne bleue s'étend donc plus haut que supposé, probablement encore 6 à 8 m. Cet intervalle ne montre pas de stratification et, comme une tectonisation croissante se fait sentir vers le haut et vers l'entrée de la marnière, il est impossible de prendre des mesures précises.

3.3. La succession des couches

Le Calcaire roux, visible à l'extrême N de la marnière, est essentiellement constitué de biosparites ferrugineuses à litage irrégulier. Le toit est formé par deux bancs de calcarénite grise, couronnés de hard-grounds ferrugineux. Le banc inférieur, épais d'environ 50 cm, est très dur et massif et montre des passées lumachelliennes. Ces bancs gris sont directement surmontés par une Marne bleue typique. BAUMBERGER (1901, fig. p. 45) a déjà fait remarquer que les Marnes jaunes à *Astieria* manquent en cet endroit.

Quant à la partie inférieure de la Marne bleue, il faut surtout relever le niveau fossilifère principal, une marne à nodules calcaires (entre 3,4 et 4,7 m v. fig. 6a) affleurant dans la paroi E à l'extrême N de la marnière, en partie cachée par un véritable rideau de racines d'arbres.

Le tronçon supérieur de notre coupe (de 19 à 30 m) correspond essentiellement à la partie moyenne de la Marne bleue. Le niveau le plus remarquable est un banc marno-calcaire assez clairement individualisé entre 24 et 25 m. Il est miné par de nombreux terriers dont les parois sont imprégnées de glauconie. Le toit du banc, assez irrégulier, donne tout à fait l'impression d'un hard-ground glauconieux. Mais la lacune ne peut être importante, presque toute la Marne bleue appartient à la Zone à *Radiatus* (BUSNARDO & THIEULOY, ce vol.).

Malgré l'analogie frappante, ce niveau se situe trop bas dans la série pour être corrélé avec le hard-ground probable près de la base de la Zone marno-calcaire du Landeron. D'un autre côté, l'affleurement du stand de tir à 300 m ne descend pas assez bas dans la Marne bleue pour atteindre le niveau glauconieux de Cressier. La transition de la Marne bleue à la Zone marno-calcaire ne peut être mesurée avec précision mais les affleurements à l'entrée de la marnière en donnent une assez bonne image. Comme au Landeron, le passage est très rapide ; la partie inférieure de la Zone marno-calcaire est constituée de grainstones légèrement glauconieux sans stratification interne. 2 à 3 m au-dessus de la base on observe une intercalation marneuse. La stratification oblique qui caractérise la Pierre jaune n'apparaît que quelques mètres plus haut.

Par rapport aux données de Baumberger (1906a, in BAUMBERGER, 1903-1910) nos observations ont apporté quelques éléments nouveaux quant à la stratigraphie de la Marne bleue à Cressier.

- 1) La présence d'un banc marno-calcaire assez bien individualisé et facile à reconnaître grâce à un hard-ground glauconieux au toit.
- 2) La présence, comme au Landeron, de niveaux riches en nodules calcaires déjà dans la partie inférieure de la Marne bleue. Il est vrai qu'en moyenne les nodules sont plus fréquents dans la partie supérieure de la Marne bleue mais la subdivision en une marne homogène en bas et une marne à nodules calcaires en haut est trop schématique.

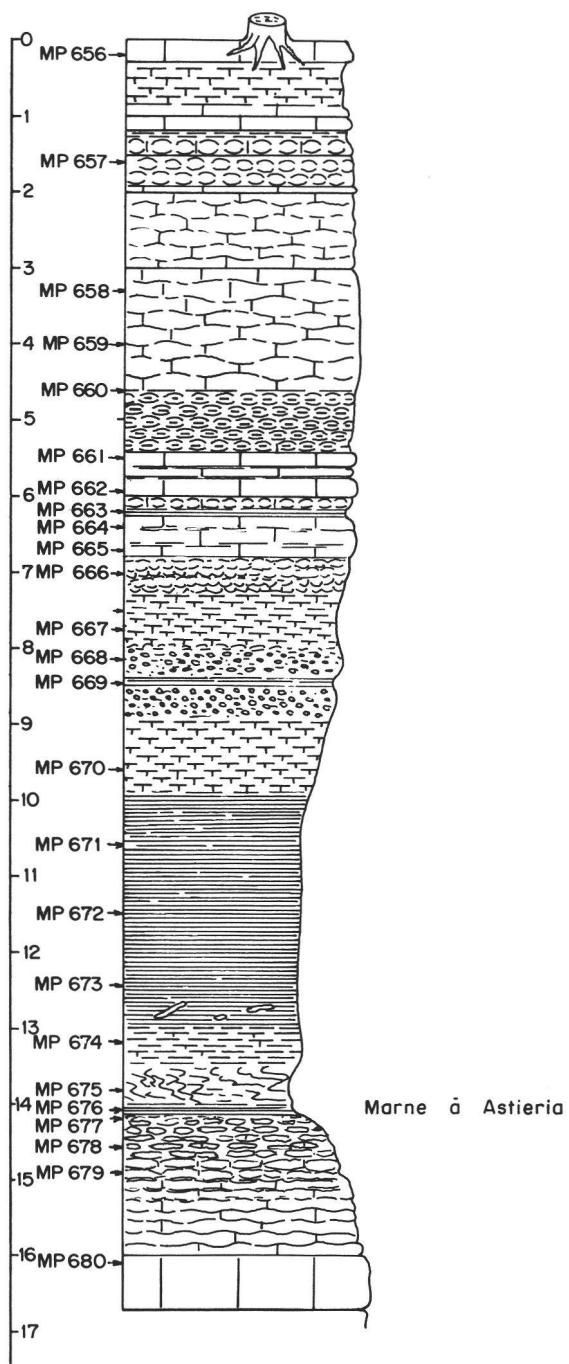


FIG. 7

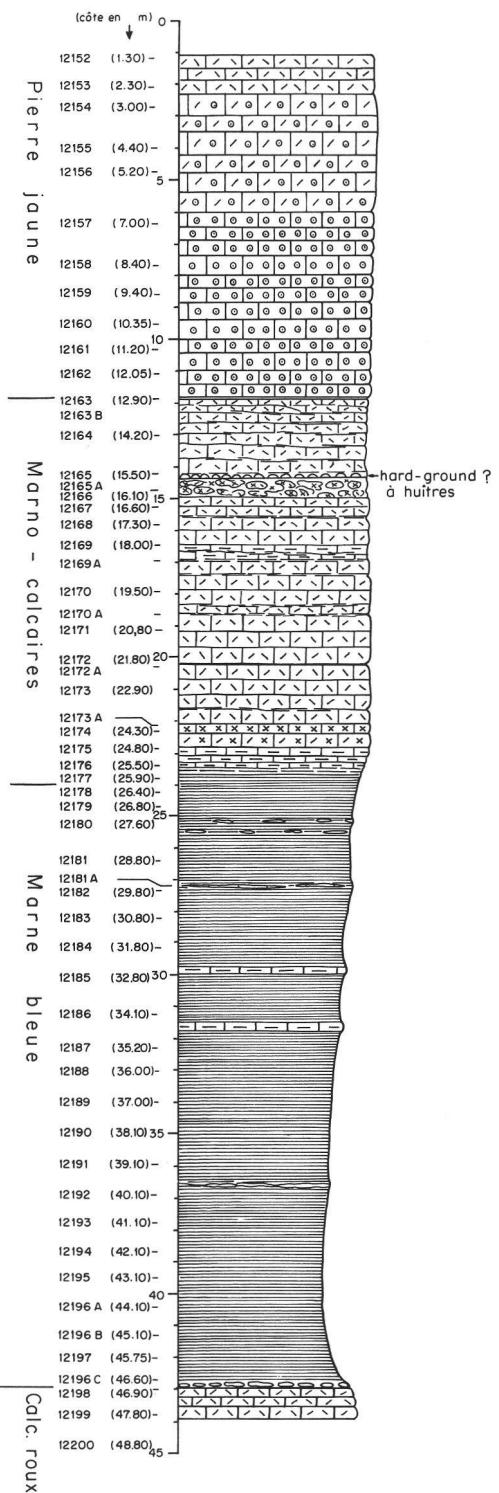


FIG. 8

4. L'HAUTERIVIEN DE VALANGIN

(Atlas géol. de la Suisse 1:25 000, feuille 1144 Val-de-Ruz, coord. 559,33/207,06)

4.1. Travaux antérieurs : BAUMBERGER & MOULIN (1899); BAUMBERGER (1903-1910); FREI (1925); HAEFELI, MAYNC, OERTLI & RUTSCH (1965)

BAUMBERGER & MOULIN (1899) ont donné la première description détaillée de la coupe de Valangin. Le litholog figuré sur leur pl. II correspond à un profil synthétique; les couches 1 à 25 (montant jusque dans la Zone marno-calcaire) furent mesurées sur la rive droite du Seyon, le reste de l'Hauterivien à la colline du château. La subdivision de la Marne bleue en 3 m de marne grise à concrétions en haut, et 4 m de Marne bleue homogène en bas, est confirmée par nos propres observations. La transition du Calcaire roux aux Marnes à Astieria se fait cependant d'une manière plus progressive et le passage de la Marne bleue à la Zone marno-calcaire est figuré d'une manière trop simplifiée chez BAUMBERGER & MOULIN (1899). La subdivision de la Zone marno-calcaire est difficile à juger en présence d'une série où il n'existe pas de limites tranchées. Ce que nous avons pu mesurer correspond probablement aux niveaux 24 à 26 de BAUMBERGER & MOULIN (1899), tandis que le niveau 27, plus tendre, n'affleure plus. BAUMBERGER (1903-1910) reprend le profil de BAUMBERGER & MOULIN (1899) en ajoutant des observations nouvelles sur la faune. Les Marnes jaunes à Astieria sont désormais placées dans le Valanginien.

La coupe de Valangin est aussi l'un des «stratotypes» proposés pour l'étage hauterivien. RUTSCH (in HAEFELI et al., 1965) y a défini le toit des «Marnes à Astieria» comme limite Valanginien/Hauterivien. Nous avons déjà discuté plus haut des faiblesses d'une telle définition, surtout sur le plan pratique (REMANE, ce vol.).

La majeure partie de la Marne bleue à Valangin n'était d'ailleurs pas accessible pour HAEFELI et al., (1965). En revanche, ces auteurs ont donné une description plus détaillée du passage Marne bleue - Zone marno-calcaire. Il en ressort que cette dernière commence par un banc calcaire (niv. 33) séparé de la masse principale par 25 cm de marne (niv. 34). La base de cette masse principale est formée par deux autres bancs calcaires bien individualisés (niv. 35 et 36; fig. 6). Mis à part les épaisseurs de ces bancs, nous sommes arrivés aux mêmes résultats.

4.2. Révision du profil de la rive droite du Seyon (fig. 7; voir aussi BUSNARDO & THIEULOY, fig. 6)

4.2.1. Problèmes techniques et tectoniques

La Marne bleue fut entièrement dégagée par une fouille, ce qui nous a permis de lever une coupe continue depuis le milieu de la Zone marno-calcaire jusque dans le Calcaire roux valanginien (fig. 7).

La coupe a été mesurée de haut en bas, à partir d'un zéro arbitraire correspondant au sommet de l'affleurement continu dans la forêt. Les affleurements dans la Zone marno-calcaire sont médiocres et par

◀ FIG. 7. — Calcaire roux supérieur, Marne bleue et partie inférieure de la Zone marno-calcaire à Valangin, à gauche: échelle métrique et position des échantillons.

Upper Calcaire roux, Marne bleue, and lower Zone marno-calcaire at Valangin. The Marne à Astieria (about 20 cm) comprises most of the late Valanginian; the Marne bleue is only 7 m thick, a fact which can only partly be attributed to a tectonic reduction.

◀ FIG. 8. — Succession lithologique rencontrée dans le forage 208 à Neuchâtel. A gauche, l'emplacement des échantillons est indiqué avec la profondeur en mètres (entre parenthèses). L'échelle métrique donne les épaisseurs.

Lithological succession of well 208 at Neuchâtel, cored over its entire depth. Positions of samples are given at left, with the depth indicated in brackets. The metric scale corresponds to the thickness of strata. Most of the Zone marno-calcaire and all of the Pierre jaune is made up of the same types of grainstones, ranging from bivalve-bryozoan-echinoderm biosparites to pure oosparites. Changes are frequent and often lithological change does not coincide with joints; therefore indications of grain types in the litholog are very schematic. The boundary between Zone marno-calcaire and Pierre jaune was fixed at the uppermost marly intercalation at 11,8 m (thickness).

conséquent les épaisseurs restent quelque peu approximatives malgré l'absence de tout accident tectonique. La puissance de la Marne bleue peut être déterminée avec une plus grande précision. Ici les problèmes sont plutôt d'ordre technique: comme à Cressier, la marne est parcourue de petites failles témoignant de mouvements internes, notamment dans la partie inférieure.

Quant au Calcaire roux, sa partie supérieure affleure bien en ce point, elle ne montre pas d'accident tectonique, elle est relativement facile à mesurer. Les niveaux repères les plus faciles à retrouver sur le terrain sont:

- 1) le sommet du calcaire roux;
- 2) le banc calcaire formant la base de la marne principale de la Zone marno-calcaire, une biopelsparite grossière dont la limite inférieure est particulièrement nette, ce qui fait que le mur du banc, très lisse, avec de rares terriers, est exposé sur une surface plus grande que ceux des bancs calcaires avoisinants.

4.2.2. Evolution sédimentaire de la succession

Le point de départ le plus logique pour une description du passage Calcaire roux - Marne bleue est un banc massif de 0,7 m dans le Calcaire roux supérieur dont le toit se situe à 16 m dans notre coupe, à environ 1,9 m sous la base de la Marne jaune à Astieria. Ce banc, une oobiosparite jaune ocre, se trouve quelque part dans le niveau 19 de BAUMBERGER & MOULIN (1899) et dans le niveau 28a de HAEFELI et al. (1965). Au-dessus vient un Calcaire roux typique (biosparite ferrugineuse) en petites plaquettes irrégulières. De minces interlits marneux apparaissent vers le haut et la fraction marneuse devient progressivement plus importante. Parallèlement, les plaquettes calcaires commencent à se dissocier en rognons et, pour finir il ne reste que des nodules de biosparites ferrugineuse dispersés dans une gangue de marne jaune légèrement sableuse, renfermant des grains d'oxyde de fer. Au toit, une croûte ferrugineuse souligne le hard-ground qui sépare le Calcaire roux des Marnes jaunes à Astieria.

Cette évolution fut aussi observée assez clairement par BAUMBERGER & MOULIN (1899) ainsi que par HAEFELI et al. (1965). Si nous l'avons décrite à nouveau en détail c'est pour montrer qu'une subdivision en niveaux lithologiques distincts, comme notamment la «Couche de Villers», est artificielle et que la seule limite qu'on puisse espérer retrouver sur le terrain (à 16 m de notre coupe, fig. 7) n'avait pas été mise en évidence.

Le hard-ground ferrugineux au toit du Calcaire roux est surmonté d'environ 10 cm de marne jaune plastique, les Marnes jaunes à Astieria de nos prédécesseurs. Il ne s'agit pourtant pas d'une couche bien définie, mais plutôt de traînées jaunes à la base de la Marne bleue, comme s'il y avait un apport d'oxydes de fer du Calcaire roux par la circulation des eaux météoriques. La Marne bleue se charge de plus en plus de nodules calcaires vers le haut, les 2 à 3 m supérieures forment en effet une marne grise à concrétions (BAUMBERGER & MOULIN, 1899). Il est cependant impossible de définir une limite vers la Marne bleue homogène sous-jacente. Quant à la limite entre Marne bleue et Zone marno-calcaire, nous la plaçons à 6,8 m de notre coupe, à la base du premier banc calcaire qui correspond très vraisemblablement au niveau 33 de HAEFELI et al. (1965). Ce banc repose sur quelques décimètres de marno-calcaire noduleux.

5. LE FORAGE 208 À NEUCHÂTEL ET LES AFFLEUREMENTS DU SECTEUR VAUSEYON-ÉCLUSE (Atlas géol. de la Suisse 1: 25 000, feuille 1164 Neuchâtel)

5.1. Données techniques

Il s'agit d'un forage entièrement carotté (coord. 560,227 / 204,360) fait dans le cadre des explorations en vue d'une traversée de Neuchâtel en tunnels par la route nationale 5. Le forage 208 fut implanté sur le crêt au S de la gare de Vauseyon, secteur déjà étudié par THIRRIA (1836: 139), BAUMBERGER & MOULIN (1899: 199), BAUMBERGER (1906a: 13, in BAUMBERGER 1903-1910) et SCHARDT (1908a). Après le prélèvement des échantillons nécessaires pour les tests géotechniques, toutes les carottes furent aimablement mises à notre

disposition par le Service des Ponts et Chaussées du canton de Neuchâtel. Je tiens ici à réitérer nos remerciements au géologue cantonal, M. J. MEIA, qui a bien voulu nous fournir tous les renseignements utiles.

La récupération des carottes lors du forage variait entre 83 et 100 %, avec une moyenne de 98 % pour l'intervalle qui nous intéresse (fig. 8). Cela signifie que même en tenant compte de l'échantillonnage géotechnique, nous disposons d'une documentation impressionnante de la succession des couches en ce point. Le litholog de la fig. 8 a été dessiné selon les carottes mises à notre disposition, en fonction des profondeurs indiquées. La comparaison avec le litholog établi par J. MEIA montre que les différences dans la position des limites lithostratigraphiques ne dépassent pas quelques décimètres.

L'échelle indiquée dans la fig. 8 correspond aux *épaisseurs réelles*, calculées d'après le pendage des couches que nous a communiqué J. MEIA. Les chiffres entre parenthèses indiquent l'emplacement des échantillons, exprimé en profondeurs.

L'étude de carottes ne permet évidemment guère d'observer des structures sédimentaires comme la stratification oblique. Les failles risquent fort de passer inaperçues, surtout dans les marnes. Mais comme les épaisseurs apparentes correspondent bien à celles mesurées par nos prédécesseurs dans les affleurements du secteur Vauseyon-Ecluse, les perturbations tectoniques paraissent être négligeables.

5.2. Succession des couches et subdivision lithostratigraphique de la série du forage

Le forage part dans la Pierre jaune pour atteindre, à une profondeur de 46,80 m (= 43 m d'épaisseur) le Calcaire roux valanginien. Pour la description lithostratigraphique nous utilisons les épaisseurs calculées d'après le pendage et comptées à partir de la surface = 0.

Le passage du Calcaire roux à la Marne bleue se fait de la même manière qu'à Valangin: Calcaire roux dissocié en nodules au toit, puis 15 cm de Marne jaune à Astieria. SCHARDT (1908a: 199) a figuré cette transition d'une manière très évocatrice.

La Marne bleue s'étend de 43,6 à environ 23,5 m, l'épaisseur de 20 m correspond assez bien aux 24,3 m indiqués par SCHARDT (1908a: 192). Le passage à la Zone marno-calcaire est très rapide et correspond à un changement lithologique profond: avec la Zone marno-calcaire commence en effet un régime de grainstones, souvent glauconieux, traduisant des eaux agitées. Les calcaires de la Zone marno-calcaire sont le plus souvent peu argileux, les intercalations marneuses sont rares et ne dépassent pas une épaisseur de quelques décimètres.

Dans ces conditions il n'est pas facile de définir une limite entre Zone marno-calcaire et Pierre jaune. Une intercalation marneuse de 10 cm, située à 11,8 m (= 12,9 m de profondeur) nous paraît la limite la plus logique. Au-dessus les calcaires sont plus durs et il n'y a pratiquement plus d'intercalations marneuses. Nous arrivons ainsi à une épaisseur de 11,7 m pour la Zone marno-calcaire, tout à fait conforme aux chiffres donnés par BAUMBERGER & MOULIN (1899) et par SCHARDT (1908a).

Quant à la constitution des grainstones, aussi bien dans la Pierre jaune que dans la Zone marno-calcaire, on rencontre tantôt des oosparites, tantôt des biosparites sans qu'on puisse définir des ensembles lithologiques basés sur ces critères. En ce sens les indications de la fig. 8 sont très approximatives. Le seul niveau distinctif par sa lithologie se situe dans la Zone marno-calcaire, 9 m au-dessus de sa base, à 14,5 m environ. Il s'agit d'une zone grossièrement noduleuse, constituée de nodules calcaires à croûte glauconieuse. Le toit est formé par une accumulation d'huîtres; le tout correspond très vraisemblablement à un hard-ground glauconieux, miné par des terriers et colonisé par des huîtres.

5.3. La succession au portail N du tunnel de Prébarreau (coord. 560,87 / 205,65, fig. 9)

5.3.1. Aspects techniques

Avant la percée du tunnel, au printemps 1982, l'entreprise de construction fit nettoyer à la pioche toute la paroi où devait se situer le portail N du tunnel. De cette manière fut créé un affleurement frais d'une qualité

exceptionnelle, exposant une partie de la Marne bleue, toute la Zone marno-calcaire et la base de la Pierre jaune, en tout sur une épaisseur de 17 m. Grâce à l'amabilité de M. J.-J. de Montmollin, ingénieur adjoint aux travaux, nous avons pu mesurer la coupe à partir d'une nacelle portée par la grue servant aux constructions.

Le métrage de la coupe s'est fait de haut en bas, à partir d'un zéro arbitraire correspondant au pied du mur bordant le Jardin du Prince. Les subdivisions naturelles de la succession ressortent de la fig. 9. Les niveaux sont numérotés de haut en bas, de 1 à 7.

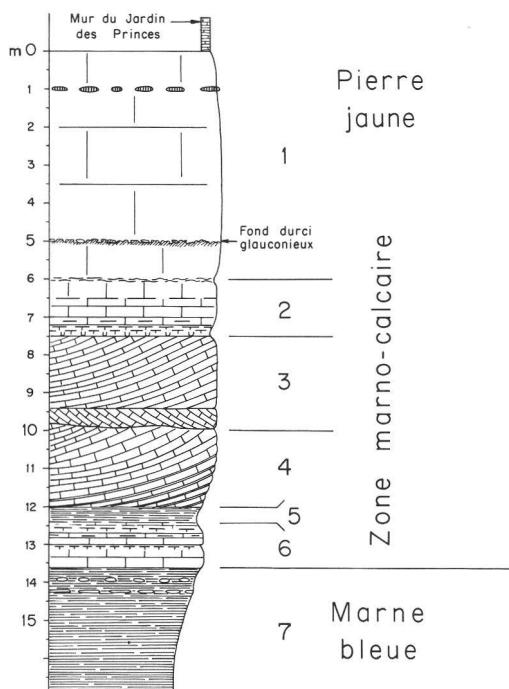


FIG. 9. — Succession lithologique dans la paroi du portail N du tunnel de Prébarreau. Les bancs purement calcaires des niveaux 1 à 4 et 6 correspondent à des grainstones de composition variable. Pour cette raison, les détails lithologiques n'ont pas été figurés.

Succession forming the escarpment where the northern entry of the Prébarreau tunnel is located. Limestones of level 1 to 4 and 6 are all grainstones, but their composition is too variable to be indicated in this fig. This section is at 700 m from well 208 (fig. 8). In the absence of marly intercalations in the upper part, it is impossible to fix a boundary between Zone marno-calcaire and Pierre jaune. On the other hand the burrowed glauconitic hard-ground (or hardened surface) is at the same level as in well 208.

5.3.2. La succession de couches

La constitution lithologique moyenne des grainstones est difficile à exprimer graphiquement à cause des variations de détail; nous ajoutons donc une brève description des unités lithologiques.

1. Grainstone dur et massif, sans stratification apparente sur la roche fraîche, biosparites à oosparites légèrement glauconieux, bref, un faciès Pierre jaune typique.
Deux niveaux particuliers sont à signaler: une bande de gros rognons siliceux impurs à 1 m, et un fond durci glauconieux avec nodules et perforations de crustacés, à 5 m.
Aussi bien par ses caractères lithologiques que par sa position stratigraphique, 8,5 m au-dessus de la base de la Zone marno-calcaire, ce niveau correspond parfaitement au hard-ground glauconieux observé dans le forage 208, à environ 700 m au WSW.
2. Lithologiquement identique à 1, ce niveau est délimité par deux vires un peu plus marneuses: la vire inférieure correspond à un calcaire marneux à stratification irrégulière.
3. Du point de vue faciès, c'est une Pierre jaune typique, dure et compacte, mais, sur les surfaces un peu altérées, une stratification oblique apparaît. Ce niveau est à peine glauconieux.
4. Grainstone jaune à stratification oblique très marquée, donnant à la roche un aspect plaqué. Vers le bas les plaquettes deviennent plus minces et des interlits marneux centrimétriques apparaissent.
5. Marne grise feuilletée, avec une bande plus calcaire au milieu qui n'est cependant pas constante latéralement.

6. Deux bancs formés à la base d'un grainstone dur, gris, glauconieux, qui devient plus marneux vers le haut, passant ainsi à un marno-calcaire grumeleux.
7. Marne calcaire grise, avec une couche très discontinue de nodules calcaires à 13,9 m, tandis que celle de 14,3 m forme presqu'un banc calcaire marneux continu.

5.3.3. Comparaison avec le forage 208

En deux points les deux successions sont parfaitement identiques:

- 1) la transition rapide de la Marne bleue à la Zone marno-calcaire;
- 2) la présence d'un fond durci glauconieux avec terriers de crustacés 8,5 à 9 m plus haut.

En outre, dans les deux séries, la Marne bleue est pauvre en nodules calcaires, dans sa partie supérieure. Par contre, les intercalations marneuses ne correspondent pas dans les successions. Au tunnel de Prébarreau il est même impossible de tracer une limite entre Zone marno-calcaire et Pierre jaune.

5.4. Comparaison avec les données des auteurs antérieurs

Aussi bien BAUMBERGER & MOULIN (1899, repris en allemand par BAUMBERGER, 1903-1910) que SCHARDT (1908a) ont donné des descriptions assez détaillées de la Zone marno-calcaire du secteur Ecluse-Vauseyon. Les trois auteurs sont d'accord pour attribuer une puissance de 10 à 11 m à la Zone marno-calcaire. La limite que nous avons adoptée dans le forage 208 donne une épaisseur entre 11,5 et 12 m.

C'est la série de Prébarreau qui montre bien que la distinction entre Zone marno-calcaire et Pierre jaune ne repose pas sur la nature des grainstones calcaires mais sur la présence d'intercalations marneuses. Lithologiquement seuls les niveaux 6 à 3, éventuellement encore le 2, pourraient être inclus dans une zone marno-calcaire de 6 ou 7,5 m. Mais le niveau glauconieux dans le niveau 1 montre bien qu'il n'y a point diminution de l'épaisseur mais disparition d'intercalations marneuses. Un exemple très instructif si l'on pense au rôle accordé à des niveaux repères comme les «Marnes de la Russille» à la limite Pierre jaune/«Urgonien jaune». Quant aux subdivisions de la Zone marno-calcaire, trois variantes ont été proposées, deux par BAUMBERGER & MOULIN (1899: 202) et une par SCHARDT (1908a: 192). La plupart des niveaux distingués par ces auteurs sont trop hétérogènes ou trop vaguement définis pour être reconnus sur le terrain. D'un autre côté SCHARDT (1908a) ne mentionne pas l'intercalation marneuse de 0,5 m à 1 m observée en deux endroits dans la partie supérieure de la Zone marno-calcaire par BAUMBERGER & MOULIN (1899); nous ne l'avons d'ailleurs pas retrouvée non plus.

6. BILAN DES OBSERVATIONS NOUVELLES DANS LE SECTEUR NEUCHÂTELOIS

Les phénomènes de condensation au passage Calcaire roux - Marne bleue sont manifestes, également d'un point de vue lithologique: nodules corrodés et/ou hard-ground ferrugineux au toit du Calcaire roux. Mais seule la biostratigraphie peut nous renseigner sur l'ampleur de ces phénomènes (DONZE & THIEULOY, 1975; BUSNARDO & THIEULOY, ce vol.).

Ici il s'agit de mettre en relief deux faits nouveaux d'ordre lithostratigraphique:

- 1) D'après les observations qu'on peut faire au Landeron, à Valangin et dans le forage 208 à Neuchâtel, il n'y a pas de niveau distinct au toit de Calcaire roux qu'on puisse individualiser sous un nom propre, comme par exemple «Couche de Villers» (v. aussi SCHARDT, 1908a: fig. 2).
- 2) La présence de marnes jaunes entre le Calcaire roux s. l et la Marne bleue n'est pas un phénomène sédimentaire; elle est due à une imprégnation ferrugineuse venant du Calcaire roux. Ainsi à Valangin il s'agit plutôt de traînées jaunes à la base de la Marne bleue que d'une couche bien définie. Cette coloration jaune se voit partout où le Calcaire roux se termine par des plaquettes dissociées en nodules corrodés.

Pour la pratique lithostratigraphique, cela signifie qu'il vaut mieux ne plus employer des termes comme « Couche de Villers » pour la région neuchâteloise et d'étendre le Calcaire roux jusqu'à la base de la marne sus-jacente; une coloration jaune ne suffit pas pour prouver la présence de la Marne à Astieria, il faut que les fossiles caractéristiques soient présents.

Depuis DESOR & GRESSLY (1859) et surtout à la suite des travaux de BAUMBERGER (1901, 1903-1910), les géologues locaux ont pris l'habitude de subdiviser la Marne bleue en une « Marne à concrétions calcaires » en haut et une « Marne bleue homogène » en bas. Ce schéma reflète bien l'évolution sédimentaire à Valangin, seulement il est impossible de définir une limite suffisamment nette pour en dériver une classification lithostratigraphique. Pour la première chaîne du Jura, bordant le plateau molassique, la distribution des nodules calcaires est beaucoup plus irrégulière et il y a des niveaux riches en nodules très bas dans la série, aussi bien au Landeron qu'à Cressier.

La présence de surfaces glauconieuses minées de terriers dont les parois sont également imprégnées de glauconie, n'avait pas encore été signalée dans la région neuchâteloise. Il est difficile de dire s'il s'agit dans tous les cas de véritables hard-grounds. De toute façon les lacunes stratigraphiques liées à ces niveaux ne peuvent être importantes puisque toute la Marne bleue entre dans les Zones à Radiatus et à Loryi (BUSNARDO & THIEULOY, ce vol.).

Ces hard-grounds probables ont été observés à trois niveaux lithostratigraphiques différents :

- 1) dans la partie supérieure de la Marne bleue à Cressier,
- 2) juste au-dessus de la base de la Zone marno-calcaire au Landeron, et
- 3) vers le sommet de la Zone marno-calcaire dans le secteur Vauseyon-Ecluse à Neuchâtel.

L'interprétation stratigraphique du phénomène est délicate parce qu'on n'observe jamais deux hard-grounds superposés dans une même série, ni à Prébarreau où toute la Zone marno-calcaire est parfaitement visible, ni dans le forage 208 qui traverse en plus toute la Marne bleue.

En l'état actuel de nos connaissances, il paraît plus probable qu'il s'agit de hard-grounds limités latéralement que d'un seul niveau isochrone recouvrant les limites lithostratigraphiques.

7. RÉGION DE SAINTE-CROIX

(Carte nationale de la Suisse 1:25 000, feuille 1182, Sainte-Croix, carte géologique de RITTENER, 1902)

7.1. Ravin du Colas (= Colas = Collaz, coord. 529,25/184,85) (fig. 10a, 10b, fig. 11; BUSNARDO & THIEULOY, fig. 7)

7.1.1. Travaux antérieurs : JACCARD (1893), SCHARDT (1895, 1899a), RITTENER (1902),
BAUMBERGER (1903-1910), BURRI (1956).

SCHARDT (1895) donna la première description plus détaillée de cette succession. Sa subdivision de la Marne bleue reste cependant quelque peu obscure. Ici RITTENER (1902) fournit un excellent profil pouvant servir de référence de base, surtout grâce au croquis topographique (sa fig. 7) qui fait ressortir le rôle morphologique des marno-calcaires intercalés dans la Marne bleue.

BAUMBERGER (1903: 44-45 et 1906a: 19, in BAUMBERGER, 1903-1910) reprend tous les détails de la description lithostratigraphique de RITTENER en complétant l'information biostratigraphique. D'un autre côté il réunit les couches hIc à hIf de Rittener sous le nom de « Mergelkalkzone ». A notre avis, la nature lithologique de cet ensemble est trop différente de celle de la Zone marno-calcaire des environs de Neuchâtel pour justifier une telle dénomination.

En résumé, on peut dire que la subdivision stratigraphique de la série du Ravin de Colas, établie par RITTENER (1902) garde aujourd'hui encore toute sa valeur pour la plupart de l'Hauterivien. Par contre, la lithostratigraphie autour de la limite Valanginien-Hauterivien reste contradictoire. Ici il faut mettre en relief que dans le profil communiqué par RITTENER (1902: 33-35), les observations faites le long de la voie ferrée

ont été combinées avec celles faites au fond du ravin, mais que la provenance des données de détail n'est pas toujours indiquée. Le talus de la voie ferrée est aujourd'hui couvert par la végétation et peut-être que c'est là que RITTENER a levé le profil très détaillé du passage Valanginien-Hauterivien, qui n'est pas confirmé par nos observations dans le ravin même.

Selon nous, la partie terminale du Calcaire roux est constituée d'un banc massif de calcaire échinodermique d'une épaisseur de 60 cm (entre 0,6 et 1,2 m de notre coupe, fig. 10). Ce banc se termine par un hard-ground ; il repose sur quelques décimètres d'une marne grise finement sableuse, dont l'épaisseur est impossible à déterminer avec précision, d'autant plus qu'elle risque d'être exagérée par la tectonique. Il n'y a rien dans la description de RITTENER (1902) qui pourrait correspondre à ces deux niveaux. En revanche, il n'y a aucun doute sur la marne qui recouvre le banc massif en question, elle correspond à la Marne aux bryozoaires (V5 chez RITTENER, 1902). Il nous a été cependant impossible de retrouver sur le terrain les différents termes de la subdivision très détaillée des niveaux V5 et hIa donnée par RITTENER (1902). Seul le petit banc calcaire à 2 m de notre coupe pourrait y trouver sa place comme l'équivalent de V⁵-3° : «Lit calcaire fragmenté, stérile, 0,04 m».

FIG. 10a

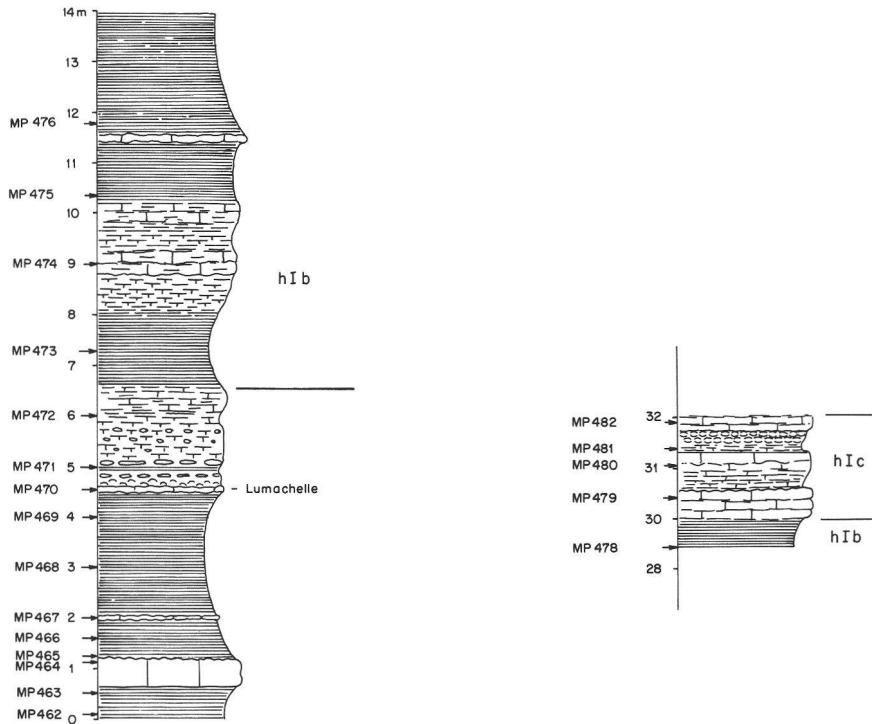


FIG. 10. — Succession lithologique dans le Ravin du Colas (lit de l'Arnon) au SE de Sainte-Croix. Les subdivisions hIb etc. correspondent à celles de RITTENER (1902). La position des échantillons est indiquée à gauche.

10a) Partie inférieure de la succession. De 0,6 à 1,2 m un banc de Calcaire roux, séparé de la masse principale du Calcaire roux (en dessous de 0 m) par une intercalation marneuse.

10b) Partie supérieure, constituée de deux tronçons à recouvrement partiel.

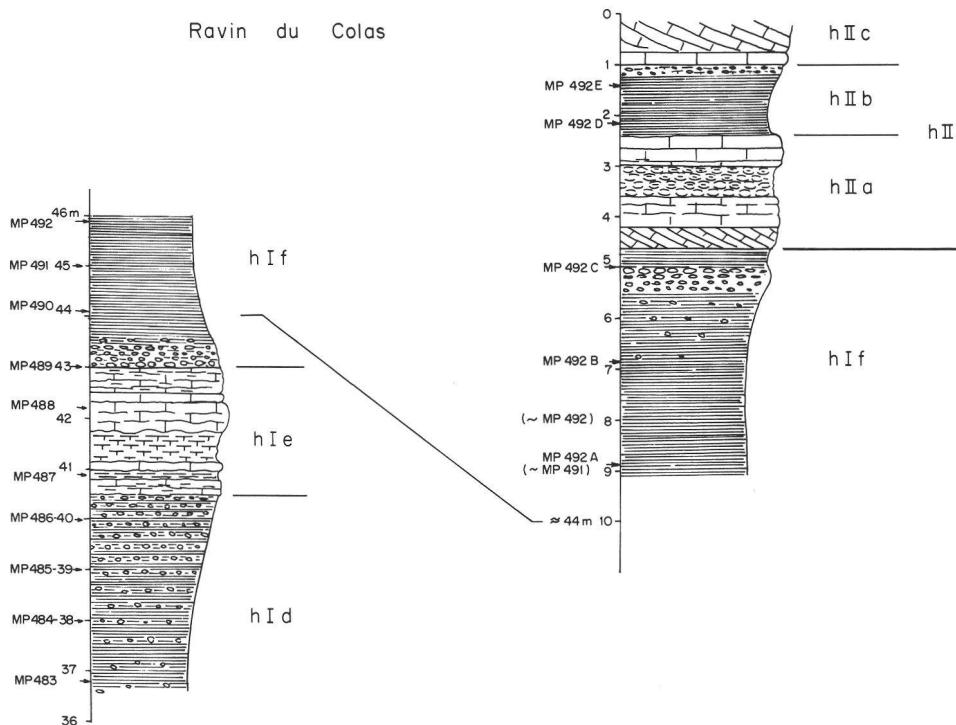
Succession in the Ravin du Colas (i.e. bed of the beck named Arnon), lithostratigraphic subdivisions (hIb etc.) according to RITTENER (1902). The position of samples is indicated at left.

The metric scale from 0 to 46 m takes also into account parts of the Marne bleue which are covered and gives an estimate of its total thickness.

10a) Lower part of the succession. The uppermost part of the Calcaire roux (whose main body follows below 0 m) corresponds to the massive bank of biosparite between 0,6 and 1,2 m. The Valanginian-Hauterivian boundary is situated within the Marne bleue, at 6,5 m.

10b) Upper part of the succession made up of two overlapping sections. The Pierre jaune starts with hIIa.

FIG. 10b



7.1.2. L'importance du profil du Colas pour la limite Valanginien-Hauterivien

La base de la Marne bleue (au sens purement lithosratigraphique du terme) est particulièrement riche en bryozoaires. Cette Marne à bryozoaires a, depuis longtemps, retenu l'attention des chercheurs et elle a joué un rôle important dans la discussion sur la limite Valanginien-Hauterivien.

JACCARD (1893) considéra la faune de la Marne à bryozoaires de Sainte-Croix comme typiquement valanginienne, incomparable à celle des Marnes à Astieria (considérées à l'époque comme hauteriviennes). SCHARDT (1895) défend, au contraire, le parallélisme entre Calcaire à *Alectryonia rectangularis* (au S du Col de Saint-Cergue), Marne à bryozoaires et Marne à *Olcostephanus astieri* de la région neuchâteloise. La Marne à bryozoaires devient ainsi typiquement hauterivienne. Quelques années plus tard, SCHARDT (1899a) admet cependant la subdivision de la Marne à Bryozoaires en deux parties, l'une valanginienne, l'autre hauterivienne. RITTENER (1902) reprend cette subdivision. Si BAUMBERGER (1906a in BAUMBERGER, 1903-1910) place la limite Valanginien-Hauterivien plutôt au toit qu'à la base du niveau hIa de RITTENER (1902), cela ne reflète point un changement des corrélations lithostratigraphiques sur le plan régional, mais simplement le fait que les Marnes à Astieria sont désormais placées dans le Valanginien. BURRI (1956) a mesuré à nouveau le passage critique et adopte la limite d'étages proposée par BAUMBERGER (1906a) qui paraît confirmée par l'étude des microfaunes exécutée par H. BARTENSTEIN, (ce vol.). Il est important de relever que jusqu'alors aucune ammonite n'avait été trouvée dans l'intervalle critique du Ravin du Colas et qu'ainsi la position de la limite Valanginien-Hauterivien, dans cette succession, restait assez hypothétique.

7.1.3. Problèmes techniques

La majeure partie de notre coupe a été mesurée de bas en haut, à partir d'un zéro arbitraire placé à la base de la marne finement sableuse qui se trouve intercalée près du sommet du Calcaire roux. Le toit du banc calcaire massif terminant cette formation se situe ainsi à 1,2 m. Le métrage fut poursuivi à travers les lacunes d'affleurements dont il fallait évidemment estimer les «épaisseurs». Pour la partie supérieure de la Marne bleue, à partir du niveau hIc, nos chiffres concordent très bien avec ceux de RITTENER (1902). En revanche nous aurions sous-estimé d'environ 5 m l'importance de la lacune d'affleurement en dessous de hIc.

Bien qu'il affleure en continu, on n'arrive pas à mesurer l'épaisseur du niveau hIf. Pour cela, la partie supérieure de la coupe a été mesurée indépendamment de haut en bas, en partant d'un zéro arbitraire dans la Pierre jaune formant la cascade. Le niveau de 9 m de ce tronçon devrait correspondre à peu près aux 45 m du tronçon principal. Il y a donc un léger recouvrement des deux parties de la coupe; l'échantillon MP 492 A doit se situer stratigraphiquement entre MP 491 et 492, très proche de MP 491.

Rien dans les conditions d'affleurement ne laisse supposer la présence d'accidents tectoniques qui seraient assez importants pour perturber la succession stratigraphique. Les niveaux marno-calcaires hIc et hIe sont suffisamment différents du point de vue lithologique pour exclure toute possibilité d'une répétition tectonique. De même les niveaux un peu plus calcaires, plus ou moins noduleux, qu'on observe à l'intérieur des marnes, ne montrent aucune trace de failles ou de chevauchements.

Donc si la succession stratigraphique est «garantie», il n'en est probablement pas de même pour les épaisseurs. Dans toute la série les couches sont verticales ou même légèrement renversées: il faut donc envisager la possibilité d'étirement ou, éventuellement, de bourrages.

7.1.4. Remarques concernant la succession lithologique

Lithostratigraphiquement, en tant que formation, il faut faire débuter la Marne bleue à 1,2 m de notre coupe (fig. 10a) au toit du banc massif couronnant la formation du Calcaire roux. Nous incluons donc dans la Marne bleue le niveau V5 «Marne à spongiaires et bryozoaires» de RITTENER (1902).

Les premiers décimètres de marne, au-dessus du Calcaire roux, sont en effet extrêmement riches en bryozoaires. En l'absence d'un niveau de 5 cm pouvant correspondre à: V⁵-9° «Brèche échinodermique», à parties marneuses «ocracées ou bleuâtres» il nous a été impossible de déterminer la limite entre les niveaux V⁵ et hIa «Marnes inférieures à spongiaires et bryozoaires» de RITTENER (1902).

Par contre nous avons observé un petit banc calcaire surmonté d'une mince lumachelle à 4,5 m de notre coupe, donc à une hauteur de 3,3 m au-dessus du sommet du Calcaire roux. Quant à sa position, exprimée en mètres au-dessus du toit du Calcaire roux, ce niveau est très proche de la limite hIa/hIb qui, selon BAUMBERGER (1903-1910) correspond à la limite Valanginien-Hauterivien.

Les trouvailles d'échinides (CLAVEL, ce vol.) et d'ammonites (BUSNARDO & THIEULOY, ce vol.) ont fourni la preuve que cette lumachelle est encore valanginienne. Mais il est impossible de dire quelle est la signification de ce niveau dans les termes lithostratigraphiques de RITTENER (1902) et de BAUMBERGER (1903-1910). Selon la description de Rittener (1902) la limite hIa/hIb n'est point spectaculaire du point de vue lithologique et il ne paraît guère qu'elle corresponde à la lumachelle que nous venons de mentionner. Entre la lumachelle et 6,6 m, puis environ de 8 à 10 m, les marnes sont plus dures, parce que plus calcaires, et on observe des nodules calcaires. Mais les transitions sont trop graduelles pour individualiser clairement des niveaux lithostratigraphiques.

Pour la partie supérieure du profil, du niveau hIc jusqu'à hIIc (toujours dans la notation de RITTENER, 1902) rien de spécial n'est à ajouter aux observations de cet auteur. Notons seulement que la marne finement sableuse dans la partie inférieure de la Pierre jaune (niveau hIIb) est lithologiquement très semblable à la marne qui, près de L'Auberson, forme le soubassement de la Pierre jaune.

7.2. La fouille au NE de L'Auberson, au lieu-dit «le Remblai»

(Coord. 526,75 / 186,41 et 526,70 / 186,30, fig. 11)

7.2.1. Introduction

Comme nous avons pu le voir dans le Ravin du Colas, les conditions ne sont pas idéales pour effectuer un levé détaillé du passage Marne bleue-Pierre jaune. A cet effet une fouille fût exécutée à l'ENE de L'Auberson, à la bifurcation où la route menant au village de La Chaux se sépare de la route Col des Etroits - L'Auberson. Deux profils à recouvrement partiel ont été levés: le profil A du côté de la route de La Chaux et le profil B au bord de la route de L'Auberson. La qualité des affleurements naturels de la Pierre jaune qui coiffe le talus au bord de la route, permet une corrélation précise entre ces deux profils. En complétant vers le bas les

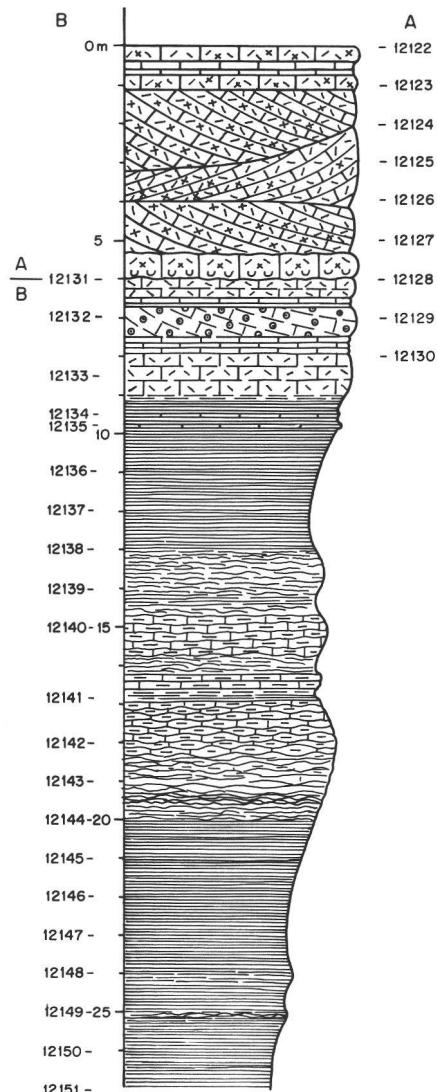


FIG. 11

FIG. 11. — Profil combiné de la Marne bleue supérieure et de la Pierre jaune inférieure à l'ENE de L'Auberson. L'emplacement des échantillons du tronçon A est indiqué à droite, ceux du tronçon B sont marqués à gauche.

Combined profile of the upper Marne bleue and the lower Pierre jaune ENE L'Auberson. Two overlapping sections A and B have been measured; stratigraphic position of samples from A indicated at right, from B at left. This locality is only 3 km from Ravin du Colas (fig. 10) but both successions cannot be correlated in detail: At L'Auberson either the lower part of the Pierre jaune (h IIa in the Ravin du Colas) is missing or the marly intercalation within the Pierre jaune (h II b). The first hypothesis seems more probable, as the marls underlying the Pierre jaune at L'Auberson are silty and yellowish very much like h II b.

FIG. 12. — Succession lithologique dans la carrière des Uttins, au Mont-de-Chamblon, W Yverdon; position des échantillons indiquée à gauche.

Succession of strata in the quarry of Les Uttins, Mont-de-Chamblon, W of Yverdon; position of samples indicated at left. Quarrying goes down to the top of the Marne bleue and, according to JORDI (1955), the lowermost 4 m of limestones belong to the Zone marno-calcaire. But, as in the region of Neuchâtel, there is no real difference between the grainstones of the Zone marno-calcaire and the Pierre jaune, marly intercalations in the Zone marno-calcaire are inconspicuous and its delimitation from the Pierre jaune is difficult. Lower and upper Pierre jaune are separated by the Marnes d'Uttins, which could be dated as late Early Hauterivian; there is no marly intercalation of this kind in the Neuchâtel region.

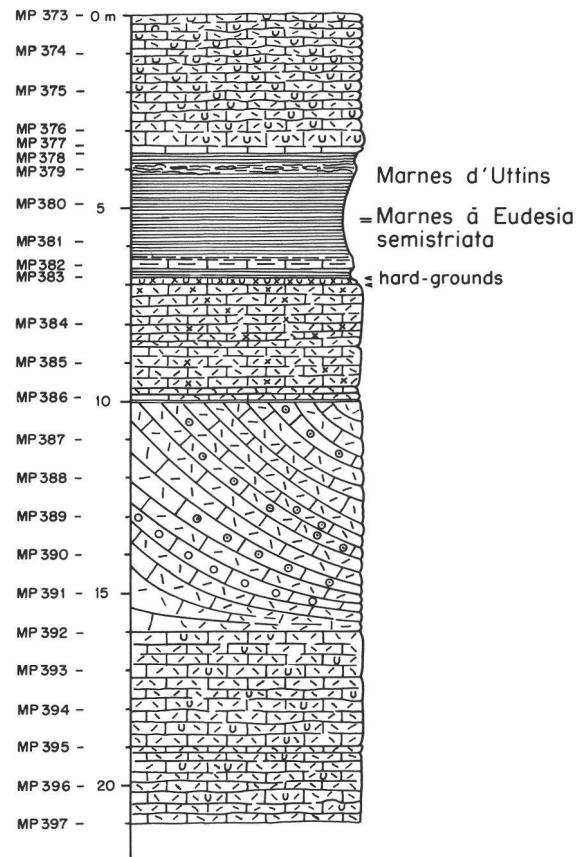


FIG. 12

affleurements à l'aide d'un fossé creusé à la pelle mécanique, nous avons obtenu une coupe continue comprenant les 9 m inférieurs de la Pierre jaune et les 18 m supérieurs de la Marne bleue (fig. 11). La coupe a été mesurée de haut en bas, partant d'un zéro arbitraire correspondant au toit le plus élevé de la Pierre jaune qu'il était possible de dégager.

Les affleurements étendus de la Pierre jaune et du marno-calcaire sous-jacent (entre 15 et 20 m de notre coupe, fig. 11) montrent bien qu'il n'y a pas d'accident tectonique. Au vu du faible pendage des couches, les épaisseurs devraient correspondre aux épaisseurs réelles, mais dans la Marne bleue l'absence d'une stratification nette rend les chiffres forcément plus approximatifs.

7.2.2. Travaux antérieurs: RITTENER (1902), BAUMBERGER 1903-1910)

Selon la description des lieux, notre profil correspond à la coupe dite du «Remblai» de RITTENER (1902: 36-37). Cet auteur a observé une intercalation marneuse d'une épaisseur de 1 à 3 m à 6,5 m au-dessus de la base de la Pierre jaune. Il la considère comme l'équivalent des marnes moyennes du Colas (hIIb). BAUMBERGER (1906a: 20, in BAUMBERGER, 1903-1910) confirme les données de RITTENER. Pour nous ces indications sont difficiles à interpréter. Dans le périmètre de nos profils A et B, la Pierre jaune affleure sur 9 m d'épaisseur, en parfaite continuité, sans aucune intercalation marneuse appréciable. Ou bien la «marne moyenne» de RITTENER se situe sensiblement plus haut qu'indiqué et n'affleure plus aujourd'hui, ou bien il y a répétition tectonique de la marne sous-jacente de la Pierre jaune: il semble en effet qu'une faille passe à quelques dizaines de mètres au NE du profil A.

7.2.3. La succession lithologique observée et les possibilités d'une corrélation avec la coupe du Colas

La Pierre jaune (0 à 9,1 m de notre coupe, fig. 11) est essentiellement constituée de biosparrudites glauconieuses. La stratification oblique est particulièrement nette dans la partie supérieure. Cet ensemble repose sur un banc massif d'un aspect légèrement noduleux (5,3-6,0 m) et dont la base montre de nombreux terriers très bien conservés.

Entre 9,0 et 9,2 m la Pierre jaune passe très rapidement à une marne silteuse jaunâtre à l'altération, gris clair à l'état frais. Un banc de calcaire glauconieux ressort bien à 9,8 m.

A 13 m environ, cette marne passe tout à fait graduellement à un ensemble de marno-calcaires noduleux gris clair, très riches en rhynchonelles que l'on peut collectionner tout le long de la pente. C'est le seul niveau en dessous de la Pierre jaune qui affleure partiellement dans des conditions naturelles. Ces marno-calcaires s'étendent jusqu'à 20 m environ (fig. 11) sans qu'il soit possible de fixer une limite nette, ni d'individualiser clairement des bancs calcaires ou intercalations marneuses. Autour de 20 m on entre dans la Marne bleue typique que notre fouille a pu dégager sur une épaisseur de 7 m.

Si on compare nos observations aux données de RITTENER (1902) et de BAUMBERGER (1903-1910), on constate une différence importante dans le fait que nous n'avons retrouvé aucune trace des «marnes moyennes» (hIIb) dans les 9 m inférieurs de la Pierre jaune. La corrélation détaillée entre les coupes du Remblai et du Colas est ainsi rendue très difficile. Selon l'hypothèse de RITTENER (1902) la «lumachelle inférieure» (hIIa) augmenterait de 3 m au Colas, à 6,5 au Remblai, sur une distance de 3 km. Les deux épaisseurs sont à corriger: 2,2 m au Colas et au moins 9 m au Remblai; il devient ainsi plus difficile de maintenir la corrélation proposée. En plus, le soubassement marneux de la Pierre jaune n'affleure pas naturellement au Remblai et sa nature est apparemment restée inconnue aux observateurs antérieurs. Or, la marne silteuse jaunâtre que nous avons trouvée en cet endroit, rappelle fortement la «marne moyenne» (hIIb) du Colas quant à sa lithologie, moins cependant en ce qui concerne l'épaisseur.

On voit donc que les observations de terrain n'aboutissent pas à une corrélation simple et inéquivoque des deux coupes. Puisque les Marno-calcaires très riches en rhynchonelles qu'on observe surtout entre 15 et 19 m de notre fouille (fig. 11) ressemblent parfaitement aux «marno-calcaires à Rhynchonella multiformis» (hIe) du Colas, l'hypothèse la plus rationnelle nous paraît d'admettre que la «lumachelle inférieure» du Colas se termine en biseau et n'existe plus au Remblai. Mais, quelle que soit la solution adoptée, le problème illustre bien les variations lithostratigraphiques importantes qu'on rencontre dans l'Hauterivien jurassien.

8. LA PIERRE JAUNE DU MONT-DE-CHAMBLON

(carte nationale de la Suisse 1:25 000, feuille 1203 Yverdon, carte géologique de JORDI, 1955)

8.1. Travaux antérieurs: SCHARDT (1899c, 1900), BAUMBERGER (1903-1910), JORDI (1955)

Si on fait abstraction des observations encore assez sommaires de RENEVIER (1853), la première description faisant ressortir clairement les termes stratigraphiques essentiels est celle de SCHARDT (1899c, 1900). JORDI (1955) ajoute de nombreux détails précieux, surtout en ce qui concerne la subdivision stratigraphique de la Marne bleue dont l'épaisseur totale est estimée par lui à 28-33 m. Ce chiffre ne contient ni la Zone marno-calcaire en haut, ni les Marnes à bryozoaires en bas.

Si on veut comparer les données de JORDI (1955) à celles de SCHARDT (1899c, 1900) on se heurte à la difficulté que ce dernier ne mentionne pas la Zone marno-calcaire au Mont-de-Chamblon. JORDI (1955) constate que lithologiquement cet ensemble est beaucoup plus proche de la Pierre jaune que de la Marne bleue, ce qui paraît être confirmé par nos propres observations. SCHARDT (1899c, 1900) paraît donc avoir inclu la Zone marno-calcaire dans la Pierre jaune.

Il se trouve ainsi que les épaisseurs indiquées par SCHARDT sont presque systématiquement inférieures à celles données par JORDI.

	SCHARDT 1899c, 1900	JORDI 1955
Pierre jaune supérieure	13 m	10-15 m
Marnes d'Uttins	3 m	4,3 m
Pierre jaune inférieure Zone marno-calcaire	15 m	14 m 4 m
Marne bleue	15 m	28-33 m
Marne à bryozoaires	5 m	2,5 m

Nos observations sont plutôt en faveur des chiffres de SCHARDT (1899c, 1900) en ce qui concerne les épaisseurs de la Pierre jaune inférieure (y compris la Zone marno-calcaire) et des Marnes d'Uttins (nom introduit par JORDI, 1955, pour les «Marnes à *Eudesia semistriata*» des anciens auteurs).

8.2. Lithostratigraphie de la carrière des Uttins

(coord. 537,15 / 181,15, fig. 12)

8.2.1. Problèmes techniques

Notre levé a été effectué dans la grande carrière qui est toujours en exploitation à l'extrémité NE du Mont-de-Chamblon, près du hameau des Uttins. Elle correspond à la carrière IV dans la Pl. 2 de JORDI 1955. La coupe a été mesurée en deux tronçons, de haut en bas, à partir d'un zéro arbitraire au sommet du front de taille. Jusqu'aux 11 m de notre coupe (fig. 12) les couches ont été mesurées dans la partie N de la carrière, le reste dans la partie méridionale et centrale. Les deux tronçons se corrèlent facilement en utilisant la base des Marnes d'Uttins comme repère. L'absence des déformations tectoniques appréciables nous permet ainsi d'obtenir des valeurs fidèles des épaisseurs de couches.

8.2.2. Subdivision stratigraphique de la série, comparée aux données de JORDI (1955)

Il y a peu à ajouter aux observations lithologiques très détaillées de JORDI (1955) et nous serons ici principalement concernés par le problème de la subdivision lithostratigraphique de la série.

Notre coupe ne comprend que la partie inférieure de la Pierre jaune supérieure; elle n'atteint donc pas le niveau à stratification oblique décrit par JORDI (1955, fig. 5); les couches qui nous étaient accessibles correspondent à des grainstones plus ou moins glauconieux avec une proportion variable de biogènes. On est surtout frappé par la stratification irrégulière qui donne souvent un aspect noduleux à la roche. Les terriers sont fréquents. Qualitativement, la succession que nous avons observée dans les Marnes d'Uttins correspond, à un minime détail près, à celle indiquée par JORDI (1955, fig. 4). Avec le progrès de l'exploitation, des roches plus fraîches sont mises à nu et l'on voit que la partie moyenne des marnes est gris-bleu à l'origine. Cependant l'épaisseur totale mesurée est différente: nous obtenons 3,3 m au lieu de 4,3 m chez JORDI.

JORDI (1955) a déjà montré que la Pierre jaune inférieure se termine par un banc bien individualisé, grossièrement spathique et très glauconieux (20 dans sa fig. 3; 1 dans sa fig. 4) et dont le toit est perforé par des lithophages. Nous avons retrouvé ce banc (à 6,99 m de notre coupe, fig. 12) et il paraît bien que le toit du banc sous-jacent soit aussi attaqué par les lithophages. Les Marnes d'Uttins marquent donc incontestablement le début d'un cycle sédimentaire majeur.

La hauteur du front de taille actuel, allant des marno-calcaires gris-bleu foncé formant le soubassement de la carrière jusqu'aux Marnes d'Uttins, est de 14 à 15 m. Selon la description lithologique de JORDI (1955) c'est bien au toit de la Marne bleue supérieure que s'arrête actuellement l'exploitation. Cela signifie que la Zone marno-calcaire est comprise dans ce chiffre de 14 à 15 m et que JORDI (1955) a surestimé l'épaisseur de la Pierre jaune inférieure. Le calcaire, dans la partie inférieure de la paroi, est en effet légèrement marneux à certains niveaux. Malheureusement nous n'avons pas réussi à retrouver l'intercalation de marne rousse violacée (6 dans la fig. 3) que JORDI (1955) a utilisée pour définir la limite entre la Zone marno-calcaire et la Pierre jaune. Probablement que le progrès de l'exploitation, mettant à jour ce niveau dans un état plus frais, l'a rendu méconnaissable.

En ce qui concerne la subdivision stratigraphique de la Pierre jaune en ensembles «majeurs», nos résultats sont de nouveau en bon accord avec ceux de JORDI (1955); la présence, au milieu de la Pierre jaune, d'un paquet de 4-5 m (3-4 m selon JORDI) montrant une stratification oblique à grande échelle, est tout à fait frappante.

Mais il est difficile, sinon impossible, de procéder à une subdivision plus détaillée des ensembles à stratification horizontale: des joints marneux, très marqués au N de la carrière, disparaissent si on les suit le long de la paroi; en revanche, d'autres joints apparaissent.

9. LA LIMITÉ PIERRE JAUNE - «URGONIEN» À NEUCHÂTEL

9.1. Introduction

9.1.1. Problèmes généraux concernant la limite Hauterivien-Barrémien dans la région neuchâteloise

Il est peut-être utile de rappeler encore une fois que la limite Hauterivien-Barrémien n'est pas documentée par des ammonites dans le Jura. Tous les auteurs se sont basés sur la définition de RENEVIER (1874) et ont utilisé la limite lithostratigraphique entre Pierre jaune et «Urgonien jaune» qui est ainsi devenue synonyme, sur le plan régional, de la limite Hauterivien-Barrémien (étage que RENEVIER, 1874, n'utilisait pas). La limite Hauterivien-Barrémien, telle qu'elle résulte des zones d'ammonites du domaine mésogénien, ne correspond cependant pas à ce niveau — nous savons maintenant qu'elle se situe plus haut. Mais pour de raisons éminemment pratiques, il nous paraît inutile de vouloir ramener la limite d'étages à une «définition originale» qui est trop imprécise en termes biostratigraphiques. Rappelons aussi que HAEFELI et al. (1965) n'ont pas abordé d'une manière concrète le problème d'une redéfinition éventuelle de la limite Hauterivien-Barrémien dans la région-type historique.

Désormais il faudra donc distinguer clairement entre la limite chronologique entre les étages (âges) Hauterivien et Barrémien, et la limite lithostratigraphique entre Pierre jaune et «Urgonien jaune» et c'est cette dernière qui nous occupera ici.

Ce problème est étroitement lié à celui des Marnes de la Russille. A la suite d'une erreur de JACCARD (1869) ce niveau fût placé entre Pierre jaune et «Urgonien jaune» (CONRAD & MASSE, ce vol.). Par conséquent tous les stratigraphes ont cherché un niveau marneux, les «Marnes de la Russille» auct. comme nous l'appellerons ici, pour définir une limite lithostratigraphique entre Pierre jaune et «Urgonien jaune», niveau qu'il ne faut d'ailleurs pas confondre avec les couches de la Russille, synonyme de l'*«Urgonien»* inférieur ou jaune. La recherche des «Marnes de la Russille» n'a pas toujours été couronnée de succès dans la région neuchâteloise; BURRI (1956) rend compte des difficultés. Dans les Gorges de l'Areuse, SCHARDT & DUBOIS (1903: 278) mentionnent cependant un niveau marno-calcaire de 0,5 m qui repose sur la Pierre jaune caractérisée, elle, par une stratification oblique. Mais MEIA (1965) renonce à séparer cartographiquement «Urgonien jaune» et Pierre jaune dans le même secteur.

Le seul endroit, dans la région neuchâteloise, où les «Marnes de la Russille» seraient bien documentées est la coupe de la Cité Suchard à Serrières, gisement décrit d'une manière si détaillée par FREI (1925: 37-38, fig. 2) qu'il n'y a pas le moindre doute sur le niveau qu'il considère comme représentant des «Marnes de la Russille» auct. C'est la raison pour laquelle nous nous sommes d'abord intéressés au secteur de Serrières pour étudier le passage Pierre jaune-«Urgonien». Au moment où il apparaît qu'une partie notable de l'*Urgonien* jurassien est en réalité d'âge hauterivien, d'autres gisements urgoniens furent inclus dans notre programme de recherche. Ils font l'objet de notes séparées (ARNAUD & MASSE; MASSE, CONRAD & REMANE, tous ce vol.).

9.1.2. Aperçu des coupes étudiées (Atlas géol. de la Suisse 1: 25 000, feuille 1164, Neuchâtel)

Trois coupes ont été levées à Serrières; elles se situent aux endroits et aux niveaux stratigraphiques suivants (de haut en bas):

- 1) En face des Fabriques de Tabac Réunies S.A. («La Brunette», coord. 558,92/203,45) «Urgonien blanc» selon la carte géologique, fig. 13;
- 2) Cité Suchard (coord. 559,53/203,63) passage Pierre jaune-«Urgonien», c'est la coupe de FREI (1925);
- 3) Le Carrousel, à W de Port-Roulant (coord. 559,85/203,86, Pierre jaune supérieure, fig. 14).

Malheureusement il subsiste des lacunes entre ces trois profils, mais elles ne devraient guère dépasser quelques mètres.

La coupe de la Brunette (fig. 13) fût mesurée à partir d'un zéro arbitraire au milieu de la série, correspondant à la base d'un banc blanc riche en macrofossiles, d'une épaisseur d'environ 0,5 m qui est intercalé dans des calcaires jaunes. La partie supérieure de la coupe (0 à + 5 m) a été levée à l'angle SW de la paroi rocheuse longeant la route nationale, la partie inférieure 200 m plus loin, dans la carrière en face de la fabrique de tabacs.

Nous renonçons à une description très détaillée de cette succession qui fait partie d'une révision de l'*Urgonien* du Jura central (thèse de D. ZWEIDLER). Il faut cependant mentionner trois niveaux repères importants pour celui qui voudrait échantillonner à nouveau les niveaux fossilifères (v. ARNAUD & MASSE; CONRAD & MASSE, ce vol.). Ces repères sont, par ordre d'importance:

- 1) une double vire marneuse entre -2,9 et -3,5 m, il s'agit de marno-calcaires noduleux avec un banc plus calcaire au milieu;
- 2) une couche argileuse de 2-3 cm, d'un vert bleu très vif à l'état frais, qui colmate un hard-ground perforé à -6,0 m;
- 3) une couche argileuse analogue, mais plus mince, à -4,7 m, interrompue dans l'angle SW de la carrière par un bioherme à polypiers.

Quant à la coupe de la Cité Suchard, nous ne l'avons pas refigurée ici puisqu'il n'y a rien de spécial à ajouter à la description de FREI (1925).

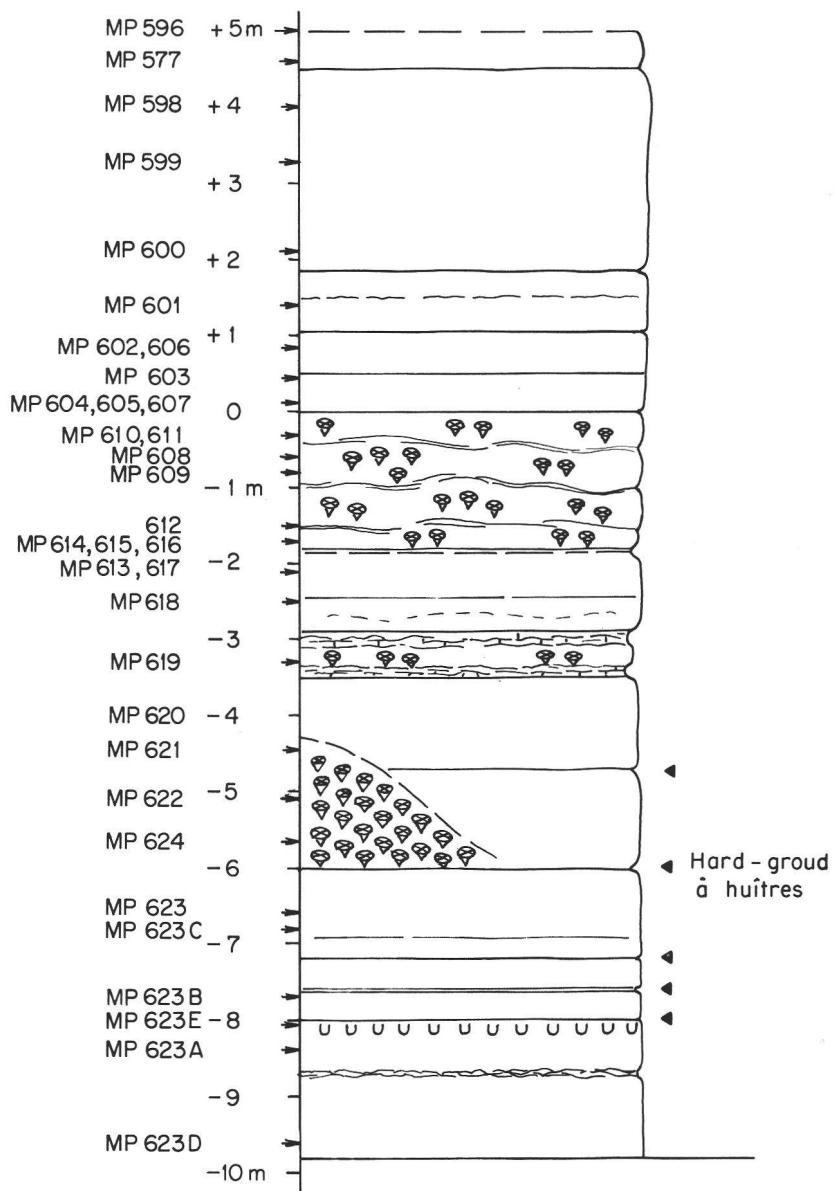


FIG. 13. — «Coup de la Brunette», succession de faciès urgoniens à Serrières, en face des Fabriques de Tabac Réunies S.A. Position des échantillons indiquée à gauche; triangles noirs à droite: hard-grounds.

«Brunette section» at Serrières, across from the «Fabriques de Tabac Réunies S.A.», showing a succession of urgonian type, mostly intra and biopelites, but also biomicrites. The most important change compared to the underlying Pierre jaune is the appearance of corals, forming biostromes and small biotherms. Position of samples indicated at left; black triangles at right: hard-grounds.

Jusqu'à une époque très récente, la coupe du lieu dit «Le Carrousel» (fig. 14) était cachée par un grand immeuble érigé directement devant la paroi rocheuse. De ce fait, ce profil n'a pas été observé par FREI (1925) et nous ne l'avons levée qu'après la démolition de l'immeuble en question. La coupe a été mesurée à partir d'un zéro arbitraire correspondant à la base de l'affleurement. Deux niveaux peuvent être reconnus sans ambiguïté :

- 1) une microbrèche calcaire d'environ 0,3 m d'épaisseur, dont la base est soulignée par un contact érosif net (à 1,5 m);
- 2) une vire entre 4,1 et 5,65 m, formée par des marno-calcaires noduleux. Le toit est formé par un banc calcaire dur de 0,35 m sur lequel on observe une petite récurrence de marno-calcaire noduleux.

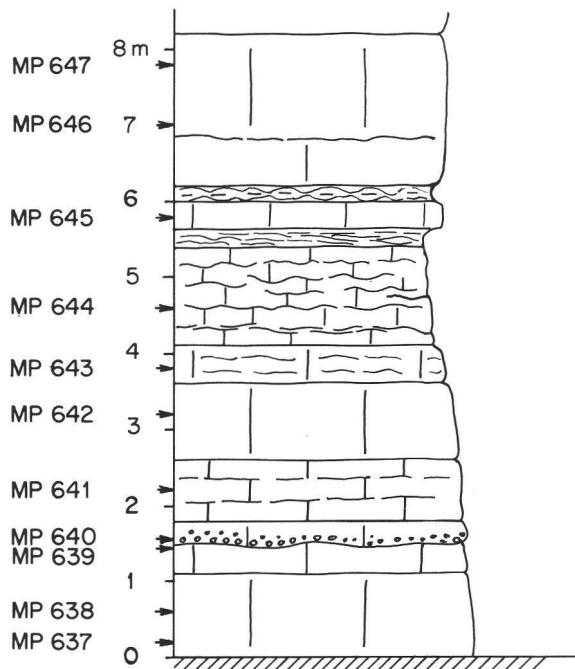


FIG. 14. — Partie supérieure de la Pierre jaune au lieu dit «Le Carrousel» près de Port-Roulant, Neuchâtel. Comme aux autres localités, la Pierre jaune est constituée de grainstones de composition très variable; seul le niveau bréchique à 1,5 m a été mis en évidence.

Upper Pierre jaune at «Le Carrousel» near Port-Roulant, Neuchâtel. The Pierre jaune is built up of diverse grainstones, often imperfectly cemented friable oosparites. Besides two marly intercalations, between 5,5 and 6,2 m, a limestone breccia of 0,3 m (at 1,5 m) is easily recognizable. Cross-bedding, characteristic of the main part of the Pierre jaune, is un conspicuous or completely missing in this part of the succession.

9.2. L'évolution des faciès au passage Pierre jaune - «Urgonien»

La Pierre jaune affleure sous sa forme la plus typique, avec une stratification oblique très prononcée, tout au long de la falaise qu'on suit depuis le centre de Neuchâtel jusqu'au lieu dit «Le Carrousel». La série qui affleure en ce point marque un premier changement dans les conditions de dépôt. La stratification oblique disparaît presque totalement et la roche est formée de grainstones blanc-jaunâtre (plus clairs que la Pierre jaune typique). Il s'agit le plus souvent d'oosparites mal cimentées d'où leur allure crayeuse, avec de rares grains glauconieux. Nous sommes bien sûr toujours en présence de dépôts d'un milieu agité, comme en témoigne surtout la microbrèche calcaire, mais en même temps la vire marno-calcaire traduit un premier épisode plus calme.

On retrouve les mêmes oosparites, ou oopelsparites avec traces de glauconie à la Cité Suchard, également mal cimentées et en plus avec imprégnations d'asphalte (FREI, 1925). Les «Marnes de la Russille» n'atteignent guère qu'une épaisseur de 0,5 m. Un nouveau changement des conditions de dépôt se fait sentir et se marque dans le niveau sus-jacent (niveau 8 de FREI, 1925) qui correspond à un calcaire noduleux (biomicrite) renfermant entre autres des coraux. C'est la première apparition — quoique passagère — d'un faciès de type «Urgonien jaune».

A cause de la rareté des affleurements entre la coupe de la Cité Suchard et celle de la Brunette, il est difficile de dire s'il existe un «Urgonien jaune» bien développé en cet endroit. Ce qu'on voit dans la carrière de la Brunette correspond à une alternance de faciès «Urgonien jaune» et «Urgonien blanc», phénomène déjà observé par SCHARDT & DUBOIS (1903: 276) et par FREI (1925: 44).

Le faciès «Urgonien jaune» est ici représenté par des calcaires jaunes d'apparence noduleuse, des biomicrites et biopelmicrites, parfois légèrement lessivées et très riches en fossiles (polypiers, bryozoaires massifs, stromatopores, sphinctozoaires, brachiopodes, échinodermes) malheureusement impossibles à dégager de la roche encaissante. L'élément le plus significatif de ce faciès, ce sont les constructions récifales; il faut surtout mentionner le biostrome corallien entre 0 et -1,7 m qui occupe toute l'étendue de l'affleurement et le bioherme déjà mentionné plus haut, entre -4,4 et -6,0 m. Les polypiers sont toujours fortement attaqués par des bivalves perforateurs du groupe *Lithophaga*.

Le faciès «Urgonien blanc» est surtout représenté par des grainstones grossiers, mal cimentés (imprégnations d'asphalte!) qui forment, dans la partie inférieure de la carrière, plusieurs séquences sédimentaires se terminant chaque fois par un hard-ground ou fond durci perforé, parfois colonisé d'huîtres, qui à son tour est recouvert par une pellicule centimétrique d'argile vert-bleu.

Ce sont surtout les faciès de type «Urgonien jaune» qui attestent une tendance régressive générale, menant d'un milieu de bordure de plate-forme (Pierre jaune à stratification oblique) à des environnements de plate-forme interne.

La description de profils que nous venons de donner montre qu'il existe au moins trois intercalations marnocalcaires qui pourraient théoriquement correspondre aux «Marnes de la Russille» auct., même si c'est peu vraisemblable pour le niveau supérieur de la Brunette. Mais il est déjà beaucoup plus probable que le niveau inférieur (du Carrousel) soit l'équivalent de l'intercalation marneuse que SCHARDT & DUBOIS (1903) ont utilisée pour délimiter la Pierre jaune vers le haut, à peine 7 km plus à l'WSW dans les Gorges de l'Areuse. Reste à savoir à quoi ce niveau peut bien correspondre en dehors de la région neuchâteloise; peut-être aux Marnes d'Uttins?

Il apparaît donc que les essais de corrélation lithostratigraphique ne permettent pas d'obtenir de résultats sûrs. Mais sur le plan local, pour définir une limite entre Pierre jaune et «Urgonien jaune», le choix de FREI (1925) s'avère être le plus judicieux car au-dessus du niveau marneux de la Cité Suchard, pour la première fois dans cette série apparaissent les faciès coralligènes si caractéristiques de l'«Urgonien jaune». Rappelons seulement que la limite Hauterivien-Barrémien se situe plus haut dans la série.

10. BIBLIOGRAPHIE

- ARNAUD, A. & MASSE, — (1989). Les foraminifères benthiques de l'Hauterivien-Barrémien p.p. du Jura vaudois et neuchâtelois (Suisse). *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 257-276, Neuchâtel.
- BARTENSTEIN, H. — (1989). Foraminifera from the «série marno-calcaire» of the Hauterivian of the Jura Mountains. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 187-203, Neuchâtel.
- BAUMBERGER, E. — (1901). Über Facies und Transgressionen der untern Kreide am Nordrande der mediterrano-helvetischen Bucht im westlichen Jura. *Wiss. Beil. Ber. Töchterschule Basel*: 1-44, Basel.
- (1903-1910). Fauna der untern Kreide im westschweizerischen Jura. *Abh. schweiz. paläont. Ges.* I (1903) 30: 60 S., Taf. 1-3; II (1906a) 32: 80 S., Taf. 4-13; III (1906b) 33: 29 S., Taf. 14-18; IV (1907) 34: 45 S., Taf. 19-24; V (1908) 35: 40 S., Taf. 25-28; VI (1910) 36: 57 S., Taf. 29-33, Basel.
- BAUMBERGER, E. & MOULIN, H. — (1899). La série néocomienne à Valangin. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.*, 26: 150-210, Neuchâtel.
- BURRI, F. — (1956). Die Rhynchonelliden der Unteren Kreide (Valanginien-Barrémien) im westschweizerischen Juragebirge. *Eclogae geol. Helv.* 49: 599-703, Basel.

- BUSNARDO, R. & THIEULOUY, J.-P. — (1989). Les Ammonites de l'Hauterivien jurassien: Révision des faunes de la région du stratotype historique de l'étage hauterivien. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 101-147, Neuchâtel.
- CLAVEL, B. — (1989). Echinides du Crétacé inférieur jurassien: stratigraphie, paléoécologie, paléontologie. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 149-182, Neuchâtel.
- CONRAD, M.A. & MASSE, J.-P. — (1989). Corrélation des séries carbonatées de l'Hauterivien et du Barrémien p.p. dans le NW vaudois (Suisse). *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.*, 11: 307-322, Neuchâtel.
- DÉSOR, E. & GRESSLY, A. — (1859). Etudes géologiques sur le Jura neuchâtelois. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 4: 1-159, Neuchâtel.
- DONZE, P. & THIEULOUY, J.-P. — (1975). Sur l'extrême condensation du Valanginien supérieur dans le Jura neuchâtelois. *C. R. Acad. Sci. (Paris)* 280: 1661-1664, Paris.
- FREI, E. — (1925). Zur Geologie des südöstlichen Neuenburger Jura, insbesondere des Gebietes zwischen Gorges de l'Areuse und Gorges du Seyon. *Beitr. geol. Karte Schweiz*, NF 55: 1-98, Bern.
- HAEFELI, Ch., MAYNC, W., OERTLI, H.J. & RUTSCHI, R.F. — (1965). Die Typus-Profile des Valanginien und Hauterivien. *Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing.* 31: 41-75, Basel.
- JACCARD, A. — (1869). Description géologique du Jura vaudois et neuchâtelois. *Matér. Carte géol. Suisse*, 6: 336 p., 8 pl., Berne.
- (1893). Contributions à la géologie du Jura III. Sur les différents niveaux à Spongiaires dans le Crétacé du Jura. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 21: 61-66, Neuchâtel.
- JORDI, H.-A. — (1955). Geologie der Umgebung von Yverdon (Jurafuss und mittelländische Molasse). *Beitr. geol. Karte Schweiz*, NF 99: 1-87, Bern.
- KIRÁLY, L. — (1964). Etude de la stratification entrecroisée dans la Pierre jaune (Hauterivien supérieur) aux environs de Neuchâtel (Suisse). *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 87: 181-207, Neuchâtel.
- LORIOL, P. de & GILLIÉRON, V. — (1869). Monographie paléontologique et stratigraphique de l'étage urgonien inférieur du Landeron (Cant. de Neuchâtel). *Nouv. Mém. Soc. helv. Sci. nat.* 23: 109-228, Bâle.
- MASSE, J.-P., CONRAD, M.A. & REMANE, J. — (1989). Le calcaire à *Pachytraga tubiconcha* (rudiste), épisode urgonien de l'Hauterivien carbonaté du Jura franco-suisse. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 73-80, Neuchâtel.
- MEIA, J. — (1965). Géologie de la Montagne de Boudry (Jura neuchâtelois, Suisse). *Bull. Soc. neuchâtel. Géogr.* 53: 1-47, Neuchâtel.
- REMANE, J. — (1982). Die Kreide des Neuenburger Juras. *Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver.* NF 64: 47-59, Stuttgart.
- (1989). — The historical type Hauterivian of the Jura Mountains: original definition, actual concept, lithostratigraphic subdivision. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 9-18, Neuchâtel.
- RENEVIER, E. — (1853). — Note sur le terrain néocomien qui borde le pied du Jura, de Neuchâtel à la Sarraz. *Mém. Soc. vaud. Sci. nat.* 3: 261-277, Lausanne.
- (1874). Tableau des terrains sédimentaires formés pendant les époques de la phase organique du globe terrestre avec leurs représentants en Suisse et dans les régions classiques, leurs synonymes et les principaux fossiles de chaque étage. *Bull. Soc. vaud. Sci. nat.* 13: 218-252, Lausanne.
- RITTENER, Th. — (1902) Etude géologique de La Côte-aux-Fées et des environs de Sainte-Croix et de Baulmes. *Matér. Carte géol. suisse*, n.s. 13: 1-116, Berne.
- SCHARDT, H. — (1895). L'âge de la marne à Bryozoaires et la coupe du Néocomien à Collaz, près de Sainte-Croix. *Eclogae geol. Helv.* 4: 379-383, Bâle.
- (1899a). Sur un lambeau de calcaire cénomanien dans le Néocomien à Cressier. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 26: 239-250, Neuchâtel.
- (1899b). Sur les marnes à Bryozoaires des environs de Sainte-Croix. *Eclogae géol. Helv.* 6: 123, Bâle.
- (1900). Compte rendu des excursions de la Société géologique suisse, juillet-août 1899. *Eclogae geol. Helv.* 6: 124-155, Bâle.
- (1908). Sur le résultat de sondages dans le Néocomien du Vauseyon et le profil géologique d'une nouvelle percée pour le détournement du Seyon. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 34: 186-206, Neuchâtel.
- SCHARDT, H. & DUBOIS, A. — (1903). Description géologique de la région des Gorges de l'Areuse (Jura neuchâtelois). *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 30: 195-352, Neuchâtel et *Eclogae geol. Helv.* 7: 367-476, Bâle.
- THIRRIA, E. — (1836). Mémoire sur le terrain jura-crétacé de la France-Comté. *Ann. des mines*, 3^e sér. 10: 95-146, Paris.

Mémoires de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles	Tome XI	p. 49-72, 6 fig.	Neuchâtel, 1989
--	---------	------------------	-----------------

L'HAUTERIVIEN DU JURA DU BASSIN GENEVOIS

par

Jean CHAROLLAIS, Bernard CLAVEL, Robert BUSNARDO et Benoît MAURICE

Recherche subventionnée

par le Fonds national suisse de la recherche scientifique (crédits N° 2.434.075 et 2.315-0.84)

ABSTRACT.—Cretaceous formations from Jura mountains around Geneva (Switzerland), classically considered as Hauterivian, were re-examined at Salève, Vuache and Mont-de-Musièges localities. Based on new exposures, lithological, paleontological and sedimentological analyses indicate that the so-called "Marnes d'Hauterive" and "Pierre jaune de Neuchâtel" terminology cannot be applied as such neither in Genevese Basin, nor in the rest of Southern Jura. It is shown that the formations between the top of "Calcaire à *Alectryonia rectangularis*" and "Urgonien jaune" represent the interval *Callidiscus* (uppermost Valanginian) — *Cruasense* (Top of Lower Hauterivian).

ZUSAMMENFASSUNG. — Die traditionsgemäss dem Hauterivian zugeordneten Formationen des Juragebirges in der Gegend von Genf wurden am Salève, am Vuache und am Mont-de-Musièges untersucht. Durch den Bau des Autobahntunnels durch den Vuache und durch Strassenerneuerungen am Mont-de-Musièges wurden neue Aufschlüsse geschaffen, welche eine vollständige und detaillierte Studie erlaubten. Die lithologische, paläontologische und sedimentologische Analyse zeigt, dass die generell akzeptierte Terminologie «Marnes d'Hauterive» und «Pierre jaune de Neuchâtel» im Genfer Becken und im restlichen Südjura nicht mehr uneingeschränkt angewendet werden kann, und dass der Abschnitt zwischen dem Dach des «Calcaire à *Alectryonia rectangularis*» und dem «Urgonien jaune» nur das Intervall *Callidiscus* (oberstes Valanginian) — *Cruasense* (Dach des Unter-Hauterivian) umfasst.

RÉSUMÉ. — Les formations jurassiennes des environs de Genève classiquement attribuées à l'Hauterivien, ont été étudiées au Salève, au Vuache et au Mont-de-Musièges. Dans ces deux dernières localités, des travaux (tunnels d'autoroute, rafraîchissement de talus) ont dégagé de nouveaux affleurements et ont permis de faire une étude complète et détaillée. L'analyse lithologique, paléontologique et sédimentologique démontre que la terminologie généralement adoptée «Marnes d'Hauterive» et «Pierre jaune de Neuchâtel» ne peut plus être appliquée telle quelle dans le secteur du Bassin genevois comme dans tout le reste du Jura méridional et que les terrains compris entre le sommet du Calcaire à *Alectryonia rectangularis* et l'Urgonien jaune ne représentent que l'intervalle *Callidiscus* (Valanginien sommital) — *Cruasense* (sommet de l'Hauterivien inférieur).

SOMMAIRE

	Pages
1. INTRODUCTION	51
1.1. Historique	51
1.2. Présentation des coupes étudiées	51
1.3. Terminologie	53
2. SALÈVE	53
2.1. Calcaire roux et Calcaire à <i>Alectryonia rectangularis</i>	53
2.2. Partie inférieure (équivalent des Marnes d'Hauterive; sens JOUKOWSKY & FAVRE, 1913)	53
2.3. Partie supérieure (équivalent de la Pierre jaune de Neuchâtel; sens JOUKOWSKY & FAVRE, 1913)	56
3. VUACHE	57
3.1. Calcaire roux	57
3.2. Calcaire à <i>Alectryonia rectangularis</i>	59
3.3. Niveau à <i>Teschenites</i> sp.	59
3.4. «Marnes d'Hauterive»	60
3.5. «Pierre jaune de Neuchâtel»	61
3.6. Formation des Calcaires urgoniens	62
3.7. Conclusions	63
4. MONT-DE-MUSIÈGES	65
4.1. Marnes du Valanginien sommital	66
4.2. «Marnes d'Hauterive»	67
4.3. «Pierre jaune de Neuchâtel»	68
4.4. Formation des Calcaires urgoniens	69
4.5. Corrélations	69
5. CONCLUSIONS	71
6. BIBLIOGRAPHIE	72

1. INTRODUCTION

1.1. Historique

Les coupes naturelles qui permettent d'étudier les formations de l'étage Hauterivien sont rares dans le Jura méridional. MOUTY (1966) dont la thèse sur le «Néocomien dans le Jura méridional», constitue le premier travail stratigraphique synthétique de cette région, ne décrit qu'une seule coupe complète, attribuée à l'Hauterivien, celle du Mont-de-Musièges. Jusqu'à présent, le géologue ne dispose dans le Jura méridional, aux environs de Genève, que de quatre affleurements de référence dans lesquels il peut observer une succession à peu près complète des formations attribuées à l'Hauterivien (fig. 1).

Au Salève, les coupes de la Varappe et de la Petite Gorge décrites par JOUKOWSKY & FAVRE (1913) restent difficiles d'accès; de plus, certains niveaux marneux sont couverts par la végétation.

A l'extrémité septentrionale du Vuache, le long de la D908A reliant Vulpens à Arcine, sur la rive gauche du Rhône, SCHARDT (1891, pl. V) a décrit avec beaucoup de précision les formations d'âge Crétacé. Comme les affleurements sont discontinus, entrecoupés par des zones de végétation, SCHARDT, auteur d'une monographie remarquable sur le Vuache, a complété les lacunes d'observations en transposant certaines portions de coupes relevées en d'autres secteurs. Ainsi, écrit-il, à propos de l'Hauterivien inférieur (p. 67): «Pour ne pas laisser en blanc cette lacune du profil, j'ai intercalé ici, sur la planche V, la coupe des Marnes d'Hauterive, observées près de Chaumont, à l'autre extrémité du chaînon.» Cette démarche est risquée, car les variations latérales de faciès sont communes dans la montagne du Vuache; ceci vient d'être confirmé par CHAROLLAIS et al. (1983). D'ailleurs, ce phénomène avait déjà été remarqué par SCHARDT lui-même, à propos du Valanginien sommital, puisqu'il relevait (p. 69): «A Chaumont, à l'autre extrémité du Vuache, le calcaire à *Ostrea rectangularis* paraît plus épais que sur la route d'Arcine. Ici, il n'a que 13 m d'épaisseur, tandis que l'Hauterivien I de Chaumont a 20 m au moins.» Ces variations de faciès et d'épaisseur avaient aussi été mis en évidence par plusieurs géologues, notamment WAGNER (1962) et MOUTY (1966).

A l'extrémité méridionale du Vuache, plus exactement au Mont-de-Musièges, le long de la route reliant le Malpas à Musièges, MOUTY (1966) a pu décrire en détail les affleurements attribués à l'Hauterivien. Cependant, le couvert végétal a empêché l'auteur de suivre avec précision les différentes lithologies des «Marnes d'Hauterive» (niveaux 46 à 48, p. 51) et spécialement les faciès les plus argileux.

Dans la Haute-Chaine du Jura, une route qui monte en lacets de Confort à Menthières a été entaillée dans les formations d'âge Hauterivien; elles ont été minutieusement décrites par VIÉBAN (1983). Là encore, des lacunes d'observation restreintes sans doute, affectent la base et le sommet de la coupe. Selon l'auteur (p. 209) «les premiers bancs correspondent à des petits bancs bioclastiques du Valanginien affleurant au bord de la route à la limite pré-forêt. Les derniers bancs sont des calcaires à rudistes affleurant à la sortie du dernier virage avant d'arriver sur le plateau de Menthières».

En conclusion, aucune coupe absolument complète et d'accès aisément, représentative des faciès de l'Hauterivien n'affleure naturellement dans les environs de Genève, dans un rayon d'une cinquantaine de kilomètres.

1.2. Présentation des coupes étudiées

Dès 1978, une galerie de reconnaissance et deux tunnels ont été percés dans le flanc oriental de l'anticinal faillé du Vuache, pour le passage de l'autoroute A42 reliant la vallée de l'Arve à la Bresse. Grâce à l'amabilité de l'entreprise Scetauroute et de son géologue P. Bienfait, que nous remercions très vivement, nous avons relevé une coupe lithologique banc par banc, et échantillonné tous les faciès attribués par les auteurs à l'Hauterivien. Comme les galeries ont été percées à l'explosif, il a été possible d'extraire des ammonites et d'autres fossiles, soit au front de taille, soit dans les remblais. Aujourd'hui, l'intérieur de ces tunnels est bétonné; c'est regrettable pour les géologues, car la coupe des galeries du Vuache restera la seule coupe complète d'Hauterivien (avec celle du Mont-de-Musièges) qui aura été échantillonnée de bout en bout dans les environs de Genève!

Dans cette étude sur la révision de l'étage Hauterivien, il nous a semblé indispensable de faire référence à une coupe qui restera toujours accessible; c'est pourquoi, nous avons fait rafraîchir à la pelle mécanique la

coupe du Mont-de-Musièges, déjà décrite avec beaucoup de détail par MOUTY (1966), mais qui demandait cependant une révision tant sur le plan lithologique que sur le plan paléontologique. D'autre part, cette coupe qui affleure le long de la route reliant le Malpas au village de Musièges offre une grande similitude avec la coupe de Menthières décrite récemment par VIÉBAN (1983).

Dans le cadre de la révision de l'étage Hauterivien du domaine jurassien de la région genevoise, trois coupes seront donc représentées (fig. 1) :

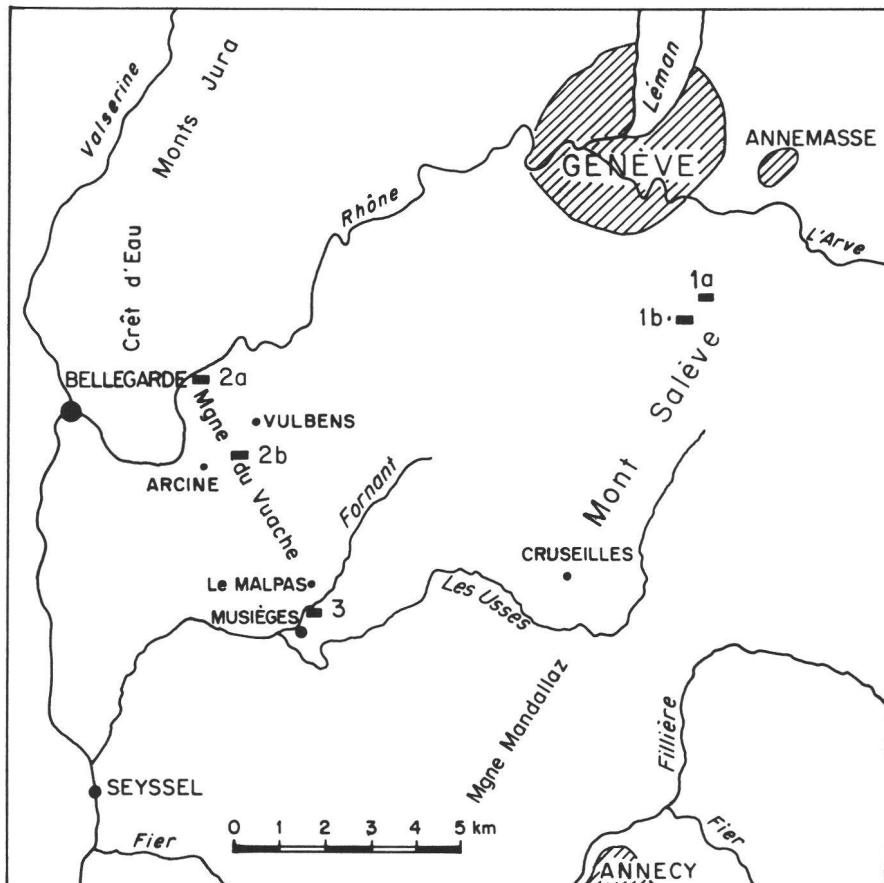


FIG. 1. — Emplacement des coupes lithologiques.

1. Coupes du Salève
 - 1a: Petite Gorge (partie supérieure).
 - 1b: Gorge de la Varappe (partie inférieure).
 2. Coupes du Vuache
 - 2a: Route Vulkens-Arcine (D908A); coupe relevée par SCHARDT (1891).
 - 2b: Coupe synthétique de la galerie de reconnaissance et des deux tunnels de l'autoroute A42, sur le versant oriental de la Montagne du Vuache.
 3. Coupe du Mont-de-Musièges, entre Le Malpas et Musièges (rive gauche du Fornant).
- Au Salève, la coupe de la Grande Varappe, que nous n'avons pas relevée nous-mêmes mais qui a été échantillonnée récemment par GORIN & FROIDEVAUX (inédit) en vue d'une analyse palynologique. D'autre part, nos propres récoltes d'ammonites en plusieurs points du Salève apportent de nombreux éléments de datation.
 - Sur le versant oriental du Vuache, la coupe de la galerie de reconnaissance et des tunnels de l'autoroute A42, avec référence à la coupe de SCHARDT (1891) relevée entre Vulkens et Arcine, le long de la route D908A.

— Sur le versant occidental du Vuache, la coupe du Mont-de-Musièges qui a été complètement rééchantillonnée après un rafraîchissement à la pelle mécanique et dans laquelle de nombreuses découvertes d'ammonites et d'échinides ont permis des datations. La coupe de Menthières offrant de nombreuses similitudes avec celle-ci, il nous a semblé superflu de la présenter ici.

1.3. Terminologie

A force de vouloir paralléliser les faciès du Jura neuchâtelois avec ceux du Jura méridional, les auteurs en sont parfois venus à appliquer aveuglément une nomenclature certes valable dans la région stratotypique, mais difficile à transposer dans les environs de Genève et particulièrement au Salève, au Vuache et au Mont-de-Musièges. Cette remarque est importante, car combien de géologues se sont heurtés à des difficultés de cartographie devant les formations hauteriviennes. D'ailleurs, n'oublions pas que sur leur carte du Salève pourtant au 1: 25 000, JOUKOWSKY et FAVRE ne donnent qu'une seule couleur pour tout l'« Hauterivien » alors que dans leur monographie, ces auteurs distinguent nettement une partie inférieure (Marnes d'Hauterive) et une partie supérieure (Pierre jaune de Neuchâtel). Aussi, avons-nous renoncé à appliquer dans le Bassin genevois, la terminologie lithostratigraphique formelle définie dans la région neuchâteloise. Les termes de « Marne (bleue) d'Hauterive » et de « Pierre jaune (de Neuchâtel) » seront utilisés ici dans un sens purement lithologique.

2. SALÈVE (fig. 2)

Dans leur importante monographie sur le Salève, JOUKOWSKY et FAVRE (1913) décrivent et figurent des coupes dans les formations attribuées au Valanginien et à l'Hauterivien : Calcaire roux, Calcaire à *Alectryonia rectangularis*, Marnes d'Hauterive et Pierre jaune de Neuchâtel. Pour ces deux dernières formations, ces auteurs préfèrent parler de « partie inférieure à faciès marneux » et « partie supérieure à faciès calcaire » (fig. 2).

2.1. Calcaire roux et Calcaire à *Alectryonia rectangularis*

JOUKOWSKY et FAVRE évaluent à environ 33 m l'épaisseur du Calcaire roux et à 11 m celle du Calcaire à *Alectryonia rectangularis*, dans la gorge de la Grande Varappe. Ils repèrent vers le milieu du Calcaire roux (caractérisé par des faciès bioclastiques, calcarénitiques, parfois oolithiques), un niveau de 1,80 m « formé de galets oolithiques bleus ou roux, roulés et aplatis, parfois perforés par des mollusques lithophages (...). Cette couche curieuse, dont le caractère rappelle celui d'une plage de galets, indique donc une émersion au milieu de l'étage, fait intéressant et non signalé encore ». Nous considérons provisoirement cette zone comme le contact entre le Membre du Guiers et la Formation du Bourget, tel que l'ont défini STEINHAUSER & LOMBARD (1969). Quant au Calcaire à *Alectryonia rectangularis*, JOUKOWSKY & FAVRE le rattachent (1913: 337) avec raison au Valanginien, à l'instar de BAUMBERGER (1903-1910).

2.2. Partie inférieure

(équivalent des Marnes d'Hauterive ; sens JOUKOWSKY & FAVRE, 1913)

Les formations attribuées à l'Hauterivien par les auteurs ont été relevées par JOUKOWSKY & FAVRE en deux points du Salève : partie inférieure marneuse dans la gorge de la Grande Varappe et partie supérieure calcaire dans la paroi de la rive gauche de la Petite Gorge. Récemment, GORIN & FROIDEVAUX¹ ont échantillonné à la Grande Varappe, les faciès marneux rattachés aux Marnes d'Hauterive.

Nous résumerons brièvement la succession lithologique de la partie inférieure marneuse de l'« Hauterivien » à partir de diagnoses de JOUKOWSKY & FAVRE et en reprenant nos propres observations sur les affleurements de la route reliant le Coin à la Croisette (CHAROLLAIS et al., 1981).

¹ Nous remercions ces deux collègues d'avoir bien voulu nous mettre à disposition leur matériel.

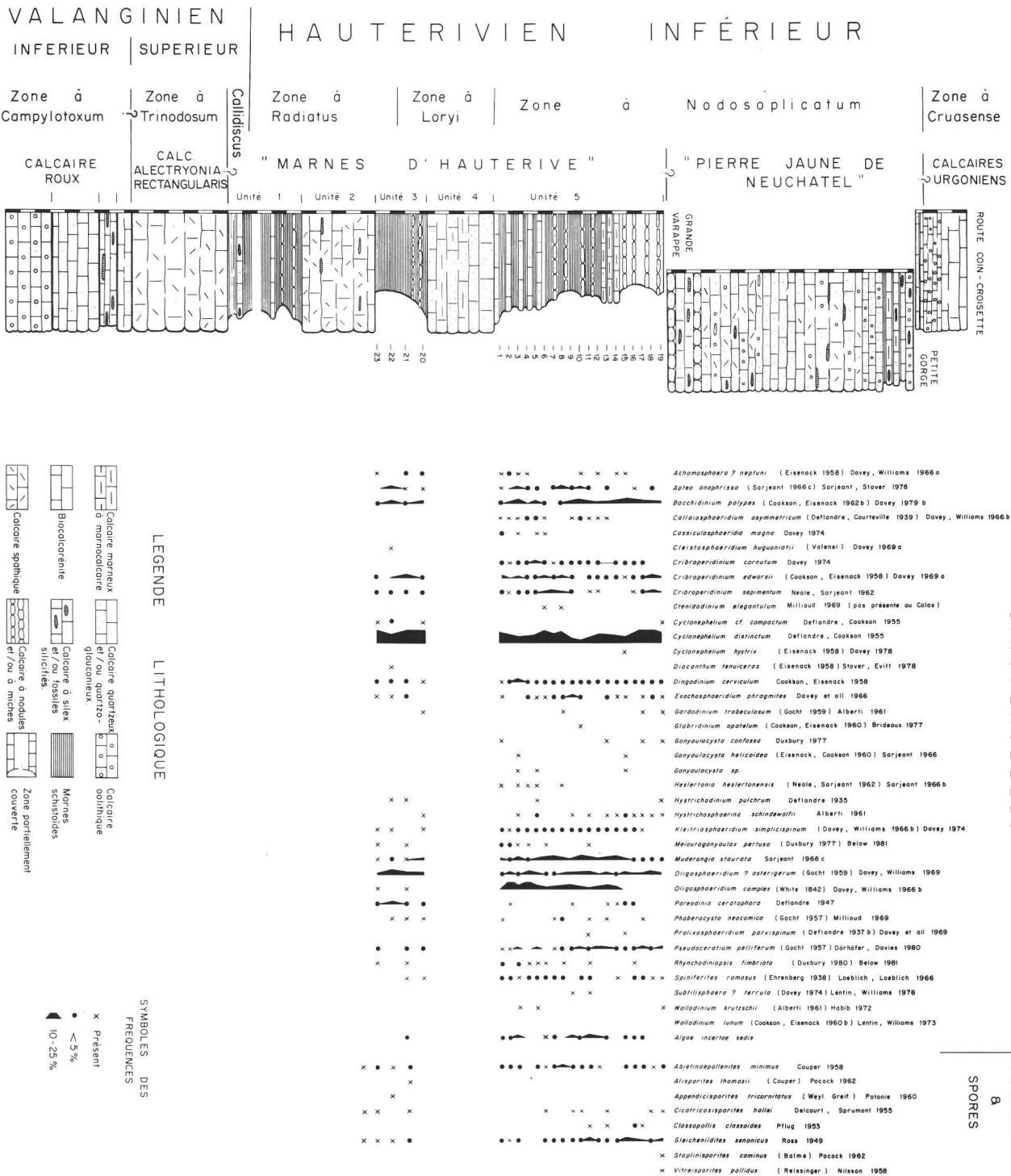


FIG. 2. — Coupe synthétique des formations du Valanginien et de l'Hauterivien inférieur du Salève, d'après JOUKOWSKY & FAVRE (1913), GORIN & FROIDEVAUX (inédit) et CHAROLLAIS et al. (1981).

A gauche de la colonne lithologique, chaque espace alternativement noir et blanc correspond à 2 m.

Les associations palynologiques ont été déterminées par FAUCONNIER (Palynologie de l'Hauterivien, ce vol.).

JOUKOWSKY & FAVRE (1913) citent de nombreux fossiles, notamment des ammonites, recueillis et étudiés par DE LORIOL (1861). Tous ces fossiles sont déposés au Museum d'Histoire naturelle de Genève. Malheureusement, leur position stratigraphique est imprécise et des mélanges de niveaux sont évidents, de telle sorte que ces collections sont inutilisables pour la datation des couches. De nouvelles découvertes d'ammonites et d'échinides, en plusieurs points du Salève, nous permettent cependant d'apporter des précisions biostratigraphiques.

Au-dessus du Calcaire à *Alectryonia rectangularis*, JOUKOWSKY & FAVRE distinguent de bas en haut, cinq unités lithologiques qu'ils assimilent aux Marnes d'Hauterive et dont ils estimate l'épaisseur à 59 m (p. 337). De haut en bas (fig. 2):

Unité 1 10 m

(niveaux 1 et 2 de J. & F.) Zone en partie couverte par la végétation, probablement à prédominance marneuse avec néanmoins quelques bancs de biocalcarénites quartzo-glaconieuses.

Unité 2 10 m

(niveau 3 de J. & F.) Biocalcarénite spathique bleue ou rousse, peu quartzée, riche en glauconie.

Unité 3 7 m

(niveaux 4 et 5 de J. & F.) Marnes bleues, jaunes ou vertes, peu glauconieuses, avec, au sommet, des nodules plus carbonatés et de petits silex.

Ces faciès sont les plus fossilifères et ont fourni des céphalopodes (ammonites et belemnites), des gastéropodes, des lamellibranches, des brachiopodes, des échinodermes, des bryozoaires, des spongiaires dont les espèces les plus importantes sont citées dans la monographie du Salève (JOUKOWSKY & FAVRE, 1913: 340).

Unité 4 9 m

(niveau 6 de J. & F.) Bancs de calcaires très quartzés (jusqu'à 42 % de quartz détritique), pauvres en glauconie, avec silicifications. Ces bancs forment un mur dans la topographie et ont été reconnus en plusieurs points du Salève.

Unité 5 23 m

(niveaux 7 à 10 de J. & F.) Alternances plus ou moins bien marquées de niveaux marneux quartzo-glaconieux et de bancs à miches plus carbonatées; la proportion de marnes est plus grande au milieu et au sommet de la séquence. JOUKOWSKY & FAVRE ne signalent que *Toxaster retusus*, mais cette unité renferme une riche macrofaune et spécialement des ammonites.

Cette unité correspond au sommet de la coupe B et partiellement à la coupe D, décrites en détail par CHAROLLAIS et al. (1981, p. 43 à 46 et fig. 22).

L'analyse lithologique de la partie inférieure de l'«Hauterivien» appelle quelques commentaires. En premier lieu, le vocable «Marnes d'Hauterive» ne peut guère s'appliquer au Salève, car s'il est vrai que la série qui vient d'être décrite présente une dominante marneuse, il ne faut pas cependant négliger et passer sous silence l'importance des unités calcaires. Et, ceci d'autant plus que, comme le font remarquer JOUKOWSKY & FAVRE (p. 339), ces unités sont constituées de «microbrèches parfois oolitiques, parfois spathiques, à débris d'organismes très variés (...). Elles sont très semblables à celles que nous avons décrites dans le Valanginien et à celles de la partie supérieure de l'Hauterivien».

Quant à l'interprétation des faciès, qui composent ces cinq unités lithologiques, elle conduit à l'élaboration d'un modèle sédimentaire assez complexe. En effet, la partie inférieure de l'«Hauterivien» est caractérisée par des marnes et marnocalcaires à spicules de spongiaires et à céphalopodes parfois abondants (unité 3); ce type de faciès et d'association faunistique correspond à un domaine circalittoral de faible énergie. Or, JOUKOWSKY & FAVRE signalent des intercalations de «microbrèches parfois oolitiques» qui doivent être interprétées comme des coulées sableuses distales dont l'origine est à rechercher dans le domaine infralittoral. Cet exemple démontre que la reconstitution des paléoenvironnements de la partie inférieure de l'«Hauterivien» reste complexe et nécessiterait un relevé minutieux des figures sédimentaires ainsi qu'une analyse des microfaciès et du cortège paléontologique. Ce travail n'a pu être effectué que dans la coupe de la galerie de reconnaissance et dans les tunnels de l'autoroute A42 traversant le Vuache. Au Salève, les coupes restent difficiles d'accès et les niveaux marneux sont partiellement couverts par la végétation.

La «partie inférieure à faciès marneux» de l'«Hauterivien» de JOUKOWSKY & FAVRE (= unités 1 à 4) appartiennent aux Zones à Radiatus et Loryi. En effet, ont été trouvés, en divers points du Salève, notamment *Acanthodiscus radiatus*, *A. pseudoradiatus*, *Leopoldia leopoldina*, *Breistrofferella castellanensis*, *Saynella clypeiformis*, *Crioceratites* sp.

L'unité 5 correspond à la base de la Zone à Nodosoplicatum; elle a fourni *Lyticoceras nodosoplicatum*, *Lyticoceras* sp., *Saynella clypeiformis* (Grande Varappe, Pointe du Plan, gare du téléphérique, Etrembières).

2.3. Partie supérieure

(équivalent de la Pierre jaune de Neuchâtel; sens JOUKOWSKY & FAVRE, 1913)

Il est difficile d'évaluer l'épaisseur de la partie supérieure de l'Hauterivien, d'après le texte de JOUKOWSKY & FAVRE. En effet, ces auteurs (p. 337) lui attribuent 35 m, alors que plus loin (p. 340), ils estiment la puissance à 29,40 m (niveaux 12 à 17, fig. 11). Cette imprécision est facilement explicable du fait que la coupe que les auteurs donnent (fig. 11) a été levée, pour la partie inférieure (jusqu'au niveau 10), dans la gorge de la Varappe, et pour la partie supérieure, dans la paroi de la rive gauche de la Petite Gorge. Et le raccord entre ces deux coupes leur a posé quelques problèmes.

Il est très malaisé de lever une coupe détaillée, banc par banc, dans cette zone escarpée; aussi JOUKOWSKY & FAVRE ne décrivent et ne figurent qu'un ensemble de bancs de biocalcarénites jaune roux, parfois oolitiques, plus ou moins riches en quartz et en glauconie, avec silicifications fréquentes. Les seuls fossiles déterminables qu'ils signalent se rapportent à «*Toxaster retusus*».

L'ensemble lithologique rattaché à la Pierre jaune de Neuchâtel et son passage aux Calcaires urgoniens sont beaucoup plus faciles à observer le long de la route reliant le Coin à la Croisette; un levé banc par banc a été effectué dans cette zone par CHAROLLAIS et al. (1981, p. 48 à 52 et fig. 52). Au vu des observations relatées par les auteurs et, en conclusion de nos propres recherches, plusieurs faits sont à relever.

1. A l'opposé de la partie inférieure de l'«Hauterivien», les faciès carbonatés prédominent nettement dans la partie supérieure sur une trentaine de mètres d'épaisseur; les bancs décimétriques à métriques de calcarénites et de biomicrites quartzo-glaconieuses sont séparés par des joints centimétriques plus argileux d'où il est possible de dégager des faunes. CHAROLLAIS et al. (1981) y ont prélevé, sur la route entre le Coin et la Croisette, des échinides, des brachiopodes, quelques belemnites et, par places, de nombreuses dents de poissons.
2. Comme dans la partie inférieure, des biosparites à oolites alternent avec des biomicrites à spicules de spongiaires. Une fraction des faciès dits «Pierre jaune de Neuchâtel» doit donc être considérée comme autochtone, alors qu'une autre partie est allochtone; elle résulte de coulées sableuses à stratifications obliques bien visibles dans le niveau 1 de la coupe E (fig. 23; CHAROLLAIS et al., 1981: 52). Ces figures sédimentaires avaient d'ailleurs déjà été signalées par JOUKOWSKY & FAVRE (p. 341), mais non dessinées sur leur coupe.
3. Si une certaine portion des dépôts qui composent la «Pierre jaune de Neuchâtel» sont allochtones (coulées sableuses) et si leur répartition est liée à l'action des courants, il faut s'attendre à des variations significatives de faciès latéralement et verticalement. Ceci explique une certaine confusion entre le texte et le dessin de la fig. 11 de JOUKOWSKY & FAVRE (1913), relative à l'estimation de l'épaisseur de la Pierre jaune de Neuchâtel. En fait, ces auteurs auraient dû interrompre leur dessin lithologique entre le niveau 10 de la Grande Varappe et le niveau 11 de la Petite Gorge, car les corrélations entre ces deux secteurs du Grand Salève sont difficiles à établir avec précision.
4. JOUKOWSKY & FAVRE n'ont pas pu, semble-t-il, échantillonner le passage entre le sommet de la «Pierre jaune de Neuchâtel» et la base des Calcaires urgoniens. Ce passage bien visible le long de la route entre le Coin et la Croisette, montre que ces deux formations sont séparées par une «barre» oolitique de 2,50 m d'épaisseur (coupe G, fig. 23, p. 52; CHAROLLAIS et al., 1981). Et, là, dès leur base, les Calcaires urgoniens renferment des orbitolinidés. Il ne faut cependant pas exclure la possibilité de la disparition de certains niveaux car les couches font partie du flanc inverse, laminé, de la structure chevauchante du Salève. Sur le flanc normal, JOUKOWSKY & FAVRE signalent des «calcaires grumeleux oolitiques jaune roux, qui sont

identiques à ceux du Barrémien inférieur du Jura (couches de la Russille) » et dans lesquels ils ont recueilli de nombreux spongiaires, des échinides et des lamellibranches. Ces faciès n'ont pas été retrouvés sur le flanc occidental du Salève.

Quant à la « partie supérieure à faciès calcaire » équivalente à ce qui est communément appelé « Pierre jaune de Neuchâtel », elle représente la partie supérieure de la Zone à Nodosoplicatum (CLAVEL & CHAROLLAIS ce vol.).

3. VUACHE

La lithologie des formations hauteriviennes de la Montagne du Vuache présentée dans ce travail, a été établie à partir des coupes relevées dans la galerie de reconnaissance et dans les deux tunnels de l'autoroute A42. La corrélation de nos observations avec celles de SCHARDT (1891) fait apparaître quelques différences dues à plusieurs facteurs (fig. 3).

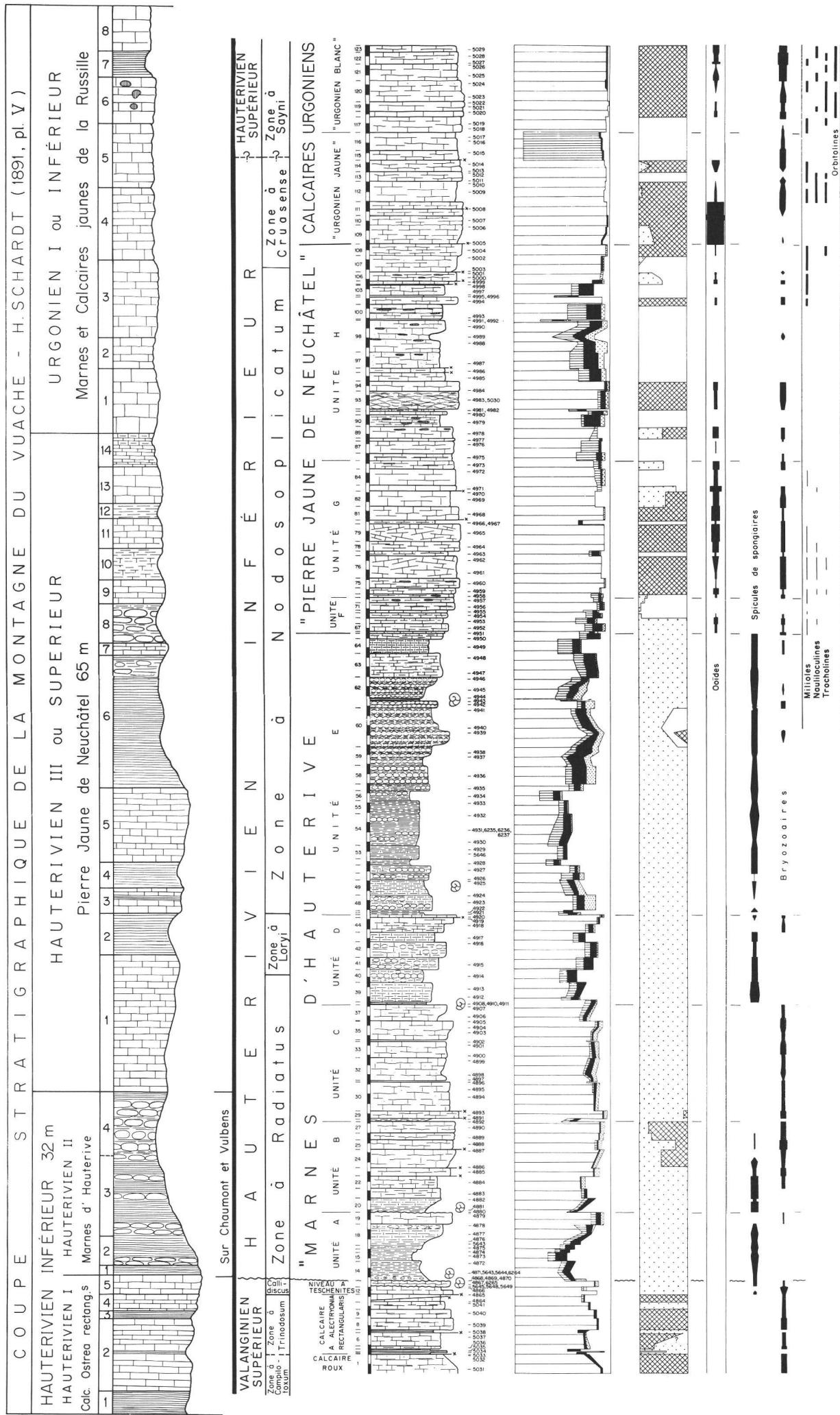
1. Comme il a été précisé dans l'introduction, SCHARDT (1891) figure sur la planche V, une coupe stratigraphique « synthétique » du Vuache reconstituée surtout à partir de relevés dans les affleurements de la route D908A entre Vulpens et Arcine, mais comprenant aussi pour les « Marnes d'Hauterive » des observations faites dans la région de Chaumont et Vulpens, c'est-à-dire à une dizaine de kilomètres plus au SE. De ce fait, le raccord banc par banc entre la coupe dessinée par SCHARDT et celle des tunnels devient aléatoire.
2. A l'époque où SCHARDT a rédigé ce précieux travail sur le Vuache, les figures sédimentaires et l'analyse des microfaciès ne revêtaient pas l'importance qu'on leur accorde aujourd'hui. Aussi, l'auteur n'a-t-il pas toujours mentionné certains caractères sédimentologiques qui pourraient servir de repères lithologiques tels que les stratifications obliques caractéristiques du niveau 1 de 14 m d'épaisseur (1891, pl. V) que SCHARDT situe à la base de la « Pierre jaune de Neuchâtel » ou tels que les calcaires à structures algaires encroûtantes que nous avons reconnues sur tout le versant oriental de la Montagne du Vuache et qui apparaissent dans le niveau 2 de SCHARDT (1891, pl. V), dans la partie inférieure de l'« Urgonien I ou inférieur ».
3. D'autre part, il ne faut pas sous-estimer le rôle de la morphologie des fonds marins et de l'action des courants à l'Hauterivien, deux facteurs qui ont concouru à une répartition hétérogène des dépôts; d'où les variations latérales de faciès et d'épaisseur. De plus, il est raisonnable de penser que la faille du Vuache dont la mobilité a eu une incidence sur la répartition des faciès à l'Hauterivien dans cette région (CHAROLLAIS et al., 1983), était liée à des fractures annexes qui ont elles-mêmes influencé les modes et les types de dépôts.
4. Enfin, mentionnons la présence de fractures post-miocènes (?) qui ont été décelées dans les tunnels du Vuache (COYNE & BELLIER, 1978 *in* CHAROLLAIS et al., 1983, fig. 4, p. 232) et qui affectent les formations du Crétacé inférieur; leurs rejets sont bien difficiles à mettre en évidence le long de la route D908A reliant Vulpens à Arcine, où la couverture végétale luxuriante nuit à l'observation.

La description de la coupe des tunnels du Vuache ne porte ici que sur les formations attribuées à l'Hauterivien et sur celles qui l'encadrent. Chaque fois qu'il sera possible, il sera fait référence aux affleurements de la route entre Vulpens et Arcine décrits par SCHARDT (1891) et figurés sur la planche V placée à la fin de ses « études géologiques sur l'extrémité méridionale de la première chaîne du Jura ».

3.1. Calcaire roux

Cette formation carbonatée atteint une quarantaine de mètres d'épaisseur. Elle comprend des bancs de calcarénites plus ou moins quartzeuses et glauconieuses, riches en oxydes de fer, d'où la patine rousse. Ces faciès de type grainstone correspondent à des milieux de dépôt de haute énergie, ce qu'atteste la présence de stratifications obliques. Les débris d'échinides constituent la majorité des bioclastes, qu'accompagnent parfois de nombreuses oolites. Le niveau 1 représente le sommet de cette formation.

FIG. 3



3.2. Calcaire à *Alectryonia rectangularis*

Niveaux 2 à 11; épaisseur: 6,15 m

Le Calcaire à *Alectryonia rectangularis* caractérisé par des faciès très proches de ceux du Calcaire roux, comprend des bancs décimétriques de calcaires roux, bioclastiques, à texture grainstone, séparés par des joints centimétriques plus argileux. En plus des débris de crinoïdes, de bryozoaires, de serpules et de spongiaires, l'association faunistique se compose de nombreuses *Aetostreon*, qui caractérisent un environnement à la limite de l'infralittoral et du circalittoral. La microfaune comprend des nodosaridés, des textularidés, *Citaella favrei* et des nubéculaires encroûtants.

Les niveaux de moyenne et haute énergie prédominent; ils ravinent parfois (niveau 4) les faciès plus argileux de basse énergie.

Cette formation est affectée par plusieurs plans de fractures généralement parallèles aux plans de stratification, et certainement à l'origine de l'absence de niveaux marneux observés par SCHARDT (1891), le long de la route D908A.

3.3. Niveau à *Teschenites* sp.

Niveaux 12 et 13; épaisseur: 1,40 m

Cette zone est représentée par deux bancs de calcaire (biomicrite) noduleux à galets et fossiles (serpules, bryozoaires) encroûtés par des nubéculaires et perforés par des algues et des bivalves lithophages. Ces faciès se terminent par un hard-ground glauconieux et phosphaté. Ce dépôt à texture packstone correspond au domaine circalittoral, caractérisé par une faible énergie et où sont associés, térebratules, nautilles, belemnites, huîtres (*Exogyra* sp.?), échinides bryozoaires, serpules, spicules de spongiaires et gastéropodes.

Au sommet de ce niveau, *Teschenites* sp. a été découvert, ce qui peut correspondre à la Zone à *Callidiscus*, dernière zone du Valanginien supérieur.

La base de cette unité est limitée par une faille qui masque probablement un niveau marneux, bien visible ailleurs dans le Jura méridional.

◀ FIG. 3. — Coupes des formations comprises entre le Valanginien supérieur et l'Hauterivien supérieur, du versant oriental de la Montagne du Vuache.

A gauche, coupe relevée, numérotée et datée par SCHARDT (1891, pl. V), le long de la route D908A entre Vulpbens et Arcine. Le dessin de la lithologie correspond à celui de l'auteur.

Au centre, coupe lithologique synthétique relevée dans la galerie de reconnaissance et dans les deux tunnels de l'autoroute A42. (Sur la figure, comme dans le texte, la nomenclature «Marnes d'Hauterive» et «Pierre jaune de Neuchâtel» ne correspondent pas à celle de SCHARDT (1891), mais à celle que les cartographes ont coutume d'employer.)

A gauche de la colonne lithologique, chaque espace alternativement noir et blanc correspond à 1 m. Légende des lithofaciès: fig. 5.

A droite, interprétation des microfaciès et des microfaunes; de gauche à droite:

1^{re} colonne: composition pétrographique
— hachures horizontales espacées: calcite
— hachures horizontales serrées: dolomite
— noir: glauconie
— pointillé: quartz détritique
— blanc: insolubles (argiles, composés de fer).

2^e colonne: matrice et ciment
— trame croisée: sparite
— pointillé: microsparite
— blanc: micrite
— Répartition d'éléments figurés: ooïdes.
— Répartition de la microfaune: spicules de spongiaires, bryozoaires, milioles, nutiloculines, trocholines, orbitolines.

3.4. «Marnes d'Hauterive»

Niveaux 14 à 65; épaisseur 66,75 m

SCHARDT (1891) qui employait ce terme pour définir une formation par analogie avec la région stratotypique, situait la puissance de ses «Marnes d'Hauterive» entre 18 m et 20 m. Nous regroupons sous ce vocable un ensemble lithologique à prédominance marneuse, mais comprenant des barres calcaires (v. fig. 3). Ce complexe lithologique à prédominance marneuse a été subdivisé en 5 unités pour faciliter la description.

Unité A; niveaux 14 à 19: 7,10 m

Cette séquence positive débute, à la base, par une biomicrite argileuse quartzo-glaconieuse (wackestone) bioturbée à spicules de spongiaires et ammonites; elle passe vers le haut, à un faciès plus carbonaté à texture packstone dans lequel apparaissent des débris de bryozoaires. Il s'agit donc d'un dépôt circalittoral, de basse énergie, dont l'évolution correspond à une phase de comblement.

La base de cette séquence est marquée par un niveau de condensation; on y trouve des galets et des fossiles phosphatés; outre les lamellibranches et les belemnites, ont pu être déterminés:

- Acanthodiscus radiatus* BRUG.
Leopoldia leopoldina D'ORB.
Saynella neocomiensis BAUMB.
Leopoldia ind.
Olcostephanus sp.
Cymatoceras neocomiensis D'ORB.
Rhynchonella sp.
Toxaster retusus LMK.

Acanthodiscus radiatus BRUG., caractérise la première zone de l'Hauterivien inférieur.

Unité B; niveaux 20 à 27: 9,65 m

Cette séquence positive présente une évolution semblable à celle de l'unité A. À la base, *Leopoldia leopoldina* a été reconnue; il s'agit donc toujours de l'Hauterivien inférieur. D'assez gros bioclastes proviennent de bryozoaires, serpules, brachiopodes, gastéropodes et huîtres.

Les unités A et B correspondent à l'ensemble des «Marnes d'Hauterive» de SCHARDT observé «près de Chaumont, à l'autre extrémité du chaînon».

Unité C; niveaux 28 à 37: 11,75 m

Cet ensemble de bancs métriques de calcarénites quartzo-glaconieuses riches en bioclastes séparés par des niveaux centimétriques plus argileux, contraste avec les unités A et B. Ces faciès peuvent être interprétés comme des coulées de sable généralement fins, caractéristiques d'une énergie moyenne, envasés dans une biomicrite argileuse (niveaux centimétriques) qui correspond à la sédimentation autochtone de type circalittoral.

Les faciès de l'unité C peuvent être parallélisés avec ceux qui affleurent le long de la route D908A (reliant Vulbens à Arcine) et qui forment une barre affleurant sur une douzaine de mètres d'épaisseur et remarquable par ses stratifications obliques: c'est le banc 1 de SCHARDT (1891, pl. V) évalué à 14 m de puissance, attribué par l'auteur à la base de la «Pierre jaune de Neuchâtel» et considéré comme «calcaire en dalles jaunes à texture finement spathique, parsemé de grains verdâtres». Parmi les débris organiques (bryozoaires, serpules, gastéropodes) seul *Toxaster retusus* a pu être déterminé. Il faut admettre que ces calcarénites de l'unité C observées dans le tunnel évoluent à 3,5 km plus au N, le long de la route D908A, et passent à des faciès plus grossiers transportés par des courants à énergie élevée.

Unité D; niveaux 38 à 45: 9,30 m

Cette séquence positive rappelle les unités A et B. Les biomicrites argileuses et quartzeuses à spicules de spongiaires de la base évoluent vers une biomicrite plus carbonatée et peu glauconieuse dans laquelle apparaissent des débris de bryozoaires. Ce type d'évolution correspond à une phase de comblement, en milieu circalittoral de faible énergie.

Parmi la macrofaune assez abondante à la base, la présence de *Leopoldia leopoldina* (associée à *Toxaster retusus*) confirme l'âge Hautevien inférieur.

Unité E; niveaux 46 à 65: 28,95 m

Cette séquence est caractérisée par l'aspect michoïde des faciès; cette structure déjà amorcée dans l'unité D est particulièrement développée. Les faciès sont monotones, toujours quartzeux, ils sont plus argileux à la base et plus glauconieux au milieu. Il s'agit de biomicrites à spicules de spongiaires à texture généralement wackestone. L'association faunistique est dépourvue de bryozoaires ce qui pousse à rattacher ce dépôt dans la zone circalittorale inférieure (?), à l'abri de courants de fond.

Le niveau 46 renferme des éponges calcaires bien conservées que nous avons retrouvées à l'affleurement dans le talus de la route D908A, entre Vulpens et Arcine; cet affleurement riche en rhynchonelles et échinides pourrait correspondre au niveau 3 de la coupe figurée sur la planche V de SCHARDT (1891), attribué à la partie inférieure de la Pierre jaune de Neuchâtel.

Quant aux niveaux 62, 63 et 64, ils se paralléliseraient avec les niveaux 8, 9 et 10 de SCHARDT (1891, pl. V) compris par l'auteur dans la «Pierre jaune de Neuchâtel».

Les niveaux 52 à 57 à prédominance marneuse ont livré

Exogyra couloni DEFR.

Leopoldia sp.

Cymatoceras pseudoelegans D'ORB.

Saynella clypeiformis D'ORB.

Quant au niveau 61, il a fourni *Lyticoceras inequicostatum* KILIAN.

3.5. «Pierre jaune de Neuchâtel»

Niveaux 66 à 108; épaisseur 39,30 m

SCHARDT (1891) employait le terme «Pierre jaune de Neuchâtel» pour un ensemble de couches plus vaste qu'il estimait à 65 m. Nous utilisons ce terme pour regrouper un ensemble de faciès, cette fois à prédominance carbonatée. Comme précédemment, nous avons subdivisé ce complexe lithologique à prédominance carbonatée en trois unités.

Unité F; niveaux 66 à 71: 3,70 m

Cette unité comprenant des bancs décimétriques se compose d'une alternance de lits millimétriques ou centimétriques constitués par des biomicrites quartzo-glaconieuses à spicules de spongiaires et à texture wackestone ou packstone et de niveaux de calcarénites parfois granogradués à corallinacées, cyanophycées, bryozoaires et miliolidés et dans lesquelles apparaissent parfois de rares ooïdes.

L'unité F comporte donc deux phases de dépôt: une phase autochtone représentée par les biomicrites à spicules de spongiaires caractéristiques du milieu circalittoral et une phase allochtone résultant de coulées sableuses distales amenant du matériel appartenant au circalittoral supérieur voire au domaine infralittoral, tel que ooclastes et milioles.

Unité G; niveaux 73 à 85: 13,75 m

Cette unité généralement pauvre en apports détritiques, se compose de bancs décimétriques à métriques de calcaires bioclastiques et oolitiques à texture grainstone. La haute énergie qui caractérise ces faciès, est confirmée par la présence de stratifications obliques bien visibles dans les niveaux 76 et 79.

L'unité G pourrait être divisée en 2 sous-unités: la première (niveaux 73 à 81) caractérisée par l'abondance des oolites, le ciment sparistique, les stratifications obliques et l'absence fréquente de quartz et de glauconie; la deuxième (niveaux 82 à 85) renferme moins d'oolites, mais par contre comprend des pellets et une faible proportion de terrigènes.

L'environnement de dépôt semble encore circalittoral: les oolites et certains groupes fossiles tels que trocholines, nautiloculines, dasycladacées, corallinacées, *Cayeuxia* sp. sont certainement remaniés par des courants dont les traces sont inscrites dans les figures sédimentaires (stratifications obliques, laminations). La base de l'unité G correspondrait aux niveaux 13 et 14 de SCHARDT qui les considère comme les termes supérieurs de la «Pierre jaune de Neuchâtel». Au-dessus, il devient très difficile d'établir une corrélation entre les niveaux de SCHARDT et la lithologie relevée dans les galeries du Vuache.

Unité H; niveaux 86 à 106: 18,95 m

L'unité H se caractérise par des arrivées de détritiques tout aussi importantes que dans les «Marnes d'Hauterive». Des bancs décimétriques à métriques renferment des biopelmicroparites quartzo-glaucophéniques riches en quartz et en glauconie. La fréquence des pellets et des bryozoaires et la texture de type wackestone à packstone incitent à interpréter ce milieu de dépôt comme appartenant encore au domaine circalittoral; les oolites et les dasycladacées reconnues dans cette unité auraient été entraînées par des coulées sableuses, caractérisées par des laminations parfois obliques, et des structures granograduées. Le sommet de l'unité est marqué par un hard-ground associé à des terriers dolomitiques.

Cette unité ainsi que le sommet de la précédente n'apparaissent pas le long de la route reliant Vulpens à Arcine et ne figure donc pas dans la coupe de SCHARDT. Cette absence doit très probablement être imputée au jeu de la tectonique.

3.6. Formation des Calcaires urgoniens

Niveau 107 à 123: épaisseur 23,40 m

«Urgonien jaune»: niveaux 107 à 116: 14,45 m

Dune oolitique: niveaux 107 à 114: 11,55 m

Ces niveaux constitués par une oosparite (grainstone) bien calibrée correspondent à la progradation d'une dune oolitique. Ce dépôt de haute énergie, dépourvu de détritisme caractérise un environnement infralittoral, ce qu'attestent les associations paléontologiques: polypiers, algues, trocholines, nautiloculines. Ce faciès développé sur la même épaisseur au bord de la route D908A, lui est parfaitement identique: il correspond au niveau 1 de la coupe de SCHARDT (1891, pl. V) considéré par l'auteur comme la base de l'«Urgonien I ou inférieur».

Zone à nodules algaires; niveaux 115 et 116: 2,90 m

Composée de 3 bancs de biomicrite à structure floatstone, cette zone est caractérisée par des nodules algaires (*Bacinella irregularis*, *Lithocodium aggregatum*) encroûtés par des bryozoaires, serpules et spongiaires. Il s'agit donc de dépôts infralittoraux, protégés et de faible énergie.

Ces niveaux affleurent au bord de la route D908A, dans un virage très serré et étroit; là, leur toit comporte un hard-ground bien développé. Cette zone correspond au niveau 2 de SCHARDT (1891, pl. V), qu'il situe dans la partie inférieure de l'«Urgonien I ou inférieur».

«Urgonien blanc»; niveaux 117 à 123: 8,95 m

Il s'agit de sables bioclastiques et oolitiques, hétérométriques (calcarénites à calcirudites, granograduées et laminées), à texture grainstone, pratiquement dépourvus de détritisme et disposés en bancs généralement d'ordre métrique. Ces faciès à orbitolines, trocholines, nautiloculines, polypiers et dasycladacées correspondent à des dépôts de plate-forme externe, en milieu infralittoral.

3.7. Conclusions

La coupe des tunnels du Vuache permet d'établir une succession complète des lithologies, entre le Calcaire roux et l'Urgonien blanc, et par là même, de constituer la section la plus représentative de tout le Jura méridional pour les formations attribuées généralement à l'Hauterivien. Elle ne diffère de la coupe décrite par SCHARDT (1891), en grande partie recouverte aujourd'hui par des glissements de terrain et la végétation, qu'en deux points (en plus du fait que le dessin de la colonne de SCHARDT ne porte aucune faille, ce qui est trop simplifié),

- dans la partie médiane de la «Pierre jaune de Neuchâtel» (au sens de SCHARDT), l'auteur décrit un «calcaire gris oolitique à grain fin, en dalles» (= niveau 5), qui n'apparaît pas dans les galeries du Vuache.
- L'unité H et le sommet de l'unité G, observés dans les tunnels du Vuache, semblent avoir disparu plus au N, le long de la route D908A, probablement sous l'effet de la tectonique dont le rôle n'est certainement pas négligeable dans ce secteur, puisque toutes les couches sont redressées à la verticale.
- D'autre part, la différence d'épaisseur séparant le faciès «Pierre jaune de Neuchâtel» des Calcaires marneux de la Rivière (CONRAD, 1969) (35 m Vuache; 95 m La Rivière) est sans doute également une conséquence du jeu tectonique.

En tenant compte des observations de SCHARDT (1891) et de celles qui ont été recueillies dans les galeries, il est donc possible de reconstituer la lithostratigraphie du compartiment oriental de la montagne du Vuache. Au-dessus du Calcaire roux, se succèdent les formations suivantes:

Le *Calcaire à Alectryonia rectangularis* (6,15 m à 7 m) correspond à la Zone à *Trinodosum* (Valanginien supérieur) (CLAVEL et al., en cours). A sa base, SCHARDT signale un niveau (1) marneux de 1,50 m.

Le *niveau à Teschenites* (1,40 m à 2,90 m) doit être rattaché à la Zone à *Callidiscus* (Valanginien sommital). Ce niveau carbonaté, encroûté et perforé, est généralement séparé de la formation précédente, dans le Jura méridional, par un niveau marneux; c'est le niveau 3, de 0,50 m de «marne rousse stratifiée» de SCHARDT. Son sommet et caractérisé par un hard-ground qui s'est développé au milieu circalittoral.

Les «*Marnes d'Hauterive*» comprennent cinq unités (A, B, C, D, E).

Les unités A et B atteignent 16,50 m à Chaumont et Vulbens et 16,75 m dans les tunnels; elles se composent chacune de cinq termes plus argileux à la base, plus carbonatés au sommet:

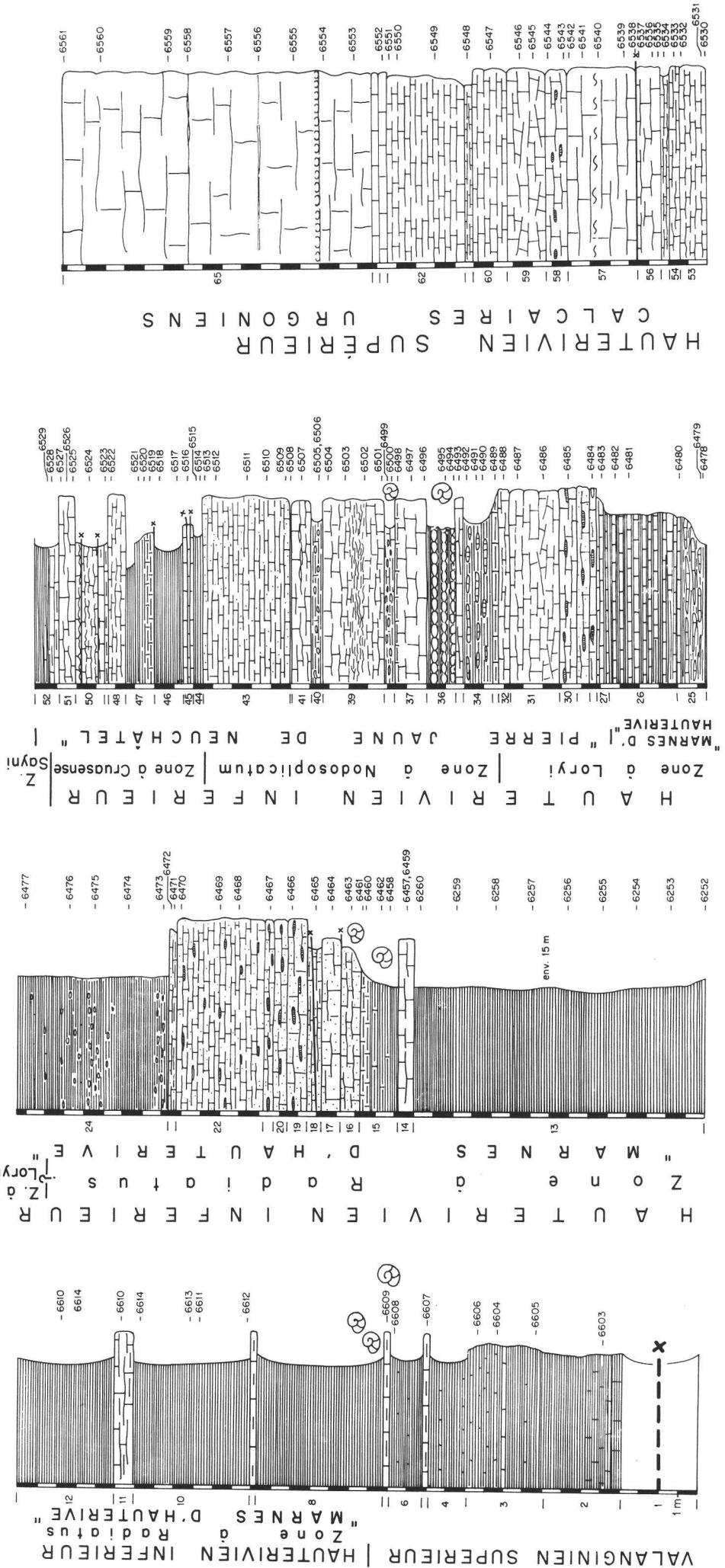
- niveau basal de condensation, glauconieux et riche en bioclastes
- faciès argilo-carbonaté à spicules de spongiaires et textularidés, passant à un
- faciès bioturbé à échinides, nodosaridés et chargé de quartz détritiques
- faciès plus carbonaté à faune sessile: bivalves, bryozoaires, crinoïdes, serpules, nubéculaires
- niveau sommital envasé et bioturbé.

Ces deux unités renferment des faunes caractéristiques de la Zone à *Acanthodiscus radiatus*.

— L'unité C (considérée par SCHARDT comme la base de la «Pierre jaune de Neuchâtel») constituée par une calcarénite quartzo-glaucousse, se développe sur 11,75 m dans les tunnels, alors qu'elle apparaît comme «un calcaire en dalles jaunes à texture finement spathique», à stratifications obliques, sur 14 m de puissance au bord de la route D908A. Cette barre calcaire correspond à un corps sableux, dont les bioclastes sont avant tout, formés de débris de crinoïdes et dont la migration en milieu circalittoral, serait liée à des courants de fond.

Cette unité appartient encore à la Zone à *Acanthodiscus radiatus*.

FIG. 4



— Les unités D et E atteignent 40,36 m au bord de la route D908A selon SCHARDT (1891) et 38,25 m dans les galeries ; l'unité D s'apparente aux unités A et B, mais les deux unités D et E présentent toutes deux une structure «michoïde» dont l'origine diagénétique précoce pourrait être liée à des courants de fond (MULLINS et al., 1980) et/ou à des fractures mobiles (COTILLON, 1978; COTILLON et al., 1979).

Dans ces deux unités caractéristiques d'un milieu circalittoral probablement inférieur, SCHARDT (1891) signale un faciès «calcaire gris, oolitique à grain assez fin, en dalles» de 7,50 m de puissance. Ce faciès n'a pas été retrouvé dans les tunnels. Il pourrait correspondre au niveau très carbonaté du sommet de l'unité D, dans lequel aucune oolite n'a été observée. Les oolites signalées par SCHARDT devraient donc être interprétées comme le signe d'une coulée sableuse distale limitée spatialement.

L'unité D correspond au sommet de la Zone à Radiatus et à la Zone à Loryi ; l'unité E représente la partie inférieure de la Zone à Nodosoplicatum.

La «*Pierre jaune de Neuchâtel*» d'une puissance de 36,40 m et composée des unités F, G et H, semble complète dans les galeries ; par contre, elle est amputée de sa partie médiane et supérieure, le long de la route D908A. Ces trois unités comprennent des phases autochtones calcaréo-argileuses et quartzo-glaconieuses à microfaune circalittorale et des phases allochtones calcarénitiques de type grainstone à ooïdes et microfaune infralittorale. Les calcarénites correspondent à des coulées sableuses caractérisées par des figures de courant de haute énergie : laminations, stratifications obliques (niveaux 76, 78, 79).

Par comparaison avec d'autres secteurs du Jura méridional, la «*Pierre jaune de Neuchâtel*» correspond, dans la région du Vuache, au sommet de la Zone à Nodosoplicatum.

L'Urgonien jaune atteint 14,45 m dans les galeries et n'apparaît que sur 9,20 m au bord de la route D908A (SCHARDT, 1891). Il s'agit de sables oolitiques ou bioclastiques déposés en milieu infralittoral agité, sur une plate-forme externe. Cette formation se termine par un niveau dolomitique à nodules algaires caractéristique d'un certain confinement, peut-être même voisin de l'émergence.

L'Urgonien jaune correspond à la Zone à Cruasense.

L'Urgonien blanc décrit en détail par SCHARDT (niveaux 3 à 8 de son «Urgonien I ou inférieur»), comprend à 25,80 m au-dessus de sa base, un niveau marneux à *Heteraster couloni* (Calcaire marneux de la Rivière). Dans l'état actuel de nos connaissances, il est difficile de proposer un âge pour cette formation.

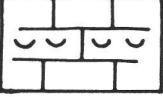
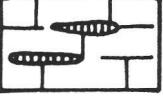
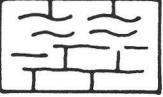
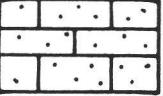
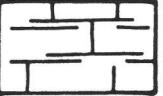
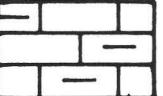
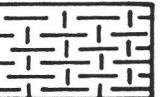
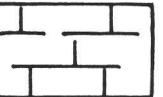
4. MONT-DE-MUSIÈGES (fig. 4)

A l'extrême orientale du Vuache, sur la rive gauche du Fornant, le long de la route reliant le Malpas à Musièges, affleurent toutes les formations comprises entre le Purbeckien et les Calcaires urgoniens ; elles constituent le flanc septentrional de la montagne du Mont-de-Musièges séparé du flanc méridional par l'importante faille du Vuache. Ces formations sont elles-mêmes affectées par une faille annexe, parallèle à la cassure principale du Vuache ; cette faille secondaire passe à la hauteur de l'élargissement de la route (place de parking) et sépare les affleurements du Crétacé inférieur en deux tronçons :

- au NE, les terrains compris entre le Purbeckien et le Calcaire roux ;
- au SW, les formations comprises entre les marnes du Valanginien sommital et les Calcaires urgoniens.

Ainsi, est-il possible d'observer dans le tronçon occidental toute la succession des faciès attribués généralement par les auteurs à l'Hauterivien (fig. 4). MOUTY (1966) avait déjà relevé très minutieusement cette coupe, mais comme nous l'avons fait rafraîchir à la pelle mécanique, nous avons procédé à un nouveau levé lithologique banc par banc, à un échantillonnage plus complet et surtout à une récolte d'ammonites fructueuse ; jusqu'alors, dans la littérature géologique, une seule forme, *Leopoldia* sp., avait été signalée par MOUTY en 1966, dans cette coupe.

- ◀ FIG. 4. — Coupe lithologique des formations comprises entre le sommet du Valanginien et l'Hauterivien supérieur, le long de la route reliant Le Malpas à Musièges (secteur occidental de la faille du Vuache).
A gauche de la colonne lithologique, chaque espace alternativement noir et blanc correspond à 1 m. Légende des lithofaciès : fig. 5.

	Bancs de calcaires à stromatopores		Bancs calcaires avec lentilles de silex
	Bancs de calcaires noduleux		Niveaux marneux avec nodules calcaires
	Bancs de calcaires très quartzeux		Bancs de calcaires avec joints marneux
	Bancs calcaires à structure michoïde avec joints marneux		Calcaires peu argileux
	Niveaux calcaires à stratifications entrecroisées		Marnocalcaires à calcaires argileux
	Bancs calcaires avec diastems		Marnes schistoïdes + argileuses

————— × Faille visible

----- × Faille probable

FIG. 5. — Légende des lithofaciès des coupes relevées dans la Montagne du Vuache (fig. 3) et au Mont-de-Musièges (fig. 4).

4.1. Marnes du Valanginien sommital

Niveaux 1 à 7; épaisseur: plus de 12 m

Cette formation essentiellement marneuse est en partie masquée par la végétation; quelques rares bancs centimétriques plus calcaires peuvent y être individualisés. L'épaisseur n'est pas déterminable avec précision puisque la base est affectée par un accident tectonique. Le faciès marneux se développe plus haut dans la Zone à *Acanthodiscus radiatus*. La coupure proposée ici ne repose que sur des arguments paléontologiques; en effet, le sommet de cette formation renferme des formes caractéristiques du Valanginien sommital (Zone à *Callidiscus*):

Niveau 6: *Duvalia dilatata* DE BLAINVILLE
Toxaster kiliiani LAMBERT

Niveau 7: *Teschenites* sp.

Dès la base, ces dépôts marneux appartiennent au domaine circalittoral, ce qu'atteste la présence de certains lamellibranches (*Pholadidae*).

4.2. «Marnes d'Hauterive»

Niveaux 8 à 26: 60 m

Là aussi, ce terme est employé dans un sens informel; il désigne un ensemble de faciès à prédominance marneuse, comprenant des barres calcaires. Cet ensemble est subdivisé en trois groupes de niveaux bien distincts sur le terrain.

Niveaux 8 à 14: environ 35 m

Cet ensemble composé principalement de marnes schistoïdes renferme de rares bancs calcaires décimétriques dont l'un d'eux (niveau 14) correspond à une coulée sableuse carbonatée dont les bioclastes (corallinacées) et les éléments parfois grossiers et oolitiques sont unis par un ciment sparistique; la fraction micritique est toutefois non négligeable.

A la base, nous avons recueilli:

Acanthodiscus radiatus BRUG.

Acanthodiscus sp.

Leopoldia sp.

Ces céphalopodes accompagnent *Toxaster crassisulcatus* CLAVEL essentiellement confiné à l'extrême base de la Zone à Radiatus et confirme l'environnement circalittoral dans lequel s'est déposée cette séquence.

Niveaux 15 à 23: 12 m

Cette barre morphologiquement bien individualisée débute par des marnes riches en éponges parfois bien conservées. Au-dessus se développe un faciès plus carbonaté à nombreux spicules de spongiaires, qui se termine par un calcaire franc, massif, toujours plus riche en spicules mais associé à des débris d'échinides. La présence de silex caractérise cette séquence dont le faciès et la faune appartiennent au domaine circalittoral et dont l'évolution verticale correspond à une phase de comblement.

A la base, plusieurs céphalopodes de la Zone à Radiatus ont été découverts:

Saynella neocomiensis BAUMB.

Breistrofferella sp. juv.

Olcostephanus sp.

Niveaux 24 à 26: 13 m

Faciès marneux; niveau 24: 8 m

Cet épais niveau de marnes renferme des galets calcaires qui peuvent être interprétés comme des éléments provenant du démantèlement par bioturbation de surfaces durcies indurées précocement. L'association d'ostracodes de ce niveau n'a jamais été rencontrée jusqu'alors dans le Jura suisse, d'après OERTLI (communication écrite, 1983); elle comprend :

Asciocythere sp.

Protocythere hechti

Cytherella sp.

Protocythere triplicata?

Cytherelloidea sp.

Protocythere sp.

Macrocypris sp.

Schuleridea extranea

Metacytheropton cf. *wassyensis*

Schuleridea sp.

Neocythere sp.

Faciès mixtes; niveaux 25 et 26: 5 m

Il s'agit d'une séquence constituée essentiellement de faciès autochtones à spicules de spongiaires comprenant également des coulées sableuses carbonatées à oolites et microfaune de caractère infralittoral.

4.3. «Pierre jaune de Neuchâtel»

Niveaux 27 à 52: 29,55 m

Sous ce vocable, est décrit un complexe lithologique à prédominance calcaire qui se compose de cinq ensembles de niveaux.

Niveaux 27 à 31: 5 m

Une barre calcaire à silex et stratifications obliques, presque complètement dépourvue de quartz et de glauconie détermine un ressaut dans la morphologie; elle est caractérisée par des figures de dépôt qui témoignent d'une haute énergie: laminations, stratifications obliques. La grosseur des éléments figurés dont le diamètre moyen est voisin de 0,6 mm appuie cette interprétation. Les oolites dont la fréquence atteint 25 % au sommet de la barre, proviennent de coulées sableuses, car elles sont encadrées par des faciès argileux et micritiques de basse énergie généralement riches en spicules de spongiaires, ce qui contraste avec les corallinacées, dasycladacées, milioles et nautiloculines, associées aux oolites. Les silex généralement parallèles à la stratification abondent principalement dans la partie inférieure de la barre.

Niveaux 32 à 36: 4,30 m

Cette unité rappelle les faciès mixtes (niveaux 25 et 26) des «Marnes d'Hauterive»; elle se compose d'un ensemble lithologique complexe à prédominance marneuse ou marno-calcaire riche en spicules de spongiaires. Ces faciès typiquement circalittoraux renferment *Leopoldia* sp. La présence de quelques oolites dans cette séquence témoigne encore de l'arrivée sporadique de coulées sableuses carbonatées.

Niveaux 37 à 42: 7,25 m

Cet ensemble de niveaux calcaires et marneux en alternance à prédominance carbonatée est surtout constitué de coulées sableuses généralement oolitiques; la fréquence des oolites pouvant atteindre 35 %. Les bioclastes comprennent des débris de bryozoaires encroûtants, d'huîtres, d'algues (*Lithocodium* sp., *Cladocoropsis* sp.), de polypiers isolés, de nubéculaires. Les surfaces supérieures de bancs se terminent parfois par des hard-grounds encroûtés par des organismes. Quant aux niveaux marneux qui surmontent les bancs calcaires, ils renferment souvent des galets et nodules calcaires dont le faciès rappelle celui des bancs sous-jacents (niveaux 38, 40): ces éléments pourraient donc résulter du démantèlement par bioturbation de la surface supérieure durcie des bancs indurés précocement. Il s'agirait du même processus déjà invoqué, lors de l'interprétation du faciès du niveau 24.

Cette unité lithologique dépourvue de spicules de spongiaires présente de nombreuses analogies avec la partie supérieure de l'unité G de la coupe des galeries de l'autoroute du Vuache.

Le niveau 38 a fourni le type de *Lyticoceras claveli* BUSNARDO & THIEULOUY (BUSNARDO & THIEULOUY ce vol.).

Niveau 43: 4,50 m

Morphologiquement assez bien individualisée, une barre calcaire est caractérisée par un fort pourcentage de quartz détritique, notamment vers la base où sa fréquence atteint 22 %. Cette séquence pratiquement dépourvue de spicules de spongiaires renferme vers le haut quelques oolites (7 %). Le sommet de la barre est marquée par un hard-ground. L'importance du quartz dans cette séquence incite à paralléliser cette barre quartzo-glaucoureuse avec les niveaux 95 à 100 de l'unité H décrite dans la coupe des galeries de l'autoroute du Vuache.

Niveaux 44 à 52: 8,75 m

Des alternances de calcaires et de marnes à prédominance carbonatée correspondent à une sédimentation en milieu circalittoral (marnes) entrecoupée épisodiquement de coulées sableuses carbonatées parfois riches en oolites; leur fréquence peut atteindre 40 %. L'une de ces coulées (niveau 48) renferme des orbitolines et des

fragments de rudistes, lamellibranches réputés de plate-forme interne; cette faune est associée à des milioles, trocholines, nautiloculines, *Sabaudia minuta*, débris de dasycladacées (?), ce qui confère un cachet «urgonien» à ce faciès démantelé.

Au sommet de ces alternances, le niveau marnocalcaire (niveau 52) a livré des échinides à valeur écologique et chronologique :

- fragment de *Toxaster* indicateur, tout comme les nombreux lamellibranches qui l'accompagnent, d'un milieu circalittoral identique à celui de la Zone à *Radiatus*;
- deux exemplaires de *Pygurus montmolini* AG., forme uniquement connue, pour l'instant, au Valanginien et à l'Hauterivien;
- un exemplaire de *Phyllobrissus gresslyi* AG., forme assez communément répandue dans l'Hauterivien inférieur, exceptionnellement citée dans l'Hauterivien supérieur;
- un exemplaire de *Phyllobrissus neocomiensis* AG., trop mal connu pour être doté d'une signification stratigraphique et écologique précise.

Ces alternances de marnes et de calcaires représentent un équivalent de l'Urgonien jaune des auteurs, ici plus profond.

4.4. Formation des Calcaires urgoniens

Niveaux 53 à 65: plus de 33 m

La base de cette formation (niveaux 53 à 60) est représentée par une série de bancs calcaires dépourvus de détritisme. Les oolites abondent et atteignent une fréquence de 45 %; elles sont liées par une matrice micritique ou microsparitique ce qui signifie qu'elles ne reposent pas dans leur milieu de formation. Les organismes tels que les polypiers et rudistes ou certains foraminifères benthiques (grands lituolidés, milioles, trocholines, choffatelles et nautiloculines) témoignent de la proximité de hauts-fonds. D'autre part, la fréquence de colonies de serpules nécessite la présence de fonds durcis, donc une diagenèse précoce, peut-être liée à des zones émergées. Plus haut, au sein du niveau 57, apparaît un boundstone à polypiers (stromatopores et coraux) et nodules algaires perforés par des lithophages. Ces faciès rappellent la zone à nodules algaires (niveaux 115 et 116) des tunnels du Vuache.

Au-dessus, après un niveau à silex, se développent des calcaires de haute énergie à stratifications obliques, laminations et granograduations: la microfaune appartient à la zone infralittorale.

A partir du niveau 60, «l'Urgonien blanc» a été relevé en détail par CONRAD (1966) sur environ 90 m. Aussi, n'avons-nous échantillonné qu'une vingtaine de mètres de ces calcaires de plate-forme interne à rudistes (niveau 65) et microfaune variée à orbitolines.

4.5. Corrélations (fig. 6)

La série lithologique relevée au Mont-de-Musièges s'avère très complexe. Comme il a déjà été rappelé précédemment, les concepts de formation tels qu'ils ont été définis dans la région stratotypique, ne peuvent pas s'appliquer aux terrains d'âge Hauterivien de la région genevoise et particulièrement à ceux de la coupe du Mont-de-Musièges. Si la partie inférieure de celle-ci est caractérisée par la prédominance des marnes et la portion supérieure par la prépondérance des carbonates, il est toutefois difficile d'individualiser des unités lithologiques suffisamment homogènes et puissantes pour être utilisées en cartographie. Par contre, l'étude des discontinuités sédimentaires conduit à proposer des coupures qui, comme nous le verrons dans un article de ce volume (CHAROLLAIS & CLAVEL), correspondent à celles des séquences identifiées dans l'ensemble du Jura. Cette méthode nous permettra, en plus, de corrélérer les niveaux des couches des tunnels du Vuache avec ceux du Mont-de-Musièges (fig. 6), malgré les différences lithologiques engendrées par les mouvements synsédimentaires de la faille du Vuache récemment démontrés par CHAROLLAIS et al. (1983). Ainsi, dans la coupe du Mont-de-Musièges, cinq séquences ont été identifiées à partir de la base de la Zone à *Radiatus* (niveau 8).

	BIOZONES	S A L È V E Unités (Varappe)	V U A C H E Niveaux & unités	M U S I E G E S Séquences	Niveaux
H A U T E R I V I E N in f e r i e u r supérieur			117? - au-dessus	6	60? - au-dessus
			115? - 116?	5	52 - 59?
	<i>Cruasense</i>		107 - 114	4	44 - 51
	<i>Nodosoplicatum</i>	5	45 - 106	3	33 - 43
	<i>Loryi</i>	3 et 4	38 - 44	2	24 - 32
	<i>Radiatus</i>	1 et 2	14 - 37 Unités A, B, C	1	8 - 23

FIG. 6. — Corrélations calées sur la biozonation de l'Hauterivien entre les unités, niveaux et séquences des coupes relevées sur le pourtour du Bassin genevois, au Salève, au Vuache et au Mont-de-Musièges.

Séquence 1 (niveaux 8 à 23) : Zone à Radiatus pro parte. Elle se compose sur 46 m, d'une lithologie à prédominance marneuse, essentiellement circalittorale, ce qu'attestent les échinides et les lamellibranches :

Holaster intermedius AG.

Toxaster retusus LAMARCK

Nucleolites gr. placentula DESOR

Pholadomya elongata MUNSTER

Plagiochiasmus cf. olfersii AG.

Ptychomia neocomiensis DE LORIOL

Dans ces faciès circalittoraux, s'intercalent quelques coulées sableuses à bioclastes et microfaunes à affinités infralittorales (niveaux 14, 25, 26).

Bien que les faciès de cette séquence diffèrent assez fortement de ceux qui ont été décrits dans les tunnels du Vuache, comme l'ont déjà démontré et interprété CHAROLLAIS et al. (1983), des corrélations peuvent cependant être établies : ainsi, les niveaux 14 à 23 de la coupe de Musièges ont leur équivalent avec la série à prédominance carbonatée comprise entre les niveaux 19 à 37 (Vuache).

Séquence 2 (niveaux 24 à 32) : sommet de la Zone à Radiatus-Zone à Loryi. Elle correspond à l'ensemble compris entre les niveaux 38 et 44 de la coupe des tunnels du Vuache.

Séquence 3 (niveaux 33 à 43) : Zone à Nodosoplicatum. Le niveau 43 quartzo-glaconieux de Musièges peut être paralléléisé avec les niveaux 95 à 100 des galeries du Vuache.

En fait, à l'époque du dépôt de la «Pierre jaune de Neuchâtel», tout se passe comme si la région du Mont-de-Musièges se trouvait en position plus haute et plus proche des zones d'alimentation qui sont à l'origine des coulées sableuses, donc en situation plus proximale que ne l'était le secteur des tunnels du Vuache. Les échinides, gastéropodes, lamellibranches, serpules et cirripèdes découverts et cités par CHAROLLAIS et al. (1983: 243) ainsi que les nombreux hard-grounds avec encroûtements siliceux et ferrugineux, incitent à supposer que la tranche d'eau dans la région de Musièges était plus faible qu'au voisinage de l'emplacement des galeries du Vuache.

Séquence 4 (niveaux 44 à 51) : Zone à Cruasense. Sur 8 m, cette séquence se caractérise par la prédominance de faciès vaseux à très nombreux lamellibranches et rares échinides circalittoraux.

Séquence 5 (niveaux 52 à 59?) : Hauterivien supérieur. Elle se caractérise par la disparition des terrigènes (quartz et glauconie), au profit des oolites et des bioclastes (bryozoaires rameux, serpules coloniaux, nodules algaires, nubéculaires). Les faciès de type boundstone à stromatopores et polypiers (niveau 57) peuvent être comparés à ceux des niveaux (115 et 116) à nodules algaires des tunnels du Vuache; ils résulteraient du démantèlement d'un patch reef isolé à moins qu'il ne s'agisse du remaniement d'un faciès plus interne de l'Urgonien blanc. Au-dessus de cet horizon, le niveau 59 à stratifications obliques témoigne d'une nouvelle phase de progradation.

La formation des Calcaires urgoniens qui se poursuit au-dessus du niveau 60, a déjà été étudiée par CONRAD (1969); nous renvoyons le lecteur à son travail. Sa base se situe dans la Zone à Angulicostata (Hauterivien terminal) (CLAVEL & CHAROLLAIS, ce vol.).

5. CONCLUSION

En conclusion, les recherches menées dans la région genevoise sur les formations jurassiennes attribuées classiquement à l'Hauterivien, débouchent sur deux résultats importants.

1. Les subdivisions lithostratigraphiques sur lesquelles s'est basé RENEVIER (1874) pour définir l'étage Hauterivien et qui comprennent les Marnes d'Hauterive et la Pierre jaune de Neuchâtel, ne peuvent se transposer telles quelles, plus au S, dans le Jura qui borde la région genevoise et, plus généralement, dans l'ensemble du Jura méridional.
2. Les «Marnes d'Hauterive» et la «Pierre jaune de Neuchâtel» des auteurs sont loin de recouvrir tous les terrains déposés pendant l'époque hauterivienne définie par l'intervalle de temps compris entre la Zone à Radiatus et la Zone à Angulicostata (fig. 6).

L'évolution spatiale de la lithologie à l'Hauterivien inférieur, c'est-à-dire entre les Zones à Radiatus et Cruasense, résulte de la conjugaison de facteurs morphologiques et tectoniques, en plus du rôle prépondérant des variations eustatiques.

Les faciès de type «Marnes d'Hauterive» et de type «Pierre jaune de Neuchâtel» correspondent, pour le premier, à des dépôts circalittoraux à prédominance marneuse et à spicules de spongiaires, et, pour les seconds, à des coulées sableuses carbonatées d'origine infralittorale. Ces dernières se distribuent sporadiquement dans le temps et irrégulièrement dans l'espace, au gré de la morphologie sous-marine; elles sont liées à la progradation de la plate-forme urgonienne qui apparaît très tôt au NW du Bassin genevois. Comme il a été démontré dans les trois coupes analysées (Salève, Vuache, Mont-de-Musièges), des faciès de type «Pierre jaune de Neuchâtel» se manifestent déjà dans la partie inférieure de ce qu'il est convenu d'appeler la formation des «Marnes d'Hauterive», de même des faciès de type «Marnes d'Hauterive» s'intercalent dans ce que les auteurs appellent communément la formation de la «Pierre jaune de Neuchâtel». Il en découle une certaine confusion que la plupart des géologues cartographes ont ressentie, lorsqu'ils ont dû relever une carte géologique de ces formations dans le Jura méridional.

D'autre part, la morphologie sous-marine sur laquelle se sont déposées les «Marnes d'Hauterive» et la «Pierre jaune de Neuchâtel», présentait non seulement des reliefs mais aussi des fractures mobiles. Ainsi, CLAVEL (inédit) a pu mettre en évidence un haut-fond dans la région de Saint-Claude, grâce à l'analyse de populations d'échinides et CHAROLLAIS et al. (1983) ont récemment démontré l'activité de la faille du Vuache au Valanginien supérieur et à l'Hauterivien inférieur. Cette paléomorphologie et le jeu des failles synsédimentaires sont certainement à l'origine d'une organisation très complexe de courants sous-marins variables dans le temps et des fluctuations du parcours suivi par les coulées sableuses; à cet égard, la région du Mont-de-Musièges semble avoir toujours été en position beaucoup plus proximale que le secteur de la Montagne du Vuache traversé par les tunnels.

En résumé, de l'Hauterivien inférieur (Zone à Radiatus) à l'Hauterivien supérieur, la plate-forme jurassienne des environs de Genève va subir une phase de comblement qui la conduira d'un environnement circalittoral

à un milieu infralittoral, voire proche de l'émergence. Cette évolution dépend, comme il a été démontré, de facteurs morphologiques, tectoniques et eustatiques, auxquels s'ajoutent des événements locaux et sporadiques, comme les coulées sableuses. Dans de telles conditions, il est bien évident que la lithologie sera éminemment variable suivant les aires considérées. Aussi, nous proposons que le cartographe qui travaillera à petite échelle dans cette région et sur ces terrains, utilise un seul symbole pour figurer la formation lithologiquement complexe comprise entre l'Urgonien jaune, au sommet, et le Calcaire à *Alectryonia rectangularis*, à la base; quand celui-ci n'existe pas, comme à Musièges ou à Menthières (ce qui est exceptionnel), il faudra prendre le sommet du Calcaire roux. Et, à notre avis, il conviendra d'employer des surcharges pour représenter, au sein de cette formation, les différents membres carbonatés dont le faciès appartient au type «Pierre jaune de Neuchâtel».

Quant à la chronostratigraphie, elle diffère de celle qu'avaient établie nos prédecesseurs, grâce à la découverte de nombreuses ammonites, une connaissance moderne des échinides (CLAVEL, ce vol.) et une biozonation moderne de l'Hauterivien basée sur les ammonites et valable pour toute la Téthys. Ce travail a démontré que «Marnes d'Hauterive» et «Pierre jaune de Neuchâtel» ne représentaient que l'Hauterivien inférieur, ce qui a des implications sur la mise en place de la plate-forme urgonienne.

Nous adressons nos vifs remerciements au Fonds national suisse de la recherche scientifique (projets N°s 2.434-0.75 et 2.315-0.84) sans le soutien duquel nous n'aurions pas pu mener à bien cette étude.

6. BIBLIOGRAPHIE

- BAUMBERGER, E. — (1903-1910). Fauna der untern Kreide im westschweizerischen Jura. *Mém. Soc. paléont. suisse*.
- CHAROLLAIS, J., ARNAUD-VANNEAU, A., BUSNARDO, R., CLAVEL, B., DONZE, P., FAUCONNIER, D., MANIVIT, H., OERTLI, H.-J., SEPTFONTAINE, M., STEINHAUSER, N. & STRASSER, A. — (1981). Livret-guide de la Réunion en Haute-Savoie, 25-27 mai 1981. Groupe français du Crétacé. *Publ. Départ. Géol. Pal. Univ. Genève*, sér. Guide géol., 1, 169 p.
- CHAROLLAIS, J., CLAVEL, B., AMATO, E., ESCHER, A., BUSNARDO, R., STEINHAUSER, N., MACSOTAY, O. & DONZE, P. — (1983). Etude préliminaire de la faille du Vuache (Jura méridional). — *Bull. Soc. vaud. Sci. nat.*, 76/3: 217-256 (B. 271).
- CLAVEL, B. & CHAROLLAIS, J. — (1989). Biostratigraphie de l'Hauterivien du Jura méridional. *Mém. Soc. neuchât. Sci. nat.* 11: 291-298, Neuchâtel.
- CLAVEL, B., DONZE, P. & WALTER, B. — (en cours). Nouvelles données biostratigraphiques sur le passage Valanginien-Hauterivien dans le Jura. — *Eclogae geol. Helv.* (à paraître).
- CONRAD, M. A. — (1969). Les calcaires urgoniens dans la région entourant Genève. — *Eclogae geol. Helv.* 62: 1-79.
- COTILLON, P. — (1978). Les formations à miches, lithofaciès caractéristique dans le Mésozoïque des bordures du bassin du Sud-Est de la France, leur signification paléogéographique. — 6^e R.A.S.T., Orsay.
- COTILLON, P., FERRY, S., BUSNARDO, R., LAFARGE, D. & RENAUD, B. — (1979). Synthèse stratigraphique et paléogéographique sur les faciès urgoniens du Sud de l'Ardèche et du Nord du Gard (France SE). — *Géobios*, Mém. spéc. 3.
- JOUKOWSKY, E. & FAVRE, J. — (1913). Monographie géologique et paléontologique du Salève (Haute-Savoie, France). — *Mém. Soc. Phys. Hist. nat. Genève*, 37/4: 295-523.
- LORIOL DE, P. — (1861). Descriptions des animaux invertébrés fossiles contenus dans l'étage néocomien moyen du Mont-Salève. Genève.
- MOUTY, M. — (1966). Le Néocomien dans le Jura méridional. *Thèse* 1369, Genève. Ed. Damas, 265 p.
- MULLINS, H. T., NEUMANN, A. C., WILBER, R. J. & BOARDMAN, M. R. — (1980). Nodular carbonate sediment on Bahamian slopes: Possible precursors to nodular limestones. *J. sediment. Petrol.* 50: 117-131.
- RENEVIER, E. — (1874). — Tableau des terrains sédimentaires formés pendant les époques de la phase organique du globe terrestre avec leurs représentants en Suisse et dans les régions classiques, leurs synonymes et les principaux fossiles de chaque étage. *Bull. Soc. vaud. Sci. nat.* 13: 218-252.
- SCHARDT, H. — (1891). Etudes géologiques sur l'extrémité méridionale de la première chaîne du Jura (Chaîne du Reculet-Vuche). — *Bull. Soc. vaud. Sci. nat.* 27: 69-158 (B. 103).
- STEINHAUSER, N. & LOMBARD, A. — (1969). Définition de nouvelles unités lithostratigraphiques dans le Crétacé inférieur du Jura méridional (France). — *C. R. Soc. Phys. Hist. nat. Genève*, 4/1: 100-113.
- VIÉBAN, F. — (1983). Installation et évolution de la plate-forme urgonienne (Hauterivien à Bédoulien) du Jura méridional aux chaînes subalpines (Ain, Savoie, Haute-Savoie). Sédimentologie, minéralogie, stratigraphie et paléogéographie. — *Thèse* 3^e cycle, Univ. Grenoble, 222 p.
- WAGNER, A. — (1962). Géologie de la région du Mont-de-Musièges (Haute-Savoie). — *Trav. diplôme*, Univ. Genève (inédit).

<i>Mémoires de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles</i>	Tome XI	p. 73-80, 6 fig.	Neuchâtel, 1989
---	---------	------------------	-----------------

LE «CALCAIRE À *PACHYTRAGA TUBICONCHA*» (RUDISTE), ÉPISODE URGONIEN DE L'HAUTERIVIEN CARBONATÉ DU JURA FRANCO-SUISSE

par

Jean-Pierre MASSE, Marc A. CONRAD et Jürgen REMANE

Recherche subventionnée
par le Fonds national suisse de la recherche scientifique (crédit N° 2.434.075)

ABSTRACT.—Limestones with the rudist *Pachytraga tubiconcha* were first discovered in urgonian facies of the French Jura Mountains by GUILLAUME (in ASTRE, 1961). In this paper several new occurrences are described. It appears that the «Calcaire à Pachytraga» belongs to the lower and not to the upper «Urgonian», as was previously thought. Moreover, well dated occurrences of *Pachytraga* in the Provence and the accompanying microfauna and flora in the Jura Mountains indicate a Hauterivian age for the «Calcaire à Pachytraga» and hence of the lower «Urgonian» («Urgonien jaune»), too. The *Pachytraga* limestones are characteristic of an inner carbonate platform with temporary emersions. Towards the SE Jura Mountains they are replaced by oobiosparitic and coralligenous facies.

RÉSUMÉ. — Des gisements nouveaux du rudiste *Pachytraga tubiconcha* dans le Jura franco-suisse sont décrits. Il apparaît que le «Calcaire à Pachytraga» appartient à «l'Urgonien» inférieur et non supérieur comme généralement admis jusqu'ici. Les gisements provençaux de *Pachytraga* sont bien datés comme hauteriviens. Les microflores et faunes indiquent également un âge hauterivien pour le «Calcaire à Pachytraga» jurassien et par conséquent aussi pour «l'Urgonien» inférieur («Urgonien jaune»). Les calcaires avec *Pachytraga* sont caractéristiques d'une plate-forme interne; vers le SE, ils sont remplacés par des faciès oobiosparitiques et coralligènes.

1. INTRODUCTION

Dans le cadre des recherches consacrées aux formations hauteriviennes du Jura, nous nous sommes intéressés à certaines formations urgoniennes à rudistes de cette région, et en particulier aux «Calcaires à *Pachytraga*». Nos recherches ont été motivées par la découverte récente de formations analogues en Provence (MASSE, 1976) et en Sardaigne (MASSE & ALLEMANN, 1982), où un certain nombre d'interprétations biostratigraphiques, sédimentologiques et paléogéographiques ont été proposées. Notre objectif était donc de mieux dater les «Calcaires à *Pachytraga*» du Jura afin de les placer correctement dans la lithostratigraphie et la paléogéographie jurassiennes d'une part, et du bassin péri-alpin du SE de la France d'autre part.

Les «Calcaires à *Pachytraga*» ont été découverts en 1961 par S. GUILLAUME (in ASTRE, 1961) dans la région du Lac de Saint-Point (Jura français). Du matériel recueilli par S. GUILLAUME, ASTRE (1961) faisait alors connaître une espèce nouvelle du genre *Pachytraga* PAQUIER (*Caprotinidae*): *P. tubiconcha*. La position

stratigraphique des couches correspondantes, situées au-dessus de la Pierre jaune de l'Hauterivien et plus ou moins à la base des «calcaires urgoniens», conduisait à leur attribuer un âge barrémien, bien qu'aucun argument paléontologique précis n'ait pu être fourni en faveur de cette datation. D'après GUILLAUME (1966) les couches à *Pachytraga*, localisées aux abords du lac de Saint-Point (dans les secteurs de Oye-et-Pallet et Gellin-Rochejean), ainsi qu'aux environs de Saint-Claude (route de Viry à Molinges), apparaissaient comme représentant des «récifs», c'est-à-dire des dispositifs biosédimentaires relativement indépendants.

2. DONNÉES NOUVELLES

2.1. Distribution géographique du «Calcaire à Pachytraga» (fig. 1 et 6)

Aux localités mentionnées par GUILLAUME (1966), il faut ajouter à l'W de Saint-Claude celle de Ponthoux et à l'W de Fleurier (Val-de-Travers) celle de Buttes. Ainsi, les «Calcaires à Pachytraga» ne sont-ils pas cantonnés au Jura français mais se retrouvent également en Suisse où leur extension paraît cependant, en l'état actuel de nos investigations, relativement réduite.

La distribution de ces calcaires à *Caprotinidae* semble donc limitée à une bande NE-SW allant de Fleurier à Saint-Claude. Ils sont inconnus sur le flanc S du Val-de-Travers, dans la région de Sainte-Croix, au S de l'accident chevauchant du Mont-Risoux ainsi qu'au SE de Saint-Claude et dans la région genevoise (CONRAD, 1969).

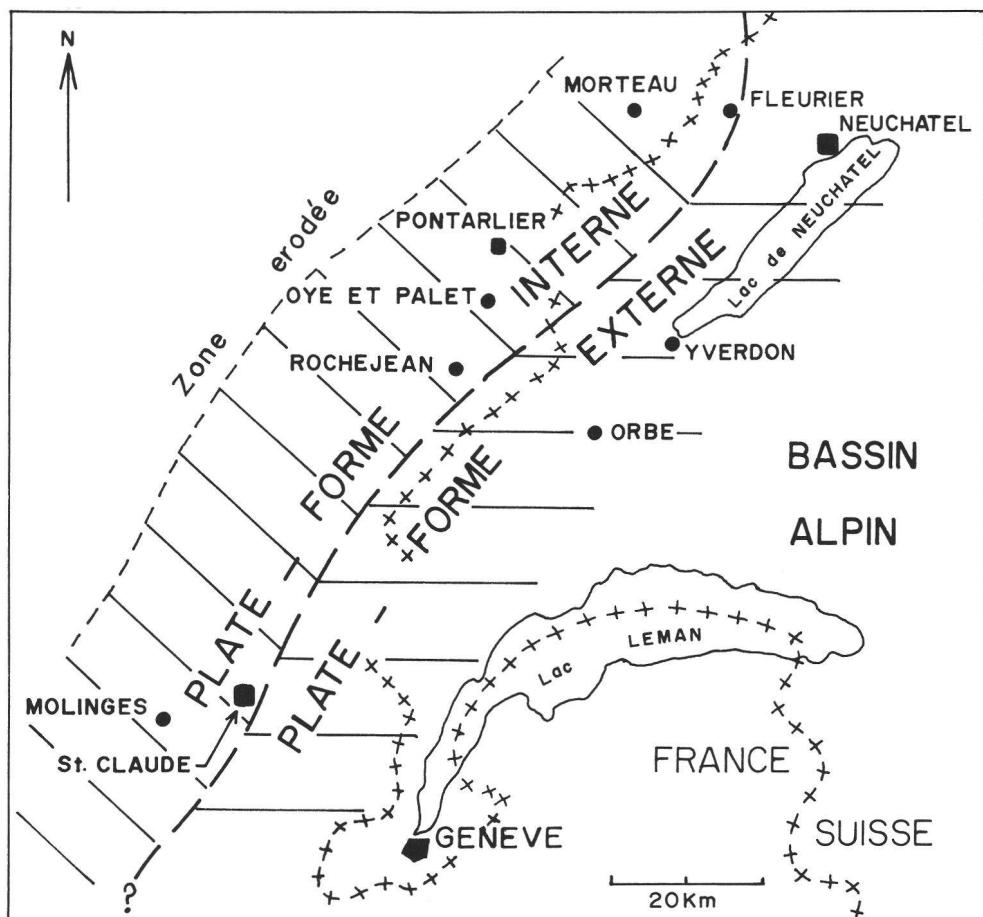


FIG. 1. — Situation géographique des localités étudiées.

Geographical situation of studied profiles.

2.2. Description lithologique

La coupe la plus représentative est celle située au N de Villedieu-les-Rochejean, sur la rive gauche du Doubs entre les localités de Gellin et Rochejean, au cœur du synclinal de Mouthe. Elle a été décrite par GUILLAUME (1966). Les travaux récents d'élargissement de la route D45 (feuille XXXIV-26 Mouthe, x = 899,900, y = 200,800) permettent une bonne observation de la succession locale (20 m environ) qui apparaît sur le flanc S d'un repli synclinal couché, où l'on voit les relations du «Calcaire à Pachytraga» avec les couches encaissantes. Trois unités lithologiques peuvent être reconnues (fig. 2) :

- unité inférieure oobiochlastique (8 m);
- unité du «Calcaire à Pachytraga» proprement dit (12 m), terminée par une surface durcie;
- unité supérieure représentée par 0,50 m de calcaires argileux noduleux qui affleurent au cœur de la structure.

GELLIN - ROCHEJEAN

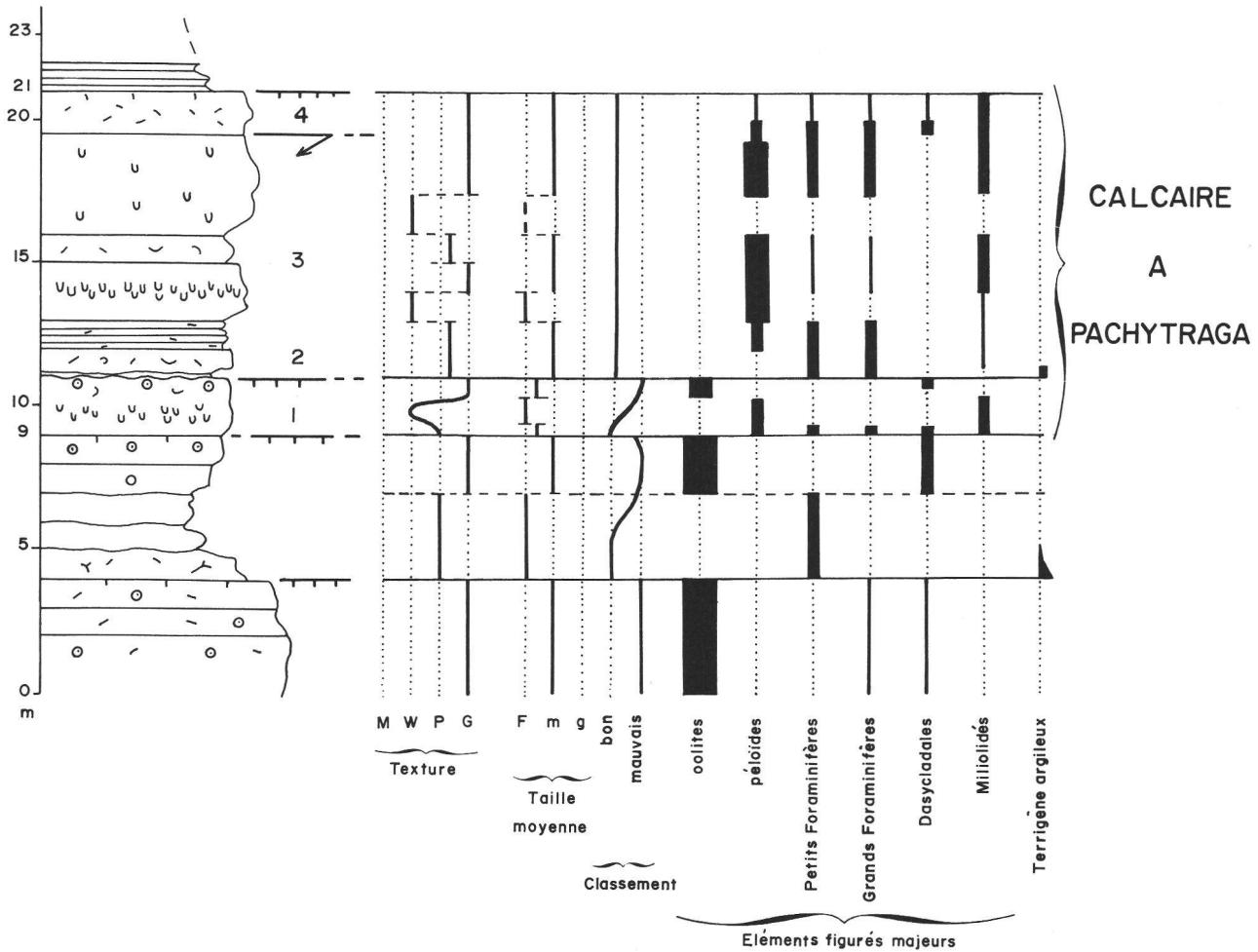


FIG. 2. — Coupe type du «Calcaire à Pachytraga» dans le secteur de Gellin-Rochejean.

Type section of the «Calcaire à Pachytraga» near Gellin-Rochejean.

Le «Calcaire à Pachytraga» comprend de haut en bas les termes suivants:

- 1) grainstones bioclastiques et péloïdaux à foraminifères et Dasycladales, coiffés par une surface de lithification précoce (0,5 m);
- 2) wackestones à lithoclastes micritiques précédant un biostrome à *Pachytraga* coiffé par des packstones-grainstones péloïdaux à débris de rudistes, foraminifères et Dasycladales (2 m); ce niveau est surmonté par un packstone à débris de rudistes et nérinées (1 m) auquel se superpose un banc biostromal (3,50 m) à *Pachytraga* (avec figures de diagenèse précoce d'origine vadose) terminé par une discontinuité;
- 3) packstones bioclastiques à foraminifères (2 m) contenant quelques fragments de rudistes;
- 4) packstones-wackestones péloïdaux à foraminifères, terminés par un horizon de grainstones oolithiques (2 m); les *Pachytraga tubiconcha* sont groupées en colonies dressées, plus ou moins dispersées et associées aux faciès de packstones péloïdaux.

2.3. Contenu micropaléontologique et âge

L'unité bioclastique inférieure contient:

- des Dasycladales: *Dissoclarella hauteriviana* MASSE, *Pseudoactinoporella fragilis* CONRAD, *Montiella(?) elitzae* (BAKALOVA), *Montenegrella* sp. et *Likanella(?) danilovae* RADOICIC;
- des foraminifères: *Neotrocholina infragranulata*, *Trocholina* sp. 1, *Trocholina* sp. 2, *Choffatella cf. decipiens* SCHLUMBERGER et de très rares *Dictyococoninae*.

Dans le «Calcaire à Pachytraga» nous avons relevé les mêmes Dasycladales que dans l'unité sous-jacente, à l'exception de *Montenegrella* sp.; s'y ajoutent: *Salpingoporella muehlbergii* LORENZ, *S. melitae* (RADOICIC), *S. genevensis* (CONRAD) et *Angioporella neocomiensis* n. sp.

L'association de foraminifères comprend outre les espèces déjà rencontrées dans l'unité bioclastique: *Pseudolituonella gavonensis* FOURY, *Derventina filipescui* NEAGU, *Charentia cuvillieri* NEUMANN, *Dictyorbitolina ichnusae* CHERCHI & SCHROEDER *Urgonina alpicensis* FOURY et une forme proche de *Orbitolinopsis(?) flandrina* MOULLADE.

Les associations micropaléontologiques reconnues dans le Jura vaudois et neuchâtelois (A. ARNAUD-VANNEAU & J.-P. MASSE, ce vol.; M. A. CONRAD & J.-P. MASSE, ce vol.) permettent de placer le «Calcaire à Pachytraga» soit dans la partie supérieure de l'Hauterivien inférieur, soit déjà dans l'Hauterivien supérieur.

2.4. Variations latérales, corrélations et place du «Calcaire à Pachytraga» dans la lithostratigraphie jurassienne

La puissance et les différenciations lithologiques du «Calcaire à Pachytraga» décroissent de Gellin-Rochejean en direction du NE (fig. 3); ainsi à Buttes, son épaisseur est réduite à 1,50 m. Un certain nombre de variations affectent également:

- les couches sous-jacentes, au sein desquelles peuvent se développer des horizons marneux en liaison avec des surfaces de discontinuité et des couches à madréporaires qui apparaissent soit au sein des calcaires oobioclastiques (Oye-et-Pallet), soit presque immédiatement sous les couches à rudistes (Buttes). La corrélation des principales discontinuités est en faveur d'une importante réduction vers le NE de la série oobioclastique inférieure;
- les couches superposées, peu ou pas visibles dans les secteurs de Viry-Molinges, le Ponthoux, Gellin-Rochejean ainsi qu'à Oye-et-Pallet affleurent un peu plus nettement à Buttes. Dans cette dernière localité, le «Calcaire à Pachytraga» est attribuable à l'«Urgonien» inférieur.

En conséquence il apparaît clairement que la réduction de puissance du «Calcaire à Pachytraga» est concomitante de celle des couches sous-jacentes. L'homogénéité relative des faciès, leurs variations très progressives et la modification graduelle de leurs épaisseurs montrent que le «Calcaire à Pachytraga» constitue un épisode sédimentaire d'extension régionale.

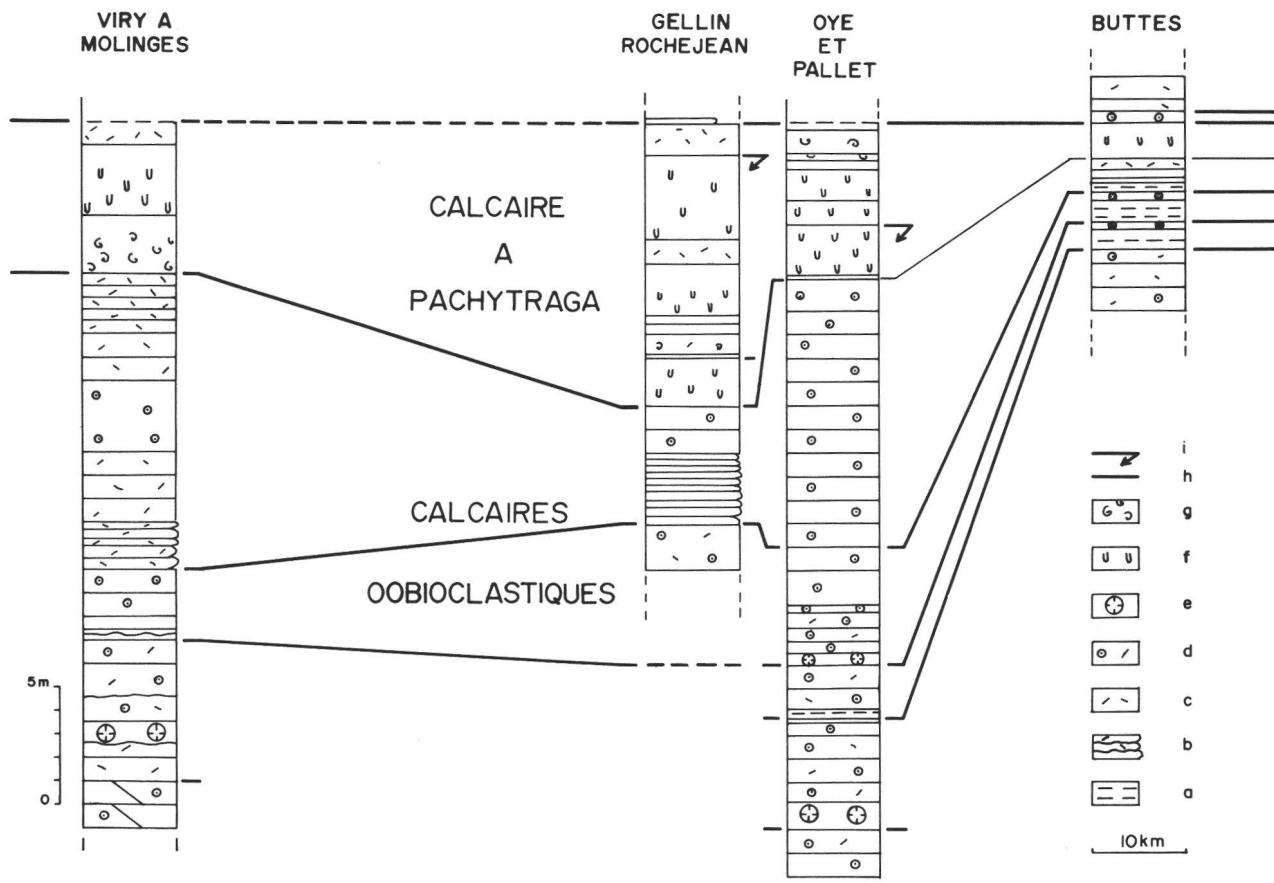


FIG. 3. — Variations latérales du «Calcaire à Pachytraga» et des formations encaissantes. a) marnes, b) packstones \pm bioclastiques, c) biocalcarénites, d) calcaires oolithiques, e) calcaires à madréporaires, f) calcaires à *Pachytraga*, g) calcaires à *Requieniidae*, h) discontinuités sédimentaires, i) surfaces d'émergence précoce.

Lateral changes of the «Calcaire à Pachytraga» and of the formations above and below. a) marls, b) \pm bioclastic packstones, c) biosparites, d) oolitic limestones, e) limestones with corals, f) limestones with *Pachytraga*, g) limestones with *Requieniidae*, h) sedimentary discontinuities, i) emersion surfaces.

Dans le cadre de la lithostratigraphie jurassienne (CONRAD & MASSE, ce vol.) le «Calcaire à Pachytraga» ne peut pas être considéré à la manière de GUILLAUME (1966) comme le terme basal de «l'Urgonien supérieur». Il représente l'équivalent latéral d'une partie de «l'Urgonien inférieur» au sein duquel il vient s'intercaler. Les données micropaléontologiques concernant les Dasycladales et les foraminifères montrent qu'il se situerait dans la partie supérieure de l'Hauterivien, vers le sommet de «l'Urgonien inférieur», en équivalence latérale des couches à cnidaires et / ou de la partie haute des calcaires oobioclastiques (fig. 4).

3. INTERPRÉTATION SÉDIMENTOLOGIQUE ET PALÉOOCÉANOGRAPHIQUE

Du point de vue sédimentologique le «Calcaire à Pachytraga» se caractérise par :

- L'importance des textures d'envasement calcaire (packstones-wackestones prédominants) et le mauvais classement, relativement au faciès des séries encaissantes;
- l'abondance, dans la fraction granulaire, des particules micritisées (péloïdes s.l.).

Ces caractères et les particularités paléoécologiques : abondance des rudistes et des miliolides traduisent des milieux faiblement agités, d'hydrologie temporairement perturbée et à vitesse de dépôt modérée en zone infralittorale.

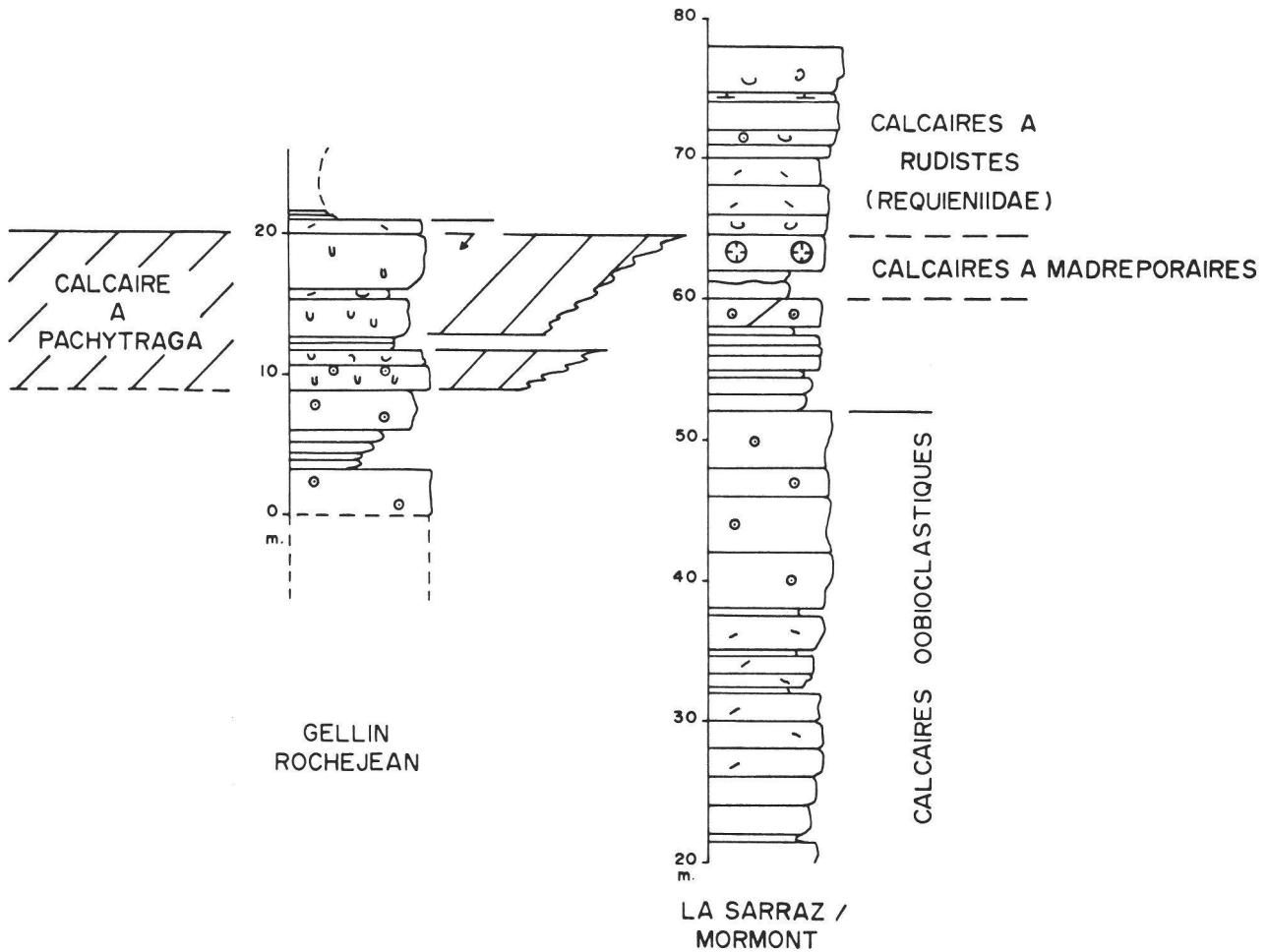


FIG. 4. — Hypothèse de corrélation des séries carbonatées bioclastiques et à rudistes de l'Hauterivien p.p. (Barrémien basal?) du Jura.

Hypothetical correlation within the calcareous successions of the Hauterivian p.p. (basal Barremian?) of the Jura Mountains.

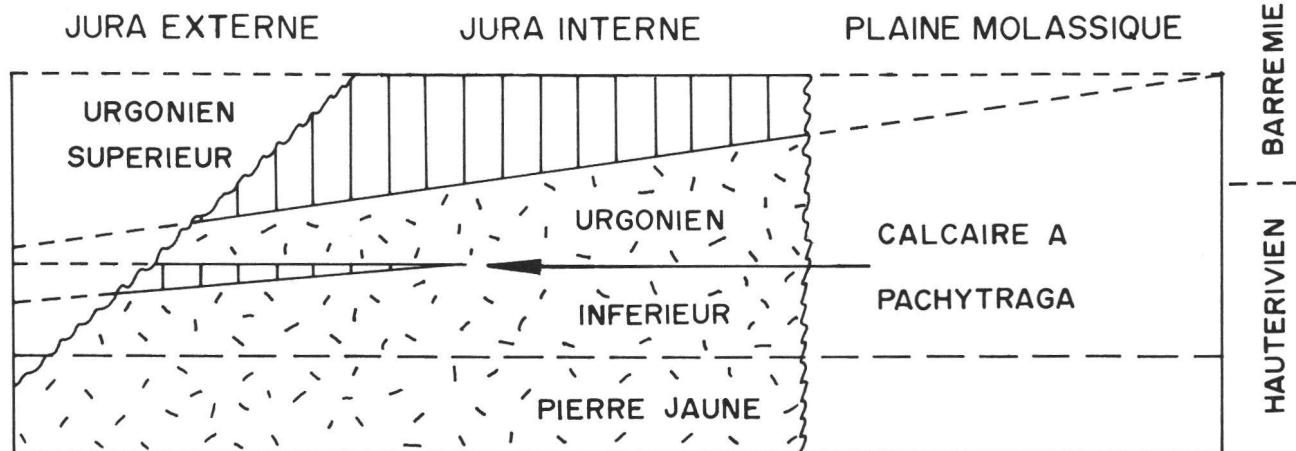
Les figures diagénétiques les plus fréquentes :

- Dissolution vadose de la partie aragonitique du test des Pachytraga et colmatage des vides résiduels par des pellets ;
- lithification précoce et bréchification in situ des mudstones, sont en faveur de conditions temporairement supra ou adlittorales dans un contexte général infralittoral.

Ainsi, dans l'ensemble des formations carbonatées hauteriviennes qui représentent des dépôts de plate-forme, les faciès du «Calcaire à Pachytraga» peuvent être interprétés comme des sédiments de plate-forme interne de type urgonien s.str. relativement aux faciès oobioclastiques et à madréporaires qui sont assimilables à des sédiments de plate-forme externe de type urgonien s.l. (MASSE, 1976). Nos observations et les hypothèses qui en découlent sont donc en contradiction avec celles de GUILLAUME (1966) qui considérait les «Calcaires à Pachytraga» comme des dispositifs plus ou moins récifaux enveloppés dans leurs produits de démantèlement. Dans une optique exclusivement faciologique, les unités lithostratigraphiques : Pierre jaune, «Urgonien inférieur» et «Urgonien supérieur» appartiendraient au groupe des faciès urgoniens s.l. L'épisode du «Calcaire à Pachytraga» correspond donc à l'établissement d'un système de plate-forme parvenu à maturité qui devait couvrir la plus grande partie du Jura externe jusqu'aux confins du Jura interne. Les faciès les plus internes (du point de vue de la zonéographie de plate-forme) devaient occuper le domaine du Jura externe où les érosions postérieures (anté-albiennes?) les ont fait disparaître (fig. 5). La limite paléooceanographique entre domaine interne et domaine externe de la plate-forme, au bord interne du Jura (fig. 6) semble correspondre à la limite paléogéographique majeure qui durant la plus grande partie du Jurassique sépare la région jurassienne de la région alpine externe (CONTINI, 1979; CHAUVE et al., 1980).

NW

SE



- Facies de plate-forme interne (calcaires à Rudistes s.l.)
- Facies de plate-forme externe (calcaires oobioclastiques et calcaires à Madréporaires)

FIG. 5. — Schéma d'organisation faciologique et lithostratigraphique des séries carbonatées de l'Hauterivien-Barrémien p.p. du Jura.

Schema showing lithostratigraphy and distribution of facies within the calcareous series of the Hauterivian-Barremian p.p. of the Jura Mountains.

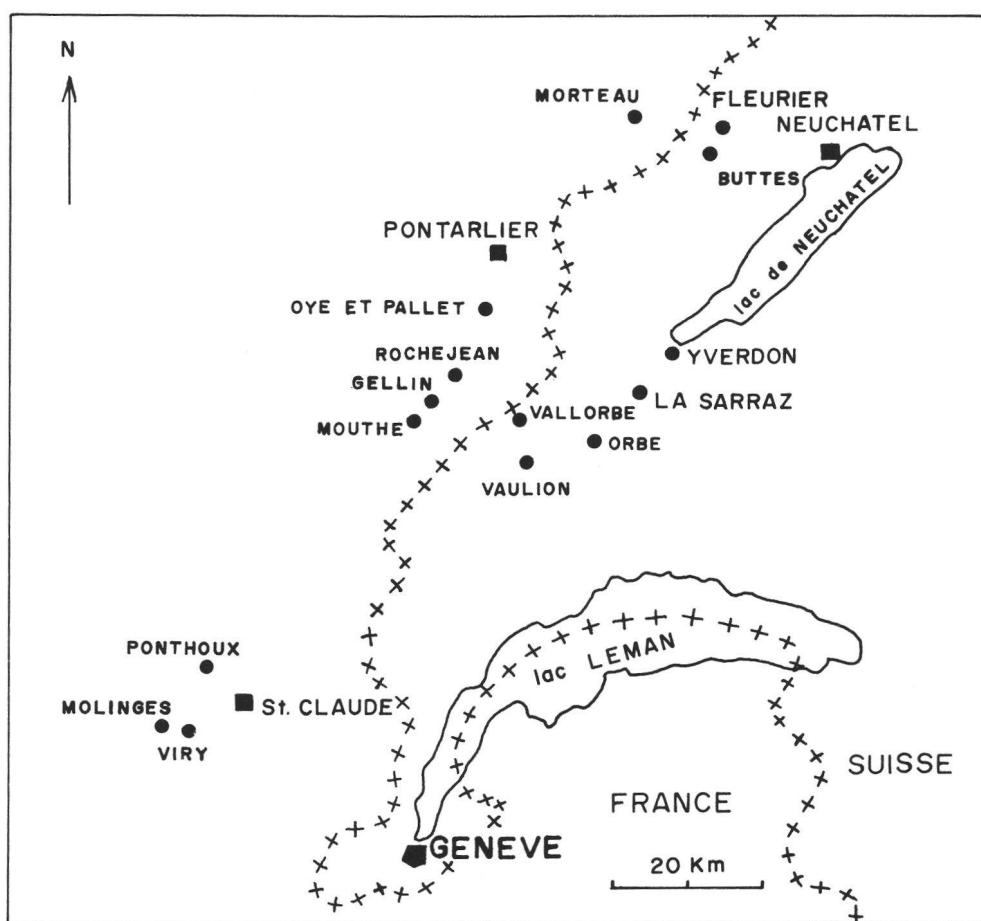


FIG. 6. — Paléogéographie de la plate-forme carbonatée jurassienne à l'Hauterivien supérieur p.p. (épisode du «Calcaire à Pachytraga»).

Paleogeography of the carbonate platform occupying the region of the Jura Mountains during parts of the Late Hauterivian (episode of the «Calcaire à Pachytraga»).

Cet épisode de plate-forme dont l'organisation spatiale et séquentielle est typiquement urgonienne préfigure le grand développement urgonien qui interviendra au Barrémien. A l'échelle du bassin sédimentaire éocrétacé du SE de la France et de ses annexes paléogéographiques (Sardaigne en particulier) l'épisode du «Calcaire à Pachytraga» jurassien participe à la phase générale de progradation des plates-formes comme à la même époque en Provence (MASSE, 1976) et en Sardaigne (MASSE & ALLEMANN, 1982).

4. CONCLUSIONS

Le «Calcaire à Pachytraga» est une unité lithostratigraphique qui se développe de la région de Saint-Claude jusqu'aux environs de Fleurier (Jura franco-suisse). Son âge est essentiellement hauterivien supérieur. Latéralement (vers le SE) il passe à des faciès oobioclastiques ou à madréporaires, c'est-à-dire aux formations de l'Urgonien inférieur. Ces dépôts à rudistes ont une signification principalement infralittorale et représentent des sédiments de plate-forme interne qui devaient s'étendre largement en direction du Jura externe où ils ont été érodés postérieurement. Cette phase de développement de plate-forme de type urgonien qui préfigure les grands développements barrémo-bédouliens, est également connue en Provence et en Sardaigne.

5. BIBLIOGRAPHIE

- ARNAUD, A. & MASSE, J.-P. — (1989). Les foraminifères benthiques de l'Hauterivien-Barrémien p.p. du Jura vaudois et neuchâtelois (Suisse). *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 257-276, Neuchâtel.
- ASTRE, G. — (1961). *Pachytraga* tubuleux du Barrémien du Doubs. *Bull. Soc. hist. nat. Toulouse* 96: 205-222, Toulouse.
- CHAUVE, P., ENAY, R., FLUCK, P. & SITTLER, C. — Vosges-Fossé rhénan — Bresse — Jura. In: *Géologie des pays européens: France, Belgique, Luxembourg*: 353-430, Dunod, Paris.
- CONRAD, M.-A. — (1969). Les calcaires urgoniens dans la région entourant Genève. — *Ectogae geol. Helv.* 62: 1-79, Bâle.
- CONRAD, M. A. & MASSE, J.-P. — (1989) Corrélations des séries carbonatées de l'Hauterivien et du Barrémien p.p. dans le NW vaudois (Suisse). *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 307-322, Neuchâtel.
- (1989). Les algues calcaires des formations carbonatées de l'Hauterivien-Barrémien p.p. dans le Jura vaudois et neuchâtelois (Suisse). *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 277-290, Neuchâtel.
- CONTINI, D. — (1979). Relations entre les bassins sédimentaires souab-loerrain et jurassico-dauphinois au Dogger. Naissance, évolution et disparition d'une plate-forme carbonatée. In: *La sédimentation du Jurassique W-européen. Assoc. sédimen-tol. franç.*, Publ. spéc. 1:125-134.
- GUILLAUME, S. — (1966-1967). Le Crétacé du Jura français. *Bull. Bur. Rech. géol. min.* 1966 N° 1: 1-43, N° 2: 7-69, N° 3: 11-79, N° 6: 65-140, 1967 N° 1: 155-193, Paris.
- MASSE, J.-P. — (1976). Les calcaires urgoniens de Provence (Valanginien-Aptien inférieur). Stratigraphie, paléontologie, les paléoenvironnements et leur évolution. *Thèse Fac. Sci. Marseille*, 445 p., Marseille.
- MASSE, J.-P. & ALLEMANN, J. — (1982). Relations entre les séries carbonatées de plate-forme provençale et sarde au Crétacé inférieur. *Cretaceous Res.* 3: 19-33.

<i>Mémoires de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles</i>	Tome XI	p. 81-100, 9 fig., 1 tableau	Neuchâtel, 1989
---	---------	------------------------------	-----------------

ANALYSE MINÉRALOGIQUE DE QUATRE COUPES DE L'HAUTERIVIEN DE LA RÉGION NEUCHÂTELOISE EXEMPLE DE L'ANALYSE MULTIVARIÉE AU SERVICE DE LA LITHOSTRATIGRAPHIE

par

Gérard GINDRAUX et Bernard KÜBLER

Programme de recherches subventionné
par le Fonds national suisse de la recherche scientifique, requêtes N°s 2.434.075, 2.045.078, 2.687.080

ABSTRACT. — The multivariated analyses of relationships according to BENZÉCRI, applied to rough intensities of diffraction rays, allow a more precise definition of the lithofacies of the Marnes bleues, Marno-calcaires and Pierre jaune. The differences between the lithofacies and the zones are due essentially to the relationships between the accessory minerals such as Goethite, Pyrite, Plagioclases and sometimes Quartz. The Calcite-Dolomite opposition underlines the differences in the marls and limestones-marls sedimentation.

RÉSUMÉ. — L'analyse multivariée des correspondances selon BENZÉCRI, appliquée aux intensités brutes des pics de diffraction, a permis de préciser la définition des lithofaciès des Marnes bleues, des Marno-calcaires et de la Pierre jaune. Les différences entre les lithofaciès et les zones reposent principalement sur les relations entre les minéraux accessoires tels que la goethite, la pyrite, les plagioclases et parfois le quartz. L'opposition calcite dolomite souligne les différences dans la sédimentation marnes-marno-calcaires.

Remerciements

Nous tenons ici à remercier tout particulièrement le Fonds national suisse de la recherche scientifique, l'Institut de géologie de l'Université de Neuchâtel ainsi que le Service des ponts et chaussées du canton de Neuchâtel qui grâce à leur soutien et à leur générosité nous ont permis de mener à terme cette recherche.

Carrière des Uttins, Mt. Chamblon

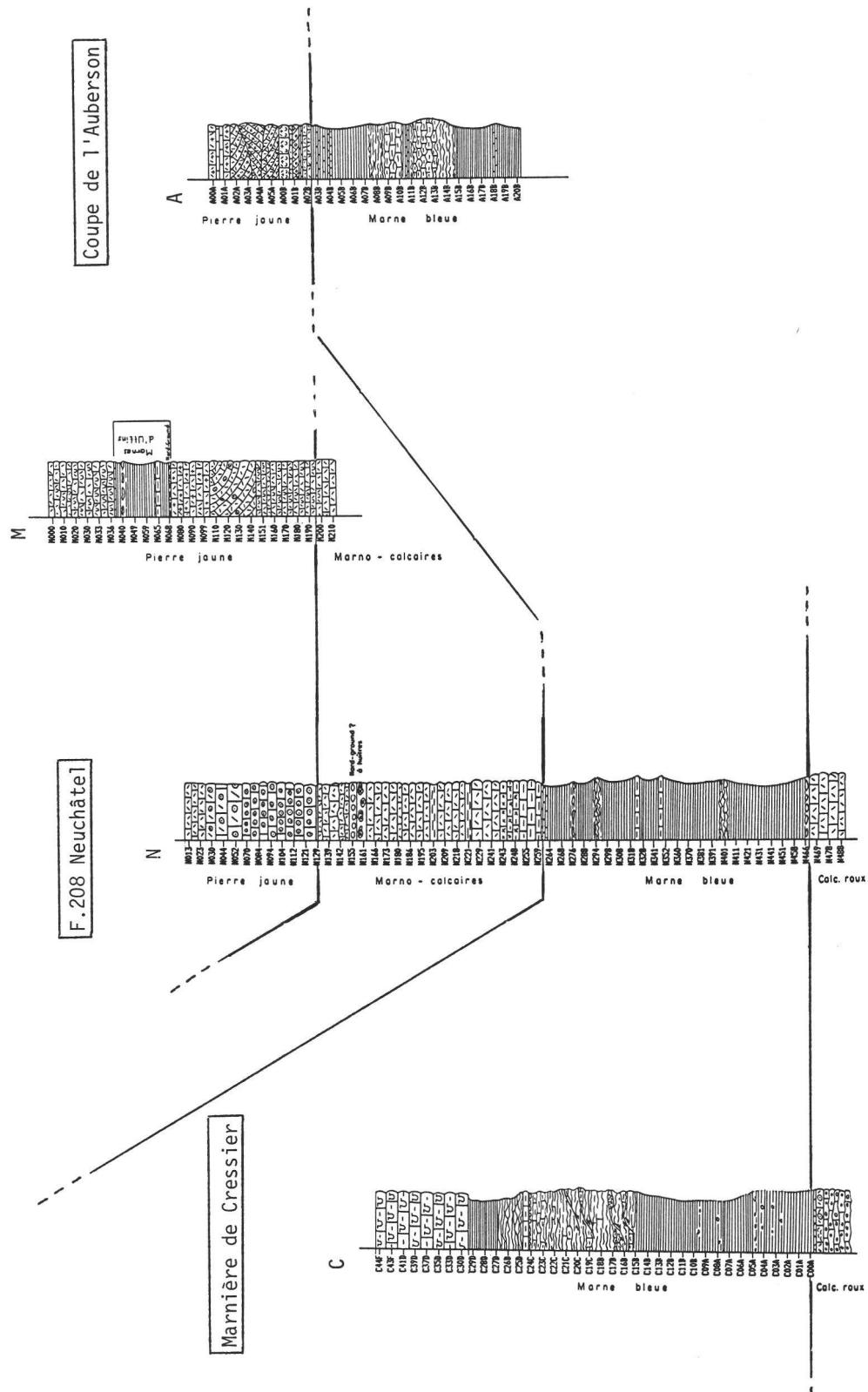


FIG. 1. — Colonnes stratigraphiques des coupes étudiées et leur corrélation.

1. LE CADRE

A l'occasion des travaux préliminaires de reconnaissance pour les tunnels sous Neuchâtel (RN5), plus de 100 forages carottés ont traversé une ou plusieurs de ces formations avec leurs toits et leurs murs. Ces carottes constituent un excellent matériel d'étude dans le sens qu'elles ne souffrent pas de l'altération météorique comme les affleurements de surface. Cependant sans le travail de l'altération la définition et la reconnaissance des formations et surtout de leurs limites, peuvent poser certains problèmes en forage. On espérait, par une analyse minéralogique et chimique précise, lever ces difficultés et donner si possible une définition plus précise, valable aussi bien en forage qu'à l'affleurement.

Notre but est donc de donner une *définition minéralogique aussi précise que possible des séquences sédimentaires et des divers niveaux porteurs de micro et macrofaunes*. C'est une des conditions de base d'une chronostratigraphie bien établie. Le second but est la promotion des corrélations par des marqueurs minéralogiques éventuels qui, dans certains cas, apportent une contribution importante (PERSOZ & REMANE, 1973).

Notre étude s'est concentrée sur trois coupes et un forage (fig. 1) :

- Forage F.208 de Neuchâtel (60 échantillons) : Pierre-jaune, Marno-calcaire, Marne-bleue, Calcaire-roux.
- Coupe de la marnière de Cressier (46 échantillons) : Marne-bleue, Calcaire-roux.
- Coupe de L'Auberson (31 échantillons) : Pierre-jaune, Marne-bleue.
- Coupe de la carrière des Uttins, Mont-Chamblon/Yverdon (25 échantillons) : Pierre-jaune, Marno-calcaire.

Le forage de Neuchâtel étant le plus complet, c'est celui que nous avons choisi pour tester l'utilisation de l'AFC et définir des AFC types donnant une image la plus juste possible de la minéralogie en corrélation avec la stratigraphie (fig. 2 à 6).

2. LES ERREURS DANS LE DOSAGE QUANTITATIF PAR DIFFRACTION X

Dans des formations marneuses et marno-calcaires l'analyse minéralogique étant impossible par le microscope polarisant, on a recours à l'analyse par diffraction X. Si l'analyse qualitative par diffraction est excellente dans la reconnaissance des différents minéraux, elle pose de nombreux problèmes sur le plan quantitatif. Parmi ceux-ci il faut citer la fidélité du broyage, du tassement des poudres, de la désorientation de celles-ci.

Grâce au broyeur isogranulométrique et au tasseur SNPA (SAHORES, 1967), ces problèmes purement mécaniques sont en partie réglés. Cependant dans les roches jurassiennes, le fer pouvant être abondant, les intensités des raies caractéristiques de chaque minéral peuvent varier, entraînant une erreur importante du dosage quantitatif. Pour remédier à cette erreur on peut recourir à la méthode de l'étalement interne (WEBER & LARQUE, 1969, in SAHORES et al., 1971), par correction des effets d'absorption matricielle, par mesure Compton SAHORES et al., op. cit.) ou par appréciation du coefficient d'absorption de l'échantillon selon la méthode FERRERO (in PERSOZ, 1969; SAHORES et al., 1971, op. cit.).

Nous utilisons en routine la méthode de FERRERO, mais elle n'est valable que si chaque substance chimique est assez cristallisée pour provoquer une raie de diffraction mesurable. Malheureusement la Pierre jaune de Neuchâtel et le Calcaire roux présentent souvent une proportion variable d'hydroxyde de fer amorphe ou très mal cristallisé. Par ailleurs la goethite, minéral fréquent de ces formations, présente les états de cristallisation variable. Les corrections que l'on peut alors apporter selon la méthode de FERRERO, peuvent être entachées d'erreur. En fait des contrôles minutieux ont prouvé que les erreurs cumulées sur le dosage des minéraux principaux pouvaient atteindre jusqu'à 20 %. Cette erreur est beaucoup trop élevée pour la précision que requiert une étude aussi minutieuse que celle de la révision de l'étage hauterivien.

Une réflexion sur la source de ces erreurs conduit rapidement aux constatations suivantes : un tassement non uniforme des poudres modifie les intensités absolues des raies de diffraction mais ne modifie pas leurs rapports. Il en est de même pour les quantités variables de fer amorphe ou mal cristallisé. Les rapports entre les pics sont donc fidèles si les intensités absolues ne le sont pas. Pour une distinction fidèle entre les formations, il est donc préférable d'utiliser les rapports entre les pics de diffraction des différents minéraux.

3. LE RE COURS A L'ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES, SELON BENZÉCRI

Nous avons abrégé les noms des minéraux dont il est souvent question dans le texte. Pour les abréviations voir la légende de la fig. 2.

Dans les formations du Crétacé inférieur on note la présence de 8 minéraux: calcite, dolomite, quartz, feldspaths potassiques, plagioclases alcalins, pyrite, goethite et gypse. Il serait long, fastidieux et inélégant de calculer tous les rapports entre ces huit minéraux et l'image qui en ressortirait serait difficile à interpréter. Aussi le moyen le plus élégant consiste à recourir aux analyses multivariées.

Mais éliminons d'emblée l'analyse factorielle en mode Q ou R, parce qu'elle part du calcul des coefficients linéaires de régression et ceci n'a de signification que si l'on a des distributions homogènes ou des valeurs bien réparties sur chaque variable. De la même façon nous avons éliminé, après de nombreux contrôles, l'analyse selon les composantes principales, pour retenir *l'analyse des correspondances* selon BENZÉCRI (BENZÉCRI et al., 1973; BENZÉCRI & BENZÉCRI, 1980; BASTIN et al., 1980).

L'analyse des correspondances s'applique à des tableaux de fréquence. Son intérêt est qu'elle permet une représentation simultanée des observations et des variables sur les plans factoriels. La distance utilisée est celle du χ^2 qui fournit une mesure de dépendance entre les variables et les observations.

En géologie: Variables = minéraux
Observations = échantillons

Il faut remarquer que la méthode de l'analyse des correspondances permet de décrire un tableau de données tel qu'il est. Elle ne permet pas d'en tirer automatiquement des lois géologiques ou autres. Il faut d'autant plus se méfier des tendances constatées dans les données que l'effectif, qui a permis de mettre en évidence ces tendances, est faible. Plus l'effectif est faible, plus la répétition d'une même expérience conduira aux mêmes conclusions.

A partir du tableau de données on construit une matrice des distances du χ^2 entre les paires de variables qu'on peut interpréter comme suit: si deux variables sont à une distance nulle, cela signifie que les colonnes (teneurs des échantillons) correspondant à ces variables (minéraux) sont proportionnelles. On peut même calculer une matrice des distances du χ^2 entre les observations: une distance nulle entre deux observations signifie que les lignes correspondant à ces observations sont proportionnelles.

On calcule ensuite la valeur propre de l'une ou l'autre de ces matrices de distance (on peut démontrer qu'elles ont les mêmes valeurs propres, donc que l'ACF fait jouer un rôle parfaitement symétrique aux lignes et aux colonnes du tableau). Chaque valeur propre correspond à un axe factoriel et donne sur cet axe l'information: plus le rapport de la valeur propre sur le tracé est grand, plus l'axe factoriel est important, c'est-à-dire que les projections des observations (ou des variables) sur cet axe représentent d'autant mieux les observations elles-mêmes que le rapport ci-dessus est grand. Ce rapport exprimé en pour-cent s'appelle: pour-cent de variabilité absorbé par le facteur.

Chaque échantillon, sur cet axe factoriel, est décrit par sa contribution. On peut utiliser l'AFC pour séparer les groupes d'échantillons et les groupes de variables (les minéraux dosés) selon une représentation en plan par exemple axe 1 et axe 2 ou axe 1 et axe 3, etc. Nous avons démontré qu'en géologie stratigraphique ou en géologie des éléments-trace, la variable cardinale de référence était: la profondeur pour un forage, la hauteur pour une coupe de terrain. Cette cote que l'on symbolise dans un espace à trois dimensions par la coordonnée z est un témoin du temps. C'est pourquoi nous représentons les contributions des échantillons pour chaque axe selon la coordonnée z donc selon la coordonnée du temps relatif. Et c'est ce mode de représentation que nous avons aussi utilisé pour l'Hauterivien (voir fig. 2 à 9).

Il n'est pas de notre propos de procéder ici à une étude comparée de la validité de la distance du χ^2 par rapport aux distances des composantes principales. Mentionnons brièvement que nous avons appliqué les deux méthodes sur le forage F 208 aussi bien sur les pourcentages soigneusement calculés que sur les intensités brutes des pics. Après comparaisons nous avons écarté l'analyse factorielle d'après le calcul des composantes principales pour ne garder que l'analyse des correspondances.

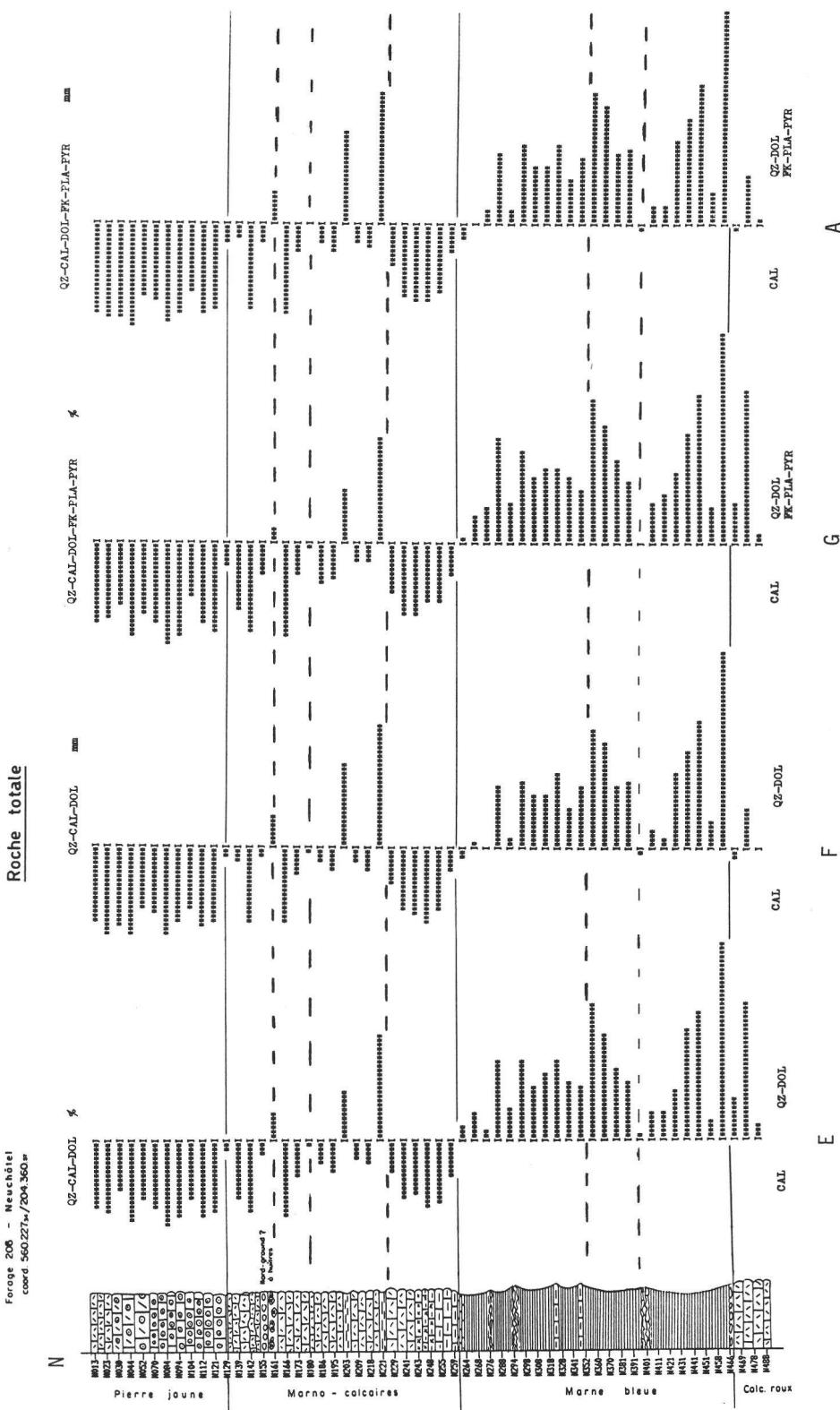


FIG. 2. — Forage F. 208 Neuchâtel (N), roche totale (minéraux en grains). Le nombre qui suit le N indique la côte en [dm].

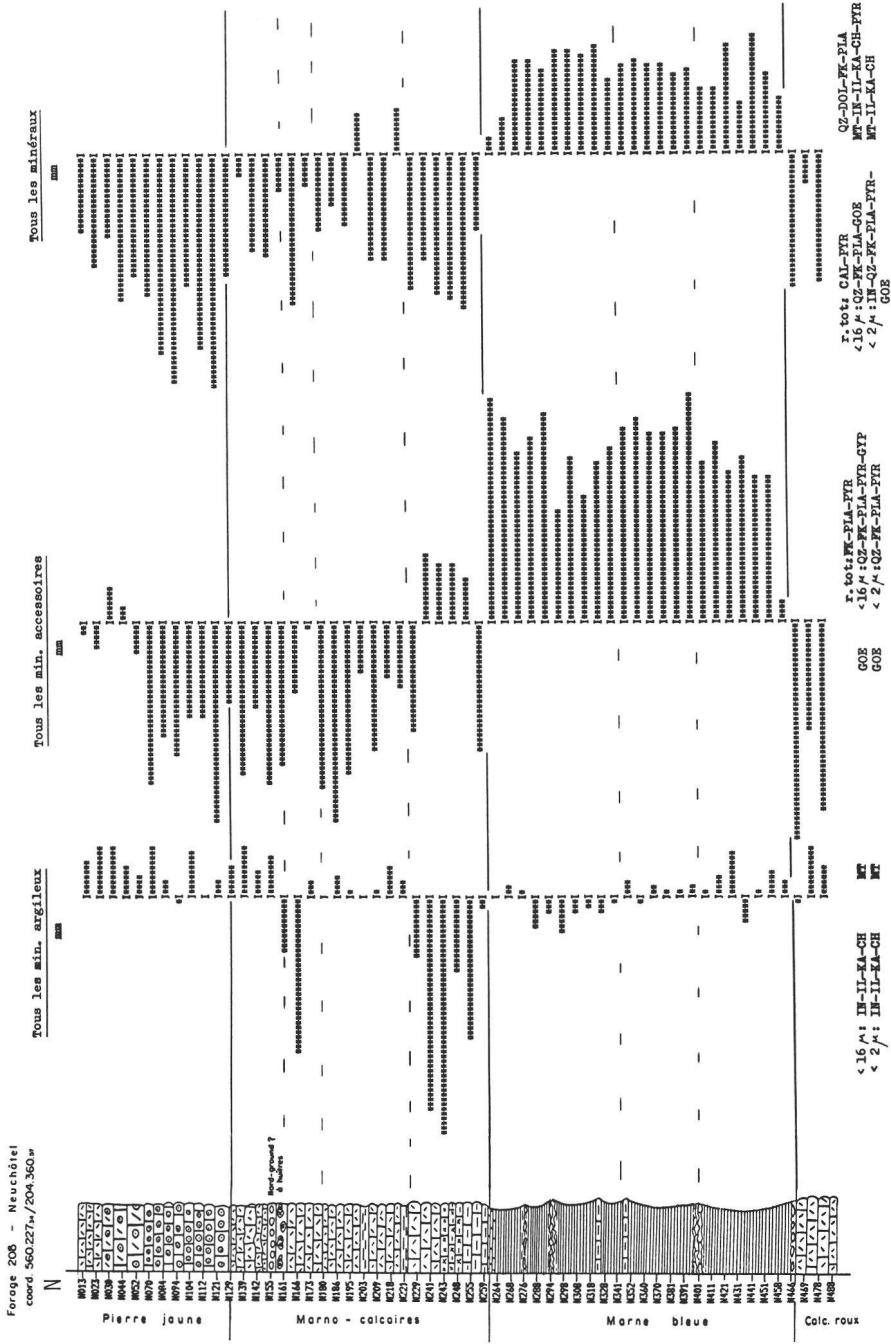


FIG. 3. — Forage F. 208 Neuchâtel (N), essais d'AFc (le nombre qui suit le N indique la cote en [dm]).

4. IDENTIFICATION COMPARÉE DES FORMATIONS PAR ANALYSE DES CORRESPONDANCES (Forage 208)

4.1. Roche totale (fig. 2)

D'après FERRERO la concentration Cm d'un minéral est liée à l'intensité mesurée I de ce minéral par la relation suivante:

$$CM = I\mu_e \cdot 100 / (I_0 \cdot \mu_m) - I(\mu_m - \mu_r)$$

où I_0 est l'intensité du minéral pur et μ_m son coefficient d'absorption massique, μ_e le coefficient d'absorption de l'échantillon, μ_r le coefficient d'absorption de référence.

Il correspond, selon FERRERO, à une matrice argileuse d'absorption moyenne et qui vaut $46,9 \text{ cm}^2/\text{g}$ (K_a , Cu). Le coefficient d'absorption de l'échantillon est égal à la somme des coefficients d'absorption de chaque minéral proportionnellement à sa concentration

$$\mu_e = \mu_{m_1} \cdot C_{m_1} + \mu_{m_2} \cdot C_{m_2} + \mu_{m_3} \cdot C_{m_3} \dots$$

Appelons μ_n la contribution de chaque minéral ou coefficient d'absorption massique.

$$\mu_e = \sum_1^n \mu_n + \mu_r$$

KETTIGER (1982, inédit), à la suite de PERSOZ (1969) calcule le μ_n de chaque échantillon :

$$\mu_n = I \cdot \mu_r (\mu_m - \mu_r) / (I_0 \cdot \mu_m) - (I (\mu_m - \mu_r))$$

ce qui lui évite de passer par les abaques de FERRERO et lui permet d'ajuster en tout temps les I_0 des minéraux purs de référence. On remarquera que FERRERO avait proposé d'utiliser les surfaces approchées des pics en multipliant la hauteur par la largeur à mi-hauteur pour les carbonates, ce que les résultats de PERSOZ (1969) ont confirmé.

Ce sont donc ces pourcentages soigneusement calculés que nous avons comparés à l'intensité brute des raies de diffraction sans aucune correction. Si l'on ne considère que les minéraux majeurs, soit ici la calcite, le quartz et la dolomite, la séparation des trois formations est aussi bonne par AFC sur les pourcentages calculés que sur les intensités brutes (fig. 2, colonnes E et F). En prenant tous les minéraux dosés sur la roche totale, à savoir les trois majeurs et les mineurs feldspaths potassiques (FK), plagioclases (PLA) et pyrite (PYR), la séparation des formations est aussi bonne dans les deux cas (fig. 3, colonnes H, I, O).

On en tire la première conclusion que pour les minéraux déterminés par DX à partir de la roche totale, les formations sont aussi bien individualisées par la mesure directe et sans correction des intensités brutes que par les pourcentages selon la méthode de FERRERO. Le regroupement des variables est le même; les contributions des échantillons sur l'axe 1 sont les mêmes. Les niveaux marneux sont caractérisés par des contributions positives comme celles des variables quartz et dolomite ou QZ, DOL, FK, PLA, PYR; les niveaux et formations carbonatées par des contributions négatives comme la calcite. La Pierre jaune est franchement carbonatée, les Marno-calcaires peuvent se diviser en quatre, les Marnes bleues en trois sous-formations selon les contributions des échantillons sur l'axe.

L'AFC décrit parfaitement les rapports entre tous les minéraux et fait ressortir les niveaux plus calcitiques des niveaux plus argileux par l'intermédiaire des minéraux pilotes des marnes, à savoir: dolomite, feldspaths, pyrite et quartz.

4.2. Distinction des formations par application de l'AFC aux minéraux de la fraction inférieure à 16μ (fig. 4, forage F. 208)

Les minéraux de cette fraction sont, dans les formations hauteriviennes: smectite (nom général de toutes les montmorillonites), illite, kaolinite et chlorite accompagnés des minéraux fins en grain QZ, FK, PLA, PYR,

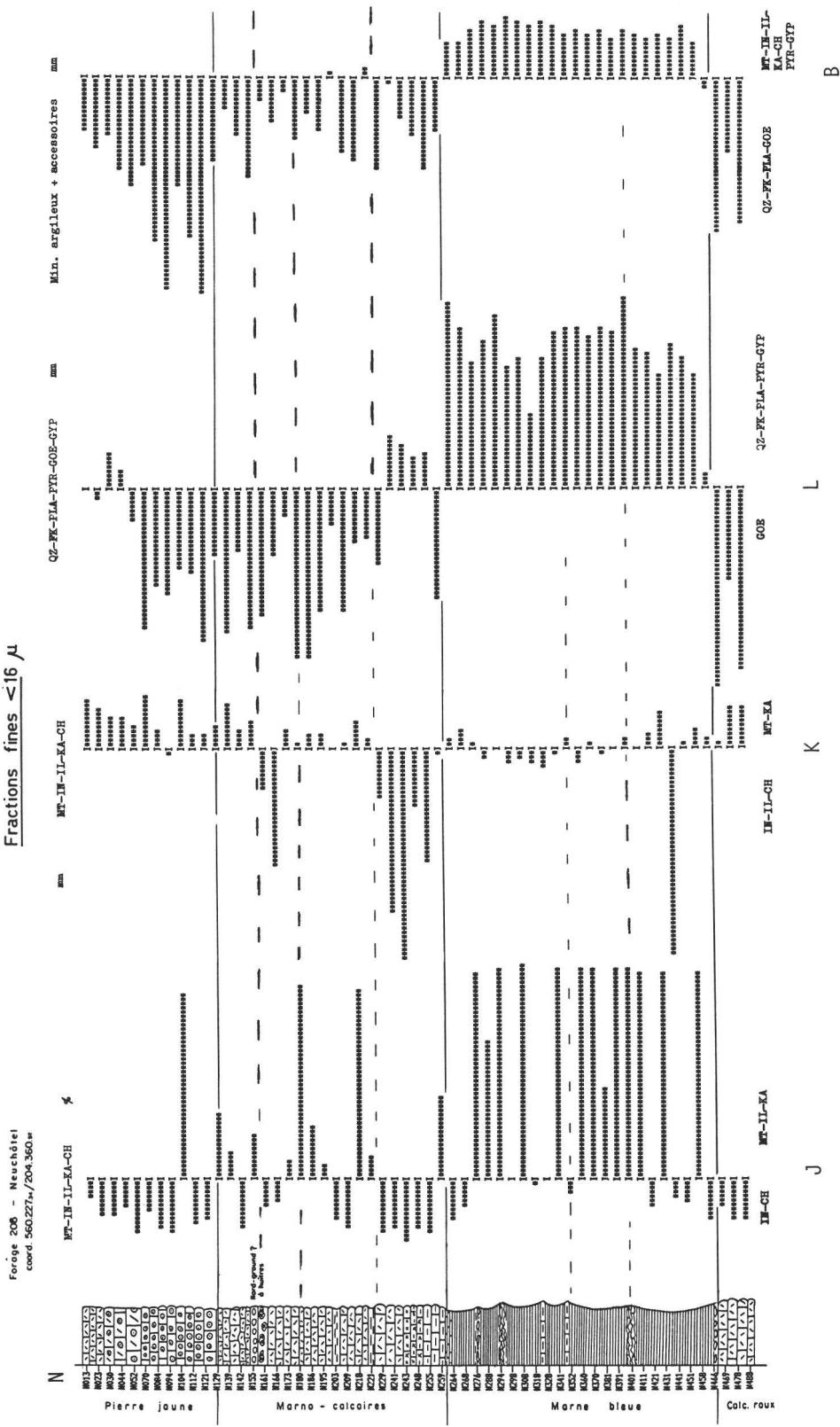


FIG. 4. — Forage F. 208 Neuchâtel (N), fraction fine < 16 µm (le nombre qui suit le N indique la cote en [dm]).

GOE (goethite) et GYP (gypse). Les interstratifiés smectite-micas principalement ont été mesurés dans un angle situé entre 10 et 14 A dans les diagrammes de diffraction. Les smectites sont du type dioctaédrique, on peut les assimiler à la montmorillonite (*sensu lato*).

Les intensités absolues n'ont pas grande signification dans de telles préparations, aussi on calcule en général des proportions en sommant toutes les intensités des minéraux et en rapportant par une simple règle de trois l'intensité de chaque minéral à cette somme. Pour cette fraction nous avons aussi comparé les résultats du traitement des données par AFC sur les pourcentages relatifs des minéraux et sur leurs intensités brutes. L'Hauterivien est dominé, à travers ces trois formations et dans cette fraction, par la smectite à 70 % relatifs. On ne note qu'un faible contraste dans les proportions entre les marnes et marno-calcaires. Kaolinite et chlorite forment au maximum 10 % relatifs de la fraction. Elles sont légèrement plus abondantes dans les marnes. Le traitement de données aussi monotones et largement dominées par un seul composant, n'a pas grande signification. Si l'on compare les axes 1 à partir des pourcentages relatifs et des intensités brutes, le groupement des variables-minéraux, le contraste des contributions est différent (fig. 4, colonnes J et K). Cela ne signifie pas seulement que le traitement par AFC n'apporte rien, cela confirme que dans la mégaséquence hauterivienne les minéraux argileux ne changent pas de rapports suivant la progression des milieux de dépôt en une séquence régressive. Ce fait sédimentologique important peut parfaitement être décrit sans traitement des données.

Au contraire, les minéraux accessoires, de cette fraction, traités à partir des intensités brutes sont assez contrastés pour que par AFC la définition des formations ressorte clairement. Ainsi la goethite est opposée aux QZ, FK, PLA, PYR et GYP. Elle est un minéral marqueur des calcaires, les autres des marnes. La limite des Marnes bleues et des Marno-calcaires est particulièrement bien tranchée (fig. 3, colonne D). La première sous-formation des Marno-calcaires s'individualise aussi bien que par les minéraux des roches totales. L'AFC, à partir des intensités brutes des minéraux accessoires, permet d'identifier parfaitement le contraste marnes opposées aux Marno-calcaires et calcaires.

Si on traite les 11 minéraux de cette fraction (fig. 4, colonne B) l'identification des trois formations est encore meilleure. Dans la définition des unités et leur corrélation, la meilleure identification est obtenue par le traitement par AFC de tous les minéraux selon leur intensité brute.

4.3. La Fraction inférieure à 2 µm (fig. 5, forage F. 208)

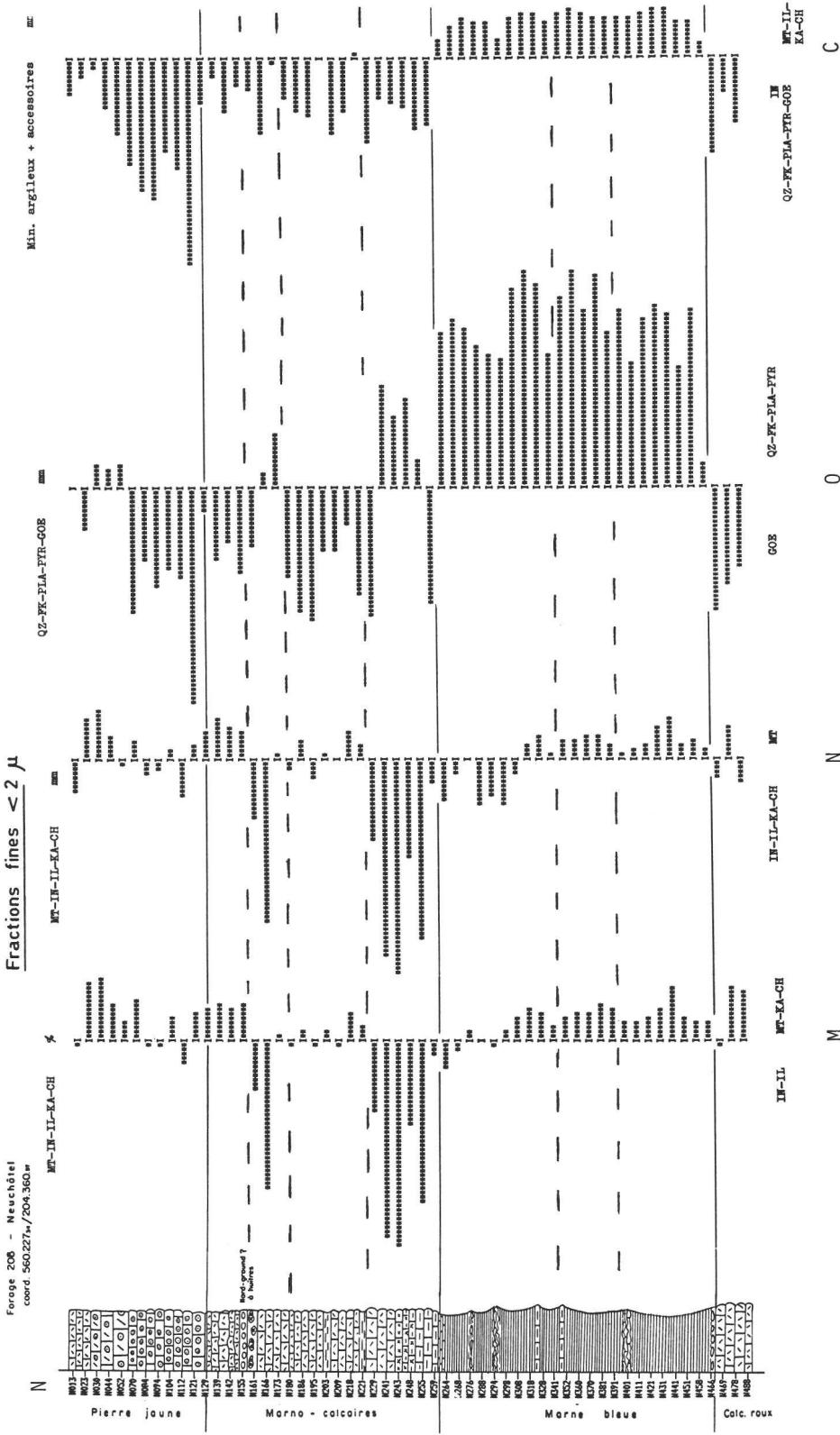
Dans cette fraction, les teneurs en chlorite, en interstratifiés sont plus continues que dans la fraction inférieure à 16 µm. Cependant on ne note que peu de variation dans les proportions d'illite et de smectite dans les trois formations. Cela nous ramène au cas précédent où l'AFC, sur les minéraux argileux, ne peut révéler, tant en pourcents relatifs qu'en intensité brute, des contrastes fidèles et valables. Comme précédemment, le groupement des variables n'est pas fidèle (fig. 5, colonnes M et N). Tout au plus la première sous-formation des Marno-calcaires est bien identifiée. Cela correspond à une chute des teneurs en smectite et est, de ce fait, dûment documentée par l'AFC.

Par contre avec les minéraux accessoires le contraste marnes d'une part et Marno-calcaires d'autre part, est très net (fig. 5, colonne O), l'opposition goethite — autres minéraux est en la clef. Comme pour la fraction inférieure à 16 µm, les intensités brutes de tous les minéraux de la fraction <2µm donne, par AFC, la meilleure individualisation des trois formations.

On en conclut, pour cette fraction aussi, que *les meilleurs résultats sont acquis par le traitement AFC des intensités brutes de tous les minéraux* (fig. 5, colonne C). Des précisions sur chaque formation sont acquises par les minéraux non argileux (fig. 5, colonne O).

4.4. Distinction des formations par AFC sur les minéraux groupés

Pour gagner une vue plus synthétique on a groupé d'abord les minéraux argileux, puis tous les minéraux accessoires des deux fractions fines isolées.



Avec le premier groupe (fig. 3, colonne H), du fait que les smectites dominent largement et que les contrastes ne sont pas marqués entre les formations, comme on pouvait s'y attendre, seule la première sous-formation est fidèlement distinguée par AFC; les contributions sont élevées par valeurs négatives et s'opposent aux smectites.

Pour les minéraux accessoires des deux fractions, l'individualisation des formations est bien meilleure, la goethite s'oppose à tous les autres minéraux; elle est le minéral caractéristique des horizons carbonatés (fig. 3, colonne I).

Par contre si l'on traite tous les minéraux: ceux de la roche totale et ceux des fractions fines, Calcaire roux, Marne bleue, Marno-calcaire et Pierre jaune sont parfaitement individualisés; les contributions des échantillons à l'axe sont même significatives dans leur grandeur et leur signe et décrivent parfaitement le tableau des données.

5. LES ANALYSES FACTORIELLES RETENUES POUR LA COMPARAISON DES COUPES AU FORAGE DE RÉFÉRENCE F. 208

Les quatre analyses des correspondances qui donnent les meilleurs résultats à partir des intensités brutes des minéraux sont donc

- A : Minéraux par DX de la roche totale;
- B : Minéraux de la fraction <16µm, argiles et accessoires;
- C : Mêmes minéraux de la fraction <2µm;
- D : Tous les minéraux, roche totale et deux fractions.

Par ces AFC, on se libère de tous calculs quantitatifs par étalons externes, internes ou de tout coefficient de correction des intensités. Le but de ces analyses est avant tout de définir des ensembles minéralogiques pour l'établissement objectif de séquences dans les colonnes lithologiques.

6. FORMATION DU FORAGE F. 208

Selon la description lithologique macroscopique de REMANE et al. (ce volume) le forage a d'abord traversé les calcaires de la Pierre jaune puis la Zone marno-calcaire, la Marne bleue pour s'arrêter dans les Calcaires roux.

Selon l'AFC des minéraux de la roche totale (fig. 2, colonne A), l'opposition entre les marnes et les calcaires est bien marquée par l'opposition, dans l'axe 1, de QZ-DOL-FK-PLA-PYR à la calcite. Cela signifie déjà que les marnes sont plus riches en quartz, dolomites, feldspaths potassiques, plagioclases et pyrite que les calcaires. Dans la Zone marno-calcaire, on pourrait distinguer une séquence inférieure plus pauvre en minéraux détritiques, une séquence moyenne intermédiaire entre les marnes et les calcaires avec des récurrences ponctuelles franchement marneuses et une séquence supérieure qui annonce les calcaires francs de la Pierre jaune. On remarquera que cette AFC ne permet pas de reconnaître le Calcaire roux d'une façon évidente.

Dans la fraction <16µm, l'opposition marnes-calcaires correspond à une opposition entre MT-IN-IL-KA-CH-PYR-GYP pour les marnes et QZ-FK-PLA-GOE pour les résidus insolubles des calcaires (fig. 4, colonne B). Les contributions des échantillons à l'axe 1 sont très homogènes pour les Marnes bleues, intermédiaires pour la Zone marno-calcaire et très négatives pour les calcaires de la Pierre jaune et du Calcaire roux.

Pour la fraction <2µm, la distinction des diverses formations est aussi bonne que pour la fraction <16µm (fig. 5, colonne C). Cependant seules restent groupées les argiles pour les contributions positives, c'est-à-dire MT-IL-KA-CH alors que PYR-IN passent par contributions négatives à gauche de la colonne et sont dès lors associés à QZ-FK-PLA-GOE, association caractéristique des résidus insolubles des calcaires. Cette différence des contributions des échantillons et de leur signe pourrait être interprétée comme le résultat d'une différence de taille entre minéraux; la pyrite étant plus abondante dans la fraction <2µm.

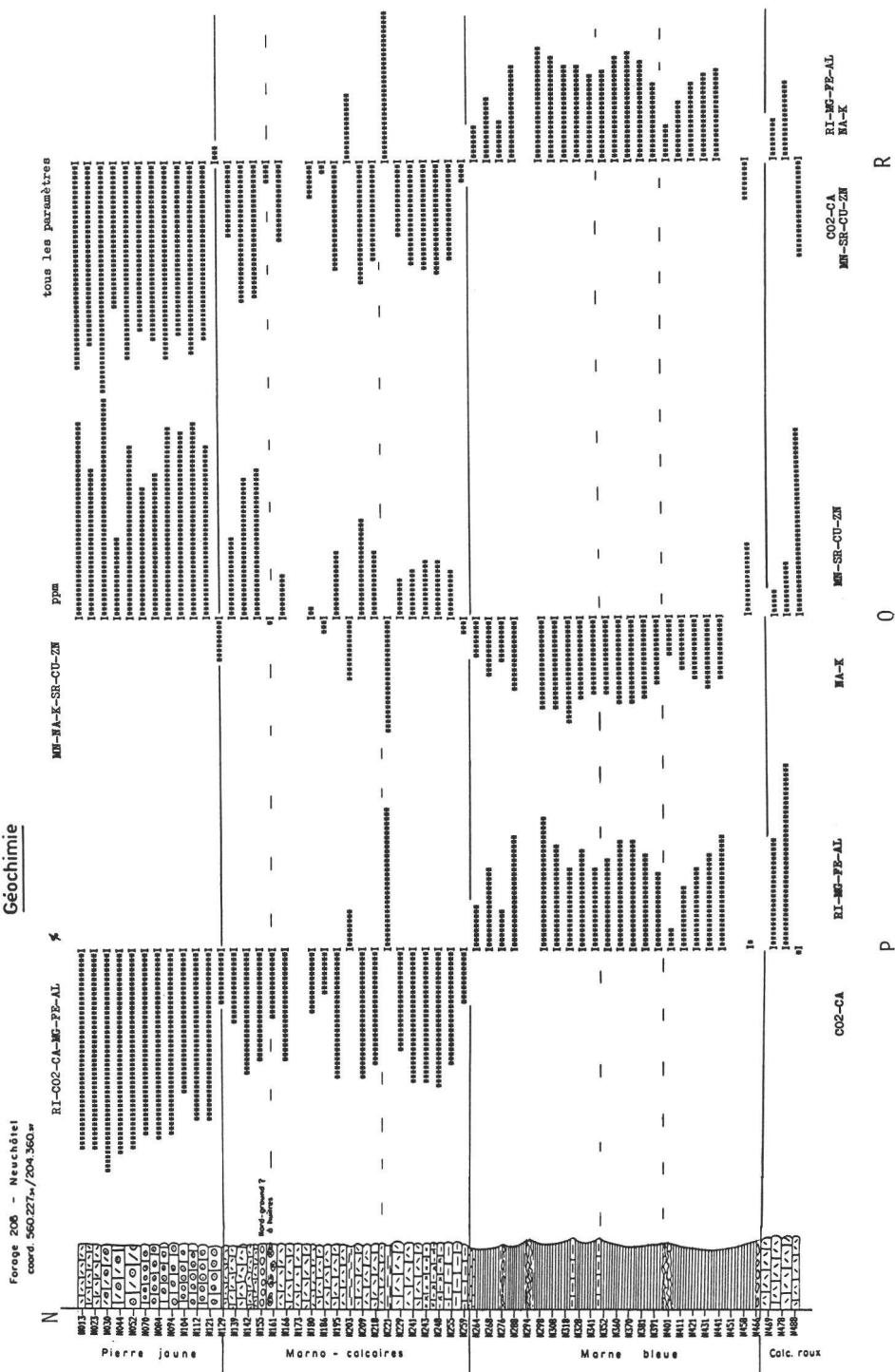


FIG. 6. – Forage F. 208 Neuchâtel (N), géochimie (le nombre qui suit le N indique la côte en [dm]).

Dans l'AFC qui traite de tous les minéraux mesurés sur roche totale et dans les deux fractions du résidu insoluble, la distinction entre les formations est très nette. Les ruptures de signe des contributions soulignent bien les limites entre Calcaire roux, Marne bleue et Zone marno-calcaire. La distinction entre Zone marno-calcaire et Pierre jaune n'est pas marquée par un changement de signe mais par une valeur moins importante des contributions. Pourtant dans le détail, on pourrait remarquer des contradictions. En effet, en roche totale, feldspaths et plagioclases sont opposés à la calcite donc aux calcaires. Ces mêmes minéraux dans les deux fractions fines sont associés aux minéraux du résidu insoluble des calcaires. En roche totale ils marquent des marnes et, en résidu insoluble, ils marquent les calcaires. Cette contradiction n'est qu'apparente. Elle a une explication minéralogique. En roche totale, ces minéraux sont certes très indicatifs mais ne sont qu'accessoires par rapport à la calcite, leur poids est relativement faible. Par contre dans le résidu insoluble, la calcite ayant été éliminée, ces minéraux sont opposés aux phyllosilicates. Cependant ce sont des minéraux en grains qui comme le quartz ont une granulométrie plus forte que les argiles. Ils sont en général plus abondants dans la fraction $<16\mu\text{m}$. On doit donc admettre que dans l'Hauterivien, les faciès marno-calcaires et calcaires se sont déposés dans des milieux plus agités que les marnes donc dans des milieux plus pauvres en argiles fines mais relativement plus riches en minéraux en grains. VIÉBAN (1983) et ADATTE & RUMLEY (1984) ont confirmé cette observation.

7. LES FORMATIONS DE LA MARNIÈRE DE CRESSIER

Dans cette coupe, seules la Marne bleue et la Zone marno-calcaire ont été échantillonnées. Les calcaires francs de la Pierre jaune ou du Calcaire roux ne figurent pas dans les analyses factorielles. Elles sont donc très différentes de celles du forage F 208 par manque des pôles à calcite abondante. Elles donnent par contre des précisions sur les associations marnes marno-calcaires.

L'AFC de la roche totale (fig. 7, colonne A), permet de distinguer les marnes inférieures, les marno-calcaires supérieurs et une zone de transition intermédiaire entre ces deux séquences qui se marque par des contributions tantôt positives, tantôt négatives soulignant bien les différentes zones tantôt argileuses, tantôt calcaires des Marnes bleues. Il est à remarquer qu'ici la calcite est associée aux contributions de signe négatif, c'est-à-dire aux marnes et elle est opposée au quartz et à la dolomite associés aux calcaires. Ce fait contradictoire s'explique par une plus grande fréquence du quartz et de la dolomite dans les bancs légèrement plus calcaires que dans les marnes franches inférieures.

Avec l'AFC de la fraction $<16\mu\text{m}$ (fig. 7, colonne B) on peut distinguer trois séquences par l'opposition IN-IL-KA-FK-PLA pour les zones argileuses et MT-CH-QZ-PYR-GYP (contribution de signe négatif) caractérisant plutôt les zones calcaires. Macroscopiquement, rien ne permet de distinguer une séquence inférieure dans les Marnes bleues. La limite fixée par l'AFC est entre C04A et C05A. La limite entre les zones argileuses et les zones calcaires (C15B et C16B) correspond, elle, exactement au changement lithologique observé sur le terrain. Par contre les minéraux de cette fraction ne permettent pas de distinguer une séparation entre les zones calcaires supérieures et leur mur, comme l'AFC sur roche totale le révélait.

La fraction $<2\mu\text{m}$ (fig. 7, colonne C) reproduit les mêmes associations et limites que la fraction $16<\mu\text{m}$ à la différence que dans les contributions négatives, la goethite remplace la pyrite.

Par les AFC de ces deux fractions fines du résidu insoluble, il est possible de mieux préciser dans le détail les associations du complexe zones argileuses-zones calcaires. Les smectites ne subissant que peu de variations au passage des zones argileuses aux zones calcaires toutes les différences proviennent des autres minéraux. On doit alors admettre que les marnes franches sont caractérisées par une plus grande proportion de micas détritiques et de leur cortège d'interstratifiés, de plagioclases et feldspaths détritiques aussi de kaolinite. Dans les bancs légèrement plus carbonatés, quartz, pyrite, gypse et goethite augmentent.

L'AFC de l'ensemble des minéraux (fig. 7, colonne D) reproduisant très fidèlement le découpage des AFC des deux fractions fines, on peut en déduire que les oppositions dans l'AFC des minéraux de la roche totale ont moins de poids que celles des fractions fines.

Mornière de Cressier

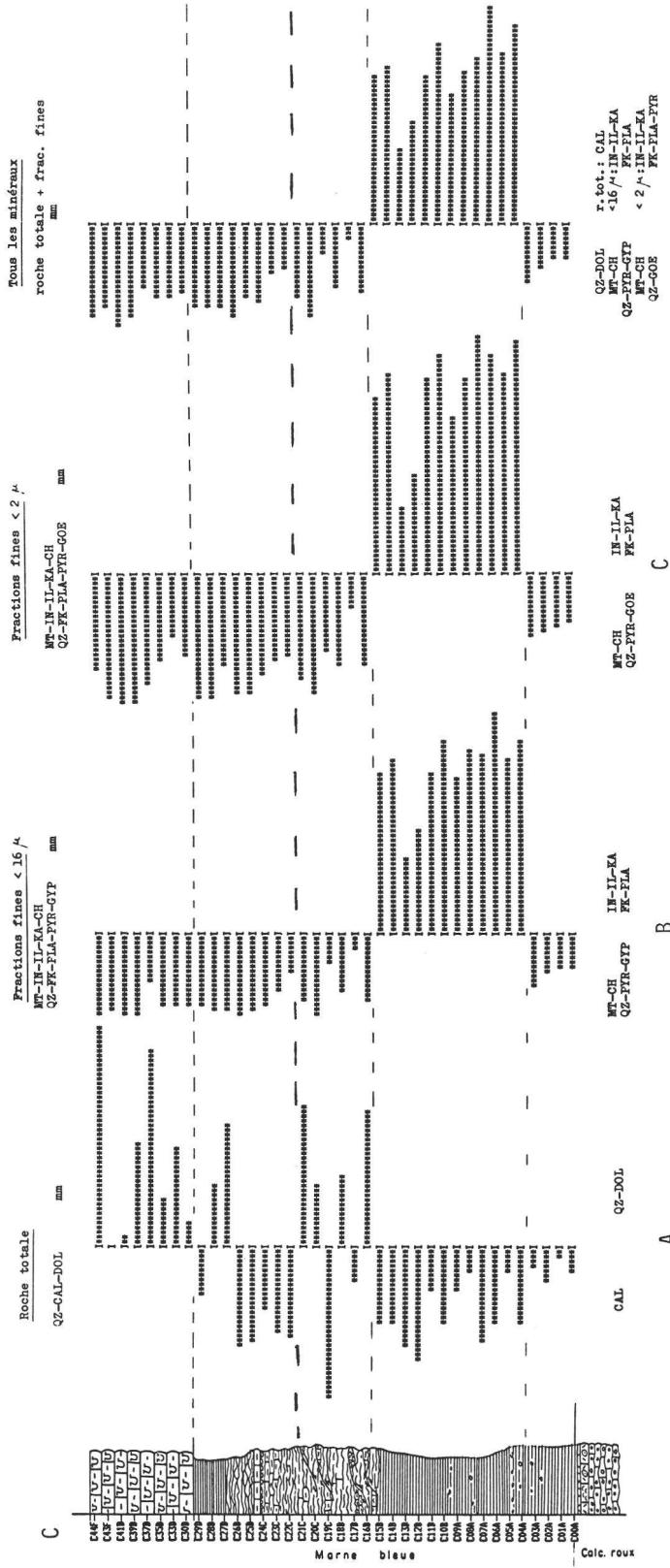


FIG. 7. — Coupe de la marnière de Cressier (C). Le nombre qui suit le N indique la cote en [dm].

Il faut malheureusement pondérer les conclusions que l'on peut tirer de cette coupe de la Marnière, il s'agit en fait d'une coupe composite où l'on a dû assembler plusieurs tronçons en raison des perturbations tectoniques. Il n'en reste pas moins que les AFC donnent des indications supplémentaires et des précisions que l'examen macroscopique ne pouvait déceler.

8. LES FORMATIONS DE LA COUPE DE L'AUBERSON

Le profil lithologique indique la présence de quatre séquences soit dans la Marne bleue: une séquence marneuse inférieure, une séquence médiane de marno-calcaires et une séquence supérieure de marnes. La Pierre jaune est formée d'une séquence calcaire inférieure litée plane parallèle surmontée de la fameuse séquence à stratification oblique.

AFC roche totale (fig. 8, colonne A). L'opposition entre calcite (contributions positives) et quartz, dolomite plagioclases et feldpaths potassiques (contributions négatives) souligne bien les oppositions entre calcaires et marnes. Toutefois, la limite entre les marnes inférieures et les marno-calcaires se situe entre A18 et A17 alors qu'elle se trouve entre A15 et A14 sur le profil lithologique.

AFC fraction <16µm (fig. 8, colonne B). Dans cette fraction, IN-IL-CH-QZ-FK-PLA-PYR-GOE caractérisent par valeurs positives les résidus des calcaires tandis que montmorillonite et kaolinite qui leur sont apposés sont typiques des marnes. Les limites lithologiques correspondent bien à celle de l'AFC à l'exception de la seconde séquence des marno-calcaires qui ont la même association que les marnes supérieures.

AFC de la formation <2µm. Dès A17 dans les marnes inférieures toutes les contributions positives sont très semblables et ne permettent aucune distinction des diverses séquences. Seules les marnes tout à fait inférieures sont opposées par des contributions négatives à l'association illite-kaolinite. On pourrait interpréter ce profile par un changement de composition des fractions fines entre A17 et A16 et une grande homogénéité de ces mêmes fractions au-dessus de ces marnes.

AFC de tous les minéraux (fig. 8, colonne D). Les alternances des signes et des valeurs des contributions permettent de définir ici des limites qui correspondent exactement aux limites du profil lithologique.

Cependant par rapport à la région neuchâteloise, les associations minérales définies par l'AFC sont légèrement différentes. Il est nécessaire pour définir ces différences de passer par une appréciation quantitative au moins relative.

9. LES FORMATIONS DE LA CARRIÈRE DES UTTINS

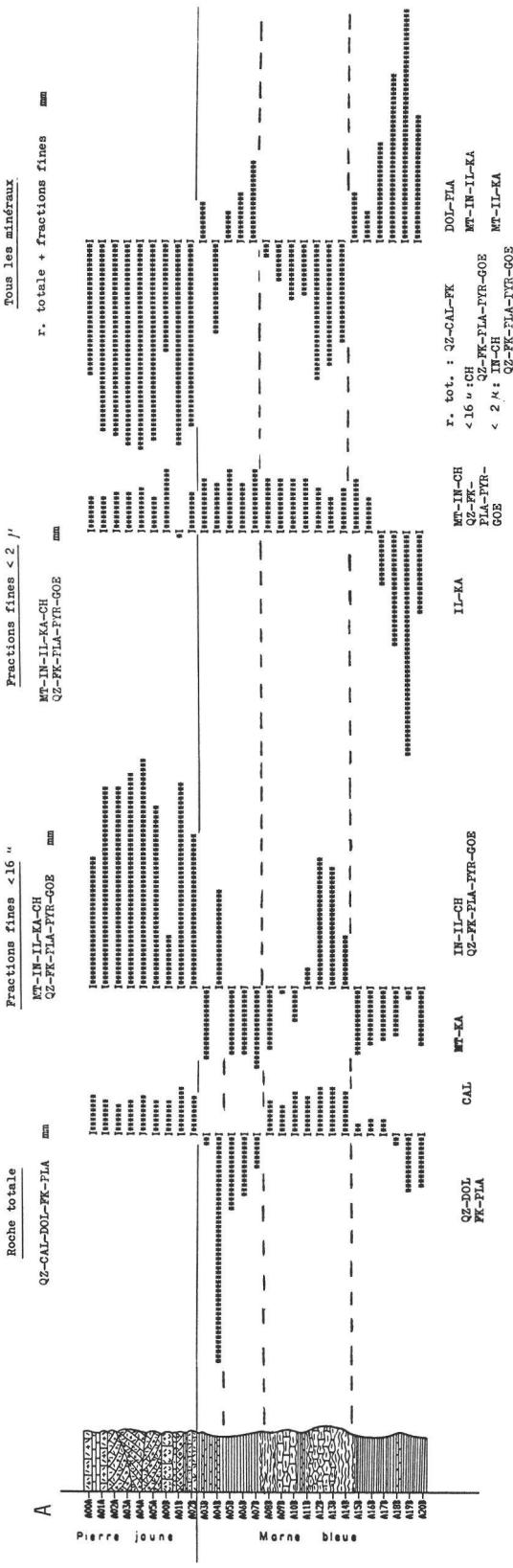
Dans cette carrière, la Marne bleue n'affleure pas. La série débute avec le sommet de la Zone marno-calcaire. La Pierre jaune se présente sous trois séquences: la Pierre jaune inférieure, les Marnes d'Uttins et la Pierre jaune supérieure.

AFC roche totale. Zone marno-calcaire (2 échantillons) et Marnes d'Uttins sont nettement différencierées des calcaires par le quartz et le plagioclase en opposition à la calcite, dolomite, le feldspath K et la pyrite. Ces associations sont différentes de celles des précédentes coupes; d'une part les séquences sont plus jeunes et d'autre part les calcaires sont majoritaires pour la première fois. Du point de vue du traitement des données, les Uttins, par le nombre d'échantillons calcaires sont juste le contraire de la coupe de la Marnière de Cressier où ce sont les Marnes bleues qui sont majoritaires. On ne peut donc trouver les mêmes associations minéralogiques dans les deux cas.

AFC roche totale (fig. 9, colonne A). Dans la Pierre jaune, la séparation des marnes est bien soulignée par l'opposition entre le quartz et le plagioclase d'une part, la calcite, la dolomite, le feldspath K et la pyrite d'autre part. Les contributions des deux échantillons de la Zone marno-calcaire à la base de la coupe sont à classer avec les marnes.

AFC de la fraction <16µm (fig. 9, colonne B). Ici le découpage par les associations est très différent. La Zone marno-calcaire est associée à la Pierre jaune inférieure, litée plane parallèle. Au-dessus de la limite entre M151 et M140, donc à travers la Pierre jaune à stratification oblique jusqu'aux Marnes d'Uttins, toutes les

Profil de la fouille au NE de l'Auberson
coord. A : 526.650 / 186.400
B : 526.650 / 186.400
tronçons A + B comb.



contributions de l'association IN-IL-KA-QZ-FK-PLA sont fortement négatives. On doit donc distinguer deux séquences dans la Pierre jaune sous-jacente aux Marnes d'Uttins. Mais il y a plus surprenant, au-dessus de M068, base des marnes, l'association MT-CH-PY-GOE se poursuit à travers les marnes jusque dans le membre calcaire supérieur sans changement. Ces limites sont confirmées par les autres AFC.

AFC de la fraction <2 μ m (fig. 9, colonne C). L'opposition entre la Pierre jaune inférieure, les Marnes d'Uttins et les calcaires supérieurs d'une part et la Pierre jaune à stratification oblique est très marquée ici aussi.

AFC tous minéraux (fig. 9, colonne D). On aurait tendance, d'après le passage progressif de contributions très négatives à des contributions très positives, à distinguer une séquence de la Zone marno-calcaire jusqu'aux Marnes d'Uttins. Une seconde séquence engloberait les Marnes d'Uttins et les calcaires du sommet. La première séquence serait une partie de la séquence de Klüpfel: marno-calcaires — calcaires à stratification régulière — calcaires à stratification oblique. Cette séquence serait tronquée par lacune et reprise de la séquence marnes — marno-calcaires — calcaires.

Le plus intéressant, dans cette coupe des Uttins, c'est que ces séquences ne sont pas marquées ou révélées par les minéraux majeurs des roches mais par les associations des fractions <16 μ m et <2 μ m du résidu insoluble de ces roches.

10. SPÉCIATION DES CARBONATES, AFC DES ÉLÉMENTS DE LA PHASE SOLUBLE

Le dosage des éléments de la phase soluble à HCl 1n (80° C, demi-heure) n'a été pratiqué que sur les carottes du forage F. 208 de Neuchâtel. Les teneurs retenues pour l'AFC sont RI (résidu insoluble), CO2, Ca, Mg, Fe, Al, Na, K, Sr, Mn, Cu, Zn. Les cinq premiers sont considérés comme des éléments majeurs les autres, comme des mineurs. On a d'abord traité les majeurs puis les mineurs et enfin tous ensemble.

AFC des éléments majeurs (fig. 6, colonne P). Comme cela doit être, les calcaires sont marqués par le CO2 et le Ca, les marnes par le RI, Fe, Al et le Mg. Fe mais surtout Al, proviennent de l'attaque ménagée des phases non carbonatées. Le Mg de la dolomite dont on a vu l'absence dans les calcaires et la présence dans les marnes. Par cette AFC, la distinction des marnes, marnocalcaires et calcaires est très claire non seulement par le changement de signe des contributions mais aussi par leurs valeurs.

AFC des éléments mineurs (fig. 6, col. Q). Le Sr caractérise comme cela est normal les calcaires. Le Mn est aussi associé aux calcaires. Nous l'attribuons à la présence de pyrolusite. Pour le Cu et le Zn, leur rattachement aux calcaires s'explique par l'oxydation de ceux-ci et la capture de ces éléments chalcophiles par les hydroxydes. Le Na et le K viennent de l'attaque ménagée des feldspaths et des phyllosilicates. Dans cette AFC, la passage continu des marnes par les marno-calcaires aux calcaires se marque bien par les changements de signe des contributions puis par l'augmentation des valeurs.

AFC de tous les éléments (fig. 6, colonne R). Cette AFC confirme la logique des associations déjà décrites : MN-SR-CU-ZN sont bien associées à CO2-CA typiques des calcaires, NA-K-MG-FE-AL à RI typique des marnes et antagoniste des calcaires.

Que l'on prenne l'une ou l'autre des ces AFC, le profil des contributions suggère bien un passage progressif, depuis le Calcaire roux jusqu'au sommet de la Pierre jaune, des associations typiquement marneuses jusqu'à celles des calcaires francs. Ceci confirme le caractère régressif de la méga-séquence hauterivienne. La spéciation des carbonates, représentée par les contributions des échantillons, est une autre illustration de la séquence klupfeliennne.

11. DISCUSSION

La spéciation des carbonates et le traitement des teneurs en éléments spéciés confirment les analyses minéralogiques. On ne peut du reste interpréter correctement les résultats de l'analyse chimique sans les données de la minéralogie. C'est particulièrement clair pour le cas du Mg et de la dolomite des marnes.

F.208 NEUCHATEL		CRESSIER		AUBERSON		Mt. CHAMBLON, Les UTINS	
calcaires	marnes	calcaires	marnes	calcaires	marnes	calcaires	marnes
CAL	QZ-DOL FK-PLA-PYR	QZ-DOL ?	CAL	CAL	QZ-DOL FK-PLA	CAL-DOL FK-PYR	QZ-PLA
QZ-FK-PLA GOE	MT-IN-IL-KA-CH PYR-GYP	MT-CH QZ-PYR-GYP	IN-IL-KA FK-PLA	IN-IL-CH QZ-FK-PLA-PYR GOE	MT-KA	IN-IL-KA QZ-FK-PLA	MT-CH PYR GOE
QZ-FK-PLA IN-PYR-GOE	MT-IL-KA CH	MT-CH QZ-PYR-GOE	IN-IL-KA FK-PLA	MT-IN-CH QZ-FK-PLA-PYR GOE	IL-KA	IN-KA QZ-FK-PLA-PYR	MT-IL-CH GOE
CAL-PYR	QZ-DOL-FK-PLA	QZ-DOL ?	CAL ?	QZ-CAL-FK	DOL-PLA	CAL-DOL-FK-PYR	QZ-PLA
QZ-FK-PLA-GOE	MT-IN-IL-KA-CH PYR-GYP	MT-CH QZ-PYR-GYP MT-CH-QZ-GOE	IN-IL-KA FK-PLA	CH-GOE QZ-FK-PLA-PYR IN-CH-QZ-FK PLA-PYR-GOE	MT-IN-IL-KA	IN-IL-KA QZ-FK-PLA-PYR	MT-CH ?
IN-QZ-FK-PLA-PYR GOE	MT-IL-KA-CH	IN-IL-KA FK-PLA-PYR		MT-IL-KA	IN-KA - QZ-FK PLA-PYR	IN-KA - QZ-FK PLA-PYR	MT-IL-CH GOE
CO ₂ -CA	RI-MG-FE-AL		min. majeurs				
MN-SR-CU-ZN	NA-K		min. mineurs				
CO ₂ -CA-MN-SR CU-ZN	RI-MG-FE-AL NA-K		tous les min.				

TAB. 1. — Propriétés associatives de chaque coupe.

L'AFC de la spéciation confirme les AFC de l'analyse minéralogique. Cependant, l'apport de la chimie est certes intéressant mais ce n'est pas vraiment déterminant pour la reconnaissance des diverses formations. On ne l'a donc pas poursuivi par les coupes de terrain soumises du reste à l'altération météorique depuis longtemps.

Au tableau 1 sont reportées les propriétés associatives par coupe, par lithologie et par fractions et roche totale. On ne s'étonnera pas de trouver des propriétés associatives différentes d'une coupe à l'autre. Comme déjà mentionné plus haut, la distinction des associations par AFC dépend de la nature des résultats que l'on a injecté. Ainsi, dans la coupe de la Marnière de Cressier, les analyses portent surtout sur les marnes et les marno-calcaires, à l'exclusion des calcaires francs. À la carrière des Uttins, au contraire, les échantillons marneux sont en faible proportion par rapport aux calcaires. Les associations dans le premier cas caractériseront surtout les marnes, les calcaires dans le second cas. Si l'on voulait vraiment comparer une coupe à l'autre, il faudrait trouver la même pondération des échantillons marneux, marno-calcaires ou calcaires. Ce n'est pas le but de cette étude.

Si l'on veut vraiment comparer à l'âge égal ou à formation égale les changements minéralogiques d'une coupe à l'autre, le recours à l'analyse factorielle des correspondances selon BENZÉCRI est un excellent moyen de faire ressortir les séquences homogènes et évolutives. Mais ce n'est qu'un premier pas. Chaque séquence doit être alors traitée pour elle-même, par d'autres analyses des données comme par exemple l'analyse factorielle en composantes principales, etc.

Toute cette étude repose sur un échantillonage aveugle, à pas constant (1 m). Cette méthode d'échantillonage présente des inconvénients surtout lorsque les diasthèmes sont nombreux et correspondent à des lacunes de sédimentation, à des érosions ou à des non-dépositions. Elle a toutefois un grand avantage, elle donne une image quantitative de la minéralogie des sédiments et par là un support non biaisé de la minéralostratigraphie (PERSOZ, 1982) autant qu'à la lithostratigraphie, quelles que puissent être par la suite ou d'une façon concomitante les données de la biostratigraphie.

12. CONCLUSIONS

Dans la méga-séquence klupfélienne et régressive de l'Hauterivien, l'analyse minéralogique par diffraction x selon un échantillonage aveugle avec une maille en général de 1 m confirme :

Les minéraux détritiques tels que quartz et feldspaths, phyllosilicates micacés ou chloriteux et argiles caractérisent les marnes non seulement en quantités mais en propriétés associatives telles que révélées par l'analyse factorielle des correspondances selon BENZÉCRI. Les minéraux de néoformation sont principalement la calcite, la pyrolusite, la goethite dans les calcaires, la dolomite et la pyrite dans les marnes.

L'altération météorique donne naissance au gypse et à la goethite par oxydation de la pyrite, à la pyrolusite dans les calcaires.

Les analyses factorielles des correspondances selon BENZÉCRI, précisent les formations par les associations minéralogiques, elles donnent des précisions sur la valeur des limites. Elles mettent en évidence les évolutions à l'intérieur d'une formation ou au passage d'une formation à l'autre sans passer par l'analyse quantitative des minéraux majeurs ou semi-quantitative relative des mineurs.

Le fait que les smectites sont ubiquistes dans toutes les fractions fines des résidus insolubles des marnes, marno-calcaires ou calcaires, ce qui se traduit par des contributions non significatives dans les AFC, donne un caractère particulier à l'Hauterivien par rapport au Valanginien : le milieu de sédimentation a dû toujours rester du côté bassin c'est-à-dire au large de la barre.

Sur la base de la carrière des Uttins, la Pierre jaune doit être divisée en deux séquences, l'une inférieure jusqu'aux marnes des Uttins, l'autre supérieure qui englobe les marnes des Uttins proprement dites et les calcaires supérieurs.

13. BIBLIOGRAPHIE

- ADATTE, T., & RUMLEY, G. — (1984). Microfaciès, minéralogie, stratigraphie et évolution des milieux de dépôts de la plate-forme Berriaso-Valanginienne des régions de Sainte-Croix (VD), Cressier et du Landeron (NE). *Mém. Soc. neuchât. Sci. nat.* 107: 221-239.
- AFIRI, A. A. & AZEN, S.P. — (1972). Statistical analysis, a computer oriented approach. *Academic Press*.
- BALLIF, J.-F. — (1986). Analyse multivariée, un modèle descriptif général. Publications Universitaires Européennes, série VI psychologie. *Peter Lang*.
- BASTIN, C. & BENZÉCRI, J.-P. — (1980). Pratique de l'analyse des données, Tome II, Abrégé théorique, étude de cas modèle. *Dunod, Paris*.
- BENZÉCRI, J.-P. — (1973). L'analyse des données, l'analyse des correspondances. *Dunod, Paris*.
- BENZÉCRI, J.-P. & F. — (1980). Pratique de l'analyse des données, Tome I, Analyse des correspondances, exposé élémentaire. *Dunod, Paris*.
- DAGNELIE, P. — (1975). Analyse statistique à plusieurs variables. *Les Presses agronomes de Gembloux*.
- GUILLAUME, S. — (1966). Le Crétacé du Jura. *Bull. Bur. Rech. Géol. et Min.*, série A, N° 4668, N° d'ordre 5515.
- HAEFLI, C., MAYNC, W., OERTLI, H.-J. & RUTSCH, R.-F. — (1965). Die Typus-Profile des Valanginien und Hauterivien. *Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. Ing.* 31: 41-75, Basel.
- KIRALY, L. — (1965). Structure sédimentaire et composition de la Pierre jaune (Hauterivien supérieur). *Eclogae geol. Helv.* 58: 789-798.
- KÜBLER, B. — (1964). Les argiles, indicateurs du métamorphisme. *Rev. Inst. Franç. Pét.*, XIX/10: 1093-1113.
- (1967). Stabilité et fidélité de mesures simples sur les diagrammes de rayons X. *Bull. Gr. Franç. argiles*, 19/1.
- LEBART, L., MORTINEAU, A. & TABARD, N. — (1975). Techniques de la description statistique, méthodes et logiciels pour l'analyse des grands tableaux. *Dunod, Paris*.
- PERSOZ, F. — (1969). Fidélité dans l'analyse quantitative des poudres de roches par diffraction X. *Bull. centre Rech. Pau, SNPA*, 3/2: 329-355.
- (1982). Inventaire minéralogique, diagenèse des argiles et minéralostratigraphie des séries jurassiques et crétacées inférieures du Plateau suisse et de la bordure sud-est du Jura entre les lacs d'Annecy et de Constance. *Mat. carte géol. Suisse* (N.S.) 155, 52 p.
- PERSOZ, F. & KÜBLER, B. — (1968). Etude pétrographique des roches carbonatées : la limite Jurassique-Crétacé dans quelques sondages et affleurements du Jura neuchâtelois. *Eclogae geol. Helv.* 61: 504-507.
- PERSOZ, F. & REMANE, J. — (1973). Evolution des milieux de dépôts au Dogger supérieur et au Malm dans le Jura neuchâtelois méridional. *Eclogae geol. Helv.* 66: 41-70.
- REMANE, J. — (1982). Die Kreide des Neuenburger Juras (Exkursion D am 15. April 1982). *Iber. Mitt. oberrhein. geol.*, N.F. 64: 47-59.
- SAHORES, J. — (1971). Amélioration du dosage de série en diffractométrie X : — Correction des effets d'absorption matricielle, par mesure compton — Dépouillement des diffractogrammes par ordinateurs. *Actes 2^e Colloque intern. sur les méthodes analytiques par rayonnements X — C.G.R.*: 165-172, Toulouse.
- VIÉBAN, F. — (1983). Installation et évolution de la plate-forme urgonienne (Hauterivien à Bédoulien) du Jura méridional aux chaînes subalpines (Ain, Savoie, Haute-Savoie), sédimentologie, minéralogie, stratigraphie et paléogéographie. *Thèse de doctorat 3^e Cycle, Grenoble*, 291 p.