

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

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: 05.12.2025

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

MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ NEUCHÂTELOISE DES SCIENCES NATURELLES
TOME XI

RÉVISION DE L'ÉTAGE HAUTERIVIEN (RÉGION-TYPE ET ENVIRONS, JURA FRANCO-SUISSE)

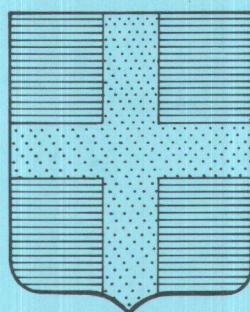
publié sous la direction de

Jürgen REMANE

Université de Neuchâtel

Coordination :

Jürgen REMANE, Robert BUSNARDO, Jean CHAROLLAIS



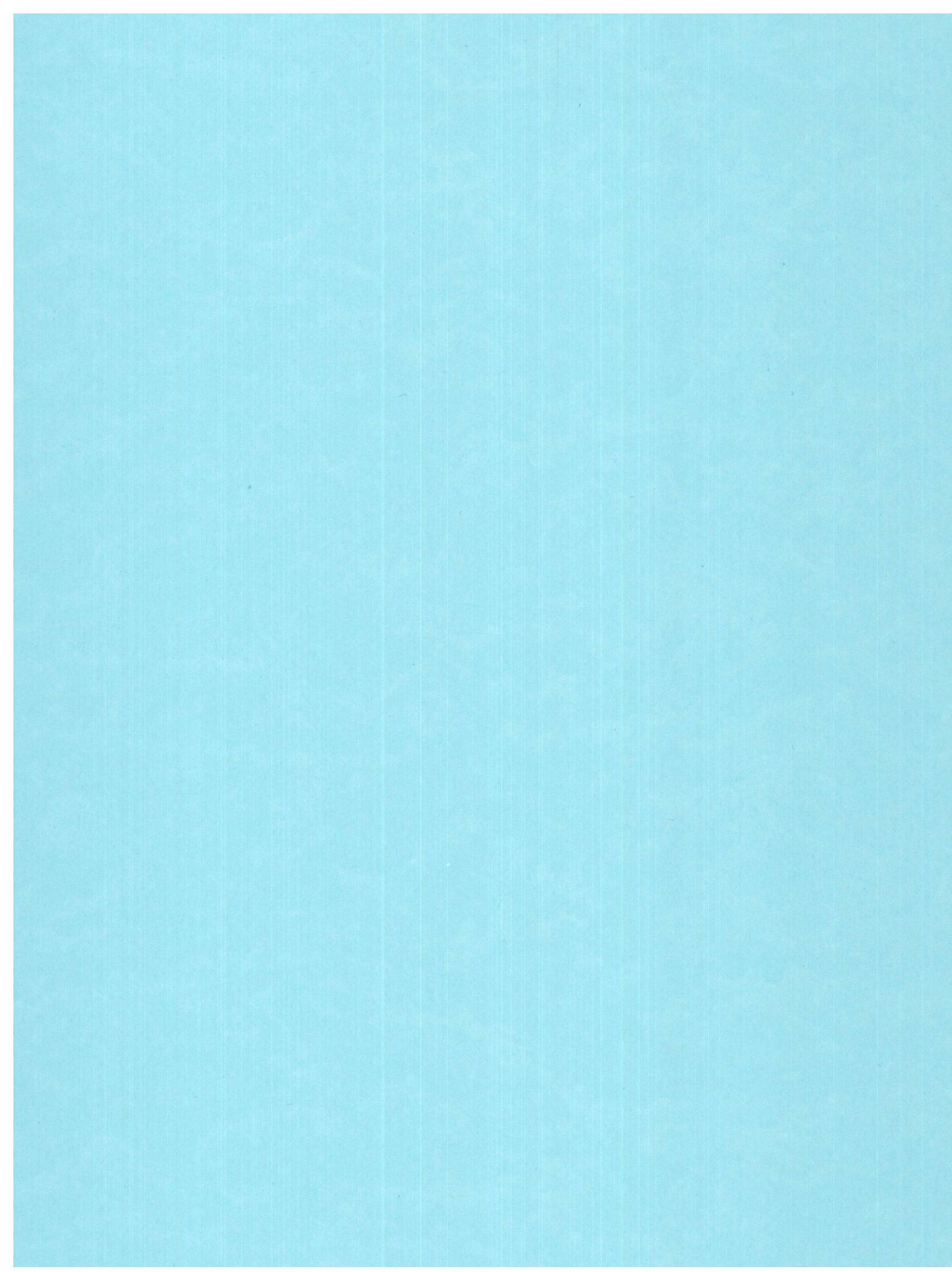
COMMUNE D'HAUTERIVE

Ouvrage publié avec l'aide : du Fonds national suisse de la recherche scientifique
de la Société helvétique des Sciences naturelles
de la Société académique de Genève
de l'Université de Neuchâtel

ÉDITEURS

SOCIÉTÉ NEUCHÂTELOISE DES SCIENCES NATURELLES
UNIVERSITÉ, NEUCHÂTEL (SUISSE)

1989



**RÉVISION
DE L'ÉTAGE HAUTERIVIEN
(RÉGION-TYPE ET ENVIRONS, JURA FRANCO-SUISSE)**

Achevé d'imprimer
sur les presses
de l'Imprimerie Centrale
à Neuchâtel (Suisse)
le 30 juin 1989
ISBN 2-88347-000-6

© 1989. Tous droits réservés.

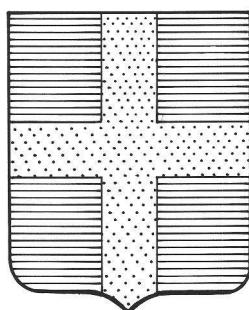
MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ NEUCHÂTELOISE DES SCIENCES NATURELLES
TOME XI

RÉVISION DE L'ÉTAGE HAUTERIVIEN (RÉGION-TYPE ET ENVIRONS, JURA FRANCO-SUISSE)

publié sous la direction de

Jürgen REMANE
Université de Neuchâtel

Coordination:
Jürgen REMANE, Robert BUSNARDO, Jean CHAROLLAIS



COMMUNE D'HAUTERIVE

Ouvrage publié avec l'aide: du Fonds national suisse de la recherche scientifique
de la Société helvétique des Sciences naturelles
de la Société académique de Genève
de l'Université de Neuchâtel

ÉDITEURS
SOCIÉTÉ NEUCHÂTELOISE DES SCIENCES NATURELLES
UNIVERSITÉ, NEUCHÂTEL (SUISSE)
1989

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
I. AVANT-PROPOS	7-8
II. HISTORIQUE	9-18
The historical type Hauterivian of the Jura Mountains: original definition, actual concept, lithostratigraphic subdivision, by J. REMANE	9-18
III. DESCRIPTION LITHOLOGIQUE DES COUPES	19-100
1. 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 J. REMANE, R. BUSNARDO, J. CHAROLLAIS, B. CLAVEL & J.-P. THIEULOUY	19-48
2. L'Hauterivien du Jura du bassin genevois, par J. CHAROLLAIS, B. CLAVEL, R. BUSNARDO & B. MAURICE	49-72
3. Le «Calcaire à <i>Pachytraga tubiconcha</i> » (rudiste), épisode urgonien de l'Hauterivien carbonaté du Jura franco-suisse, par J.-P. MASSE, M.A. CONRAD & J. REMANE	73-80
4. Analyse minéralogique de quatre coupes de l'Hauterivien de la région neuchâteloise. Exemple de l'analyse multivariée au service de la lithostratigraphie, par G. GINDRAUX & B. KÜBLER	81-100
IV. PALÉONTOLOGIE ET BIOSTRATIGRAPHIE	101-290
1. Les ammonites de l'Hauterivien jurassien: révision des faunes de la région du stratotype historique de l'étage Hauterivien, par R. BUSNARDO & J.-P. THIEULOUY	101-147
2. Echinides du Crétacé inférieur jurassien: stratigraphie, paléoécologie, paléontologie, par B. CLAVEL	149-182
3. The distribution of <i>Terebratulidae</i> in the Hauterivian of the Jura region, by F.A. MIDDLEMISS	183-186
4. Foraminifera from the “Séries marno-calcaires” (Lower Hauterivian of the Jura Mountains of Switzerland and France). Index fossils and selected important species, by H. BARTENSTEIN	187-203
5. Ostracoda from the historical type region of the Hauterivian stage in the Jura Mountains (Switzerland, France), by H.-J. ÖERTLI	205-222
6. Nannoplancton de l'Hauterivien marneux du Jura, par H. MANIVIT	223-231
7. Palynologie du stratotype historique de l'Hauterivien, par D. FAUCONNIER	233-255

	Pages
8. Les foraminifères benthiques des formations carbonatées de l'Hauterivien-Barrémien <i>pro parte</i> du Jura vaudois et neuchâtelois (Suisse), par A. ARNAUD-VANNEAU & J.-P. MASSE	257-276
9. Les algues calcaires des formations carbonatées de l'Hauterivien-Barrémien <i>pro parte</i> du Jura vaudois et neuchâtelois (Suisse), par M. A. CONRAD & J.-P. MASSE	277-290
V. CORRÉLATIONS	291-322
1. Biostratigraphie de l'Hauterivien du Jura méridional, par B. CLAVEL & J. CHAROLLAIS ..	291-298
2. Corrélation des formations hauteriviennes du Jura méridional au Jura neuchâtelois, par B. CLAVEL & J. CHAROLLAIS	299-305
3. Corrélation des séries carbonatées de l'Hauterivien et du Barrémien <i>pro parte</i> dans le nord- ouest vaudois (Suisse), par M. A. CONRAD & J.-P. MASSE	307-322

LISTE DES AUTEURS

- Annie ARNAUD-VANNEAU
Institut Dolomieu, Géologie, rue Maurice-Gignoux, F-38031, Grenoble.
- Helmut BARTENSTEIN
Spörckenstrasse 102, D-3100 Celle.
- Robert BUSNARDO
Département des Sciences de la Terre, Université de Lyon I, 29-43 boulevard du 11-Novembre, F-69622 Villeurbanne.
- Jean CHAROLLAIS
Département de Géologie et Paléontologie, Université de Genève, 13, rue des Maraîchers, CH-1211 Genève 4.
- Bernard CLAVEL
Département des Sciences de la Terre, Université de Lyon I, 29-43, boulevard du 11-Novembre, F-69622 Villeurbanne.
- Marc A. CONRAD
Petroconsultants, 8-10, rue Muzy, CH-1207 Genève.
- Danielle FAUCONNIER
Département de Géologie, Palynologie, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, B.P. 6009, F-45060 Orléans.
- Gérard GINDRAUX
Institut de géologie, Université de Neuchâtel, 11, rue Emile-Argand, CH-2000 Neuchâtel 7.
- Bernard KÜBLER
Institut de géologie, Université de Neuchâtel, 11, rue Emile-Argand, CH-2000 Neuchâtel 7.
- Hélène MANIVIT
Département de Géologie, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, B.P. 6009, F-45060 Orléans.
- Jean-Pierre MASSE
Centre d'Océanologie, Université d'Aix-Marseille II, Luminy, F-13288 Marseille Cedex 9.
- Benoît MAURICE
Département de Géologie et Paléontologie, Université de Genève, 13, rue des Maraîchers, CH-1211 Genève 4.
- Frank A. MIDDLEMISS
Department of Geology, University College, Gower St., London WC1E 6BT, Great Britain.
- Henri-Jules OERTLI
12, rue Lamartine F 64320 Bizanos.
- Jürgen REMANE
Institut de géologie, Université de Neuchâtel, 11, rue Emile-Argand, CH-2000 Neuchâtel 7.
- Jean-Pierre THIEULOY
Institut Dolomieu, Géologie, rue Maurice-Gignoux, F-38031 Grenoble.

I. AVANT-PROPOS

C'est R. Trümpy de l'EPF-Zurich qui proposa, lors d'une séance de la Commission stratigraphique suisse en 1973, d'effectuer une révision stratigraphique de l'Hauterivien-type historique du Jura. Le point de départ d'une telle entreprise était évidemment la région neuchâteloise avec la localité d'Hauterive, et ainsi J. REMANE de l'Université de Neuchâtel se vit confier le rôle de coordonnateur du «Programme Haute-rivien». Grâce à la disponibilité des spécialistes suisses et étrangers concernés, J. CHAROLLAIS de l'Université de Genève et J. REMANE ont pu mettre sur pied une équipe nombreuse nous permettant d'étudier la biostratigraphie des ammonites (R. BUSNARDO, J.-P. THIEULOUY), des échinides (B. CLAVEL), des térebratulidés (F. A. MIDDLEMISS), des petits foraminifères des séries marneuses (H. BARTENSTEIN), des orbitolinidés et foraminifères des séries carbonatées (A. ARNAUD-VANNEAU & J.-P. MASSE), des ostracodes (H.-J. OERTLI), des palynomorphes (D. FAUCONNIER), de la nannoflore (H. MANIVIT), des dasycladales (M. A. CONRAD), de certains rudistes (J.-P. MASSE). La minéralogie a été étudiée par G. GINDRAUX & B. KÜBLER.

Remerciements

L'édition de ce volume n'a pu être réalisée que grâce aux soutiens financiers du Fonds national suisse de la recherche scientifique (requête N° 92.140.88), de la Société helvétique des Sciences naturelles, de la Société académique de Genève et de l'Université de Neuchâtel.

Nous remercions également tous ceux, assistants, préparateurs et étudiants qui nous ont aidés lors des leviers de coupes sur le terrain : T. Adatte, P. Dauwalder, G. Gindraux, B. Gretener, G. Magranville, A. Mathys, G. Rumley et D. Zweidler de Neuchâtel, J. Fellmann, A. Kunzle, P. Desjacques et E. Gsell de Genève.

Il eût été impossible de mener à bien un travail d'équipe d'une telle ampleur sans le soutien financier généreux du Fonds national suisse de la recherche scientifique qui nous a accordé un crédit substantiel (requête N° 2.434-0.75). Cela nous a permis d'organiser des réunions de terrain et surtout d'effectuer plusieurs fouilles pour dégager la Marne bleue d'Hauterive qui n'affleure plus guère de nos jours. Pour les préparations palynologiques et de nannoflores nous avons pu recourir à l'aide d'un préparateur payé dans le cadre d'un autre projet (crédit N° 2.060-0.81). Que les responsables du FNSRS trouvent ici l'expression de notre sincère gratitude pour le soutien qu'ils nous ont accordé.

En même temps, nous tenons à remercier les communes du Landeron, de Sainte-Croix et de Valangin, ainsi que M. L.-A. Favre, inspecteur cantonal des forêts du canton de Neuchâtel et M. Plachta, inspecteur du II^e arrondissement, de leur collaboration dans le cadre des fouilles.

Le Service des ponts et chaussées du Département des travaux publics du canton de Neuchâtel a eu l'amabilité de mettre à notre disposition un forage entièrement carotté. Nos remerciements s'adressent au géologue cantonal J. Meia qui nous a ouvert cette possibilité et nous a donné tous les renseignements voulus concernant ce forage. M. J.-J. de Montmollin, ingénieur adjoint aux travaux de la route nationale 5, a eu la gentillesse de mettre à notre disposition les moyens nécessaires pour pouvoir effectuer un lever détaillé de la paroi à la sortie N du tunnel de Prébarreau. Ces observations complètent d'une manière heureuse les données du forage situé à quelques centaines de mètres seulement. De la même manière, il nous a été possible de procéder à un lever détaillé de la série traversée par la galerie A42 dans la Montagne du Vuache (Haute-Savoie, France) grâce à la collaboration aimable de M. Bienfait, géologue de Scetauroute.

Les principaux travaux de terrain et les révisions des ammonites conservées dans les musées de Bâle, Genève, Lausanne et Neuchâtel ont été terminés en février 1982. La livraison des manuscrits s'est toutefois étendue sur un espace de plusieurs années. La complexité des recherches en laboratoire et la lente maturation des problèmes scientifiques expliquent le retard dans l'élaboration définitive de certains manuscrits; le dernier a été remis en 1987 et les tableaux de répartition stratigraphique des échinides ont subi une dernière révision au printemps 1988. Mais, il aurait été dommage de ne pouvoir tenir compte des macrofaunes dans cette révision générale de l'Hauterivien historique.

Principaux résultats scientifiques

La révision de l'Hauterivien, commencée dans sa région-type historique et poursuivie dans le Jura méridional, a permis d'obtenir des résultats nouveaux et importants. Dans les coupes-types historiques (Cressier, Le Landeron, Hauterive, Valangin) la datation biostratigraphique des unités lithologiques a été rénovée.

Les *Marnes bleues* ne correspondent qu'à la première moitié de l'Hauterivien inférieur (Zones à *Radiatus* et à *Loryi*). Les faciès *Pierre jaune* de Neuchâtel (y compris la Zone *marnocalcaire*) apparaissent au sommet de la Zone à *Loryi* et se poursuivent dans la Zone à *Nodosoplicatum*. Rappelons qu'autrefois la Pierre jaune était attribuée à l'Hauterivien supérieur. Dans le Jura vaudois, la base des Marnes bleues de Sainte-Croix est attribuée au Valanginien supérieur. Les Marnes d'Uttins, qui s'intercalent dans la Pierre jaune, sont désormais datées de l'Hauterivien inférieur (Zone à *Nodosoplicatum*).

Dans le Jura méridional, le concept de «Marnes d'Hauterive» et de «Pierre jaune de Neuchâtel» doit être abandonné en tant qu'unités lithostratigraphiques à cause des alternances répétées de faciès Marne bleue et Pierre jaune. Les faciès Marne bleue montent plus haut dans la série que dans la région neuchâteloise.

Dans l'ensemble du Jura, les dépôts de plate-forme carbonatée appellés «Urgonien jaune» ou «Urgonien inférieur» débutent au sommet de l'Hauterivien inférieur (Zone à *Cruasense*). Ces couches sont difficiles à séparer de la Pierre jaune. La révision des *Marnes de la Russille* partant de la localité-type a en effet montré que ce niveau se situe au sommet de l'«Urgonien jaune» et non à sa base comme généralement admis jusqu'à présent. La limite Hauterivien-Barrémien est difficile à déterminer avec précision, mais il est sûr qu'elle se situe beaucoup plus haut que généralement admis jusqu'ici, quelque part vers le sommet de l'«Urgonien jaune» (ou même plus haut?).

Au sein des ammonites, il nous semble utile d'insister sur l'importance statistique de l'espèce *Acanthodiscus radiatus* (deux tiers de tous les *Acanthodiscus*). Sa légitimité en tant qu'index de la première zone de l'Hauterivien se trouve ainsi confirmée, ceci d'autant plus que cette espèce adaptée aux eaux moins profondes est la seule à être représentée à la fois dans le domaine téthysien et le domaine boréal. Etablissant ainsi un lien entre les deux domaines paléobiogéographiques, *Acanthodiscus radiatus* est un marqueur idéal pour la base de l'étage Hauterivien. Cette limite Valanginien-Hauterivien correspond aussi à un changement marqué dans les faunes d'échinides: *Toxaster granosus* et *Tetrapromania jaccardi* sont remplacés, à la base de la Zone à *Radiatus*, par *Toxaster crassisulcatus* n. sp. et *Tetrapromania ovulum*. Au niveau des Ostracodes, l'apparition de *Protocythere triplicata* dans le Valanginien terminal fournit un bon moyen d'approximation pour la limite Valanginien-Hauterivien. Cette espèce a en outre l'avantage d'être fréquente et facile à identifier.

Jürgen REMANE

<i>Mémoires de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles</i>	Tome XI	p. 9-18, 2 fig.	Neuchâtel, 1989
---	---------	-----------------	-----------------

II. HISTORIQUE

THE HISTORICAL TYPE HAUTERIVIAN OF THE JURA MOUNTAINS: ORIGINAL DEFINITION, ACTUAL CONCEPT, LITHOSTRATOGRAPHIC SUBDIVISION

by

Jürgen REMANE

Research supported
by the Swiss National Science Foundation (credit No. 2.434.075)

RÉSUMÉ. — Selon la définition originale par RENEVIER (1874) l'étage Hauterivien comprend (de haut en bas) : Pierre jaune de Neuchâtel, Marne d'Hauterive et Marne à Astieria. La clarté de cette définition n'est qu'apparente: en pratique, il est très difficile de fixer une limite entre Pierre jaune et «Urgonien jaune» d'autant plus que les Marnes de la Russille de la localité-type se situent plus haut dans la série et ne correspondent pas aux «Marnes de la Russille» auct. qui devraient séparer la Pierre jaune de l'«Urgonien jaune». Les ammonites font défaut dans les faciès néritiques de la Pierre jaune et de l'«Urgonien» ce qui empêche les corrélations à longue distance. Ainsi, l'attribution classique de tout l'«Urgonien» jurassien au Barrémien n'est appuyée par aucun argument biostratigraphique. Seule la limite Valanginien-Hauterivien peut être caractérisée par des ammonites; l'ironie veut que cette limite ait été changée par BAUMBERGER (1901) pour placer la Marne à Astieria dans le Valanginien.

Des stratotypes pour le Valanginien et l'Hauterivien furent proposés par HAEFELI et al. (1965). En ce qui concerne l'Hauterivien, ces auteurs ne respectent pas la définition de la limite inférieure de l'étage donnée par RENEVIER (1874) et ne traitent pas le problème de la limite Hauterivien-Barrémien.

Le but des recherches réunies dans ce volume n'était pas de définir un nouveau stratotype de l'Hauterivien dans la région-type historique. Il s'agissait de réunir un maximum d'informations biostratigraphiques pouvant servir de base pour une (re)définition plus précise de l'Hauterivien dans un faciès plus favorable.

ABSTRACT. — The original definition of the Hauterivian stage by RENEVIER (1874) was based on lithostratigraphic units occurring around Neuchâtel (Switzerland) including—from above—Pierre jaune de Neuchâtel, Marne bleue d'Hauterive, and the decimetric Marnes à Astieria. The lower boundary, between Marnes à Astieria and Calcaire roux is clear cut, due to condensation and a hiatus, whereas the passage from Pierre jaune upwards into the so called “Urgonien jaune” is gradual. Ammonites are practically limited to the lower, marly part of the type Hauterivian. The stage was redefined in terms of ammonite zones of SE France by KILIAN (1889, 1895). By this procedure, the condensed Astieria marls became Late Valanginian, a usage followed since BAUMBERGER (1901). The attribution of the “Urgonien jaune” to the Barremian was never justified biostratigraphically (and turned now out to be wrong).

1. THE ORIGINAL CONCEPT

1.1. Original definition of the Hauterivian stage by RENEVIER (1874)

The Hauterivian stage was introduced by RENEVIER (1874) in order to reestablish the Neocomian of THURMANN (1836) in its original meaning. It is beyond the scope of the present lines to enter into the confusing history of the Neocomian, but we should be aware of the two main aspects of the question.

1) The problem of the contents of the original Neocomian in its large sense, often considered at that time as a group of stages,

2) the contradictions arising from the parallel use of a Neocomian s. str., named either Middle Neocomian (CAMPICHE & DE TRIBOLET, 1858, MARCOU, 1858) or Neocomian stage (DESOR & GRESSLY, 1859, JACCARD, 1869) forming, together with the Valanginian and Urgonian stages the Neocomian s. l.

Concerning the first point, RENEVIER (1874) rather added to the general confusion in including the Aptian in his “*Infra-Crétacé ou Néocomien*”. As to the second point, it was certainly a good idea to give a new name, “Hauterivien”, to the critical interval of the Middle Neocomian or Neocomian s. str. in order to avoid further use of two Neocomians of different scope. Many problems would indeed have been resolved, had the new stage been properly defined.

Undoubtedly, RENEVIER’s (1874) definition of the Hauterivian is very clear in terms of local lithostratigraphic names. The new stage was to include, from top to bottom (fig. 2):

- Pierre jaune de Neuchâtel;
- Marne d’Hauterive à Am. radiatus;
- Marne jaune de Morteau à Am. astierianus.

JACCARD (1869) believed that in the Orbe valley (fig. 1) Pierre jaune and lower “Urgonian” (= “Urgonien jaune”!), although quite similar lithologically, could be separated by a marly intercalation which he called Marnes de la Russille. CONRAD & MASSE (this vol.) were, however, able to show that the Marnes de la Russille of the type locality occupy a higher stratigraphic position. The “Marnes de la Russille” auct. between Pierre jaune and “Urgonien jaune” correspond to another or several other levels. In the region of Neuchâtel these marls are not clearly developed, so that Pierre jaune and “Urgonien jaune” cannot be differentiated cartographically (BAUMBERGER, 1903-1910; BURRI, 1956; MEIA, 1965). The value of Renevier’s lithostratigraphic definition thus remains rather theoretical, even though the lower boundary of his Hauterivian, between Marnes à Astieria and Couche de Villers is unambiguous.

In the text of his article, RENEVIER (1874) is more concerned with general philosophy of stratigraphy and no biostratigraphic definition or characteristic of the Hauterivian is given. Some information can, however, be gleaned from the large comparative stratigraphic table (which was not attached to reprints).

Among characteristic Hauterivian invertebrates, the following ammonites are cited: *Ammonites radiatus*, *Am. leopoldinus*, *Am. asterianus*, and *Am. cryptoceras* for “ordinary marine environments”, and *Ammonites rouyanus*, *Am. tethys*, *Am. subfimbriatus*, *Am. ligatus*, *Am. angulicostatus*, *Ancylloceras duvali*, *A. tabarelli*, *Hamulina hamus*, and *Ptychoceras emericci* for the alpine realm.

It is also rather significant that in RENEVIER’s (1874) table the Hauterivian is followed by an Urgonian stage and that the Barremian of COQUAND (1862) is indicated as a possible synonym of the Hauterivian.

1.2. Facies and depositional environment of the historical type Hauterivian

Another drawback of Renevier’s Hauterivian is that it was defined in rather neritic facies where ammonites are missing in most of the succession.

The Hauterivian (in its original lithostratigraphic sense) is preceded by the Valanginian Calcaire roux, a current-bedded, ferruginous grainstone (fig. 2), deposited in a shallow environment with high water energy. Near the top, beds begin to dissociate into irregular nodules, embedded in a yellow, marly-sandy matrix which becomes more and more important upwards. The Calcaire roux thus passes rapidly into a condensed

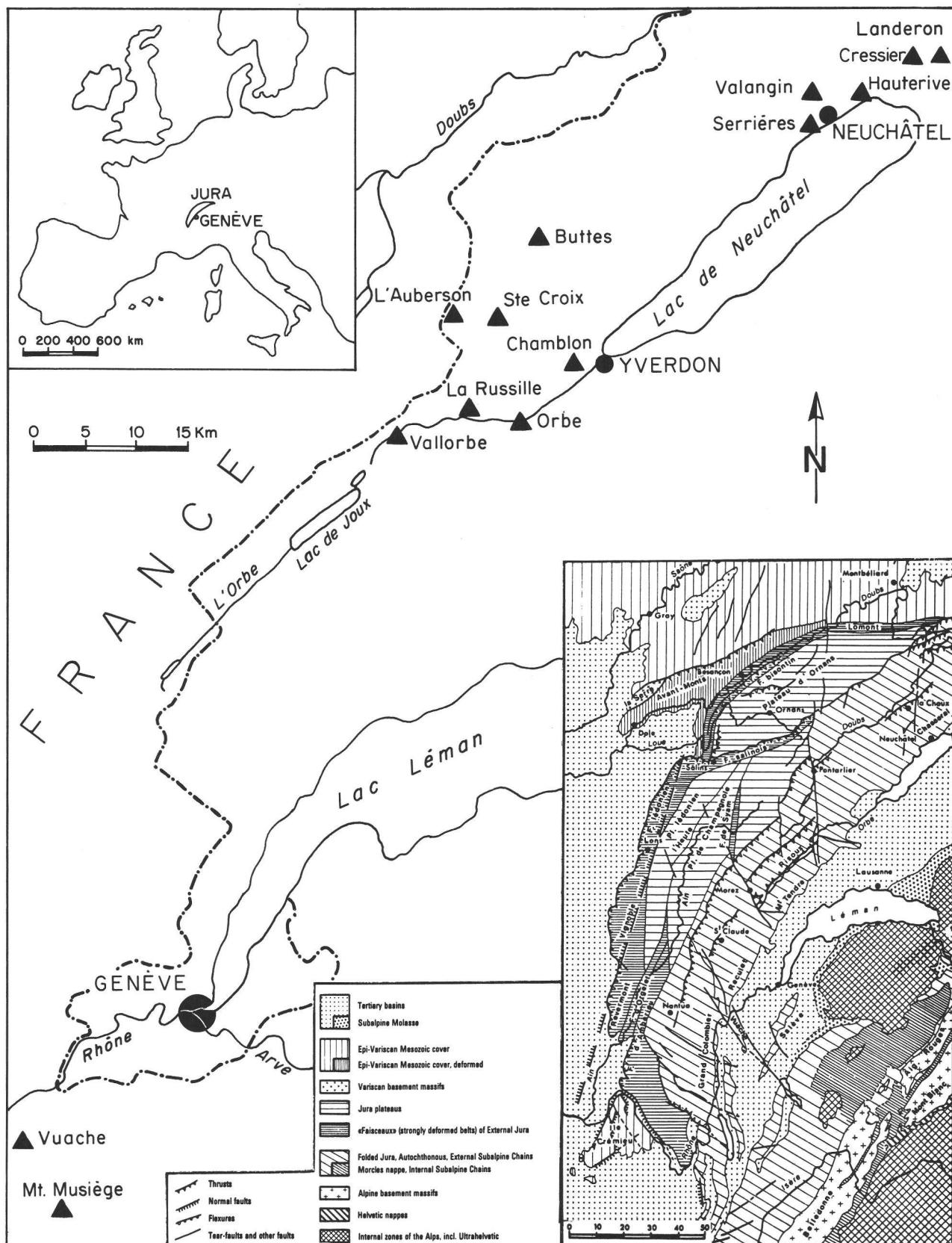


FIG. 1. — Map of the central Jura Mountains, showing the geographic locations of sections studied by REMANE et al. (this vol.) and by Charollais et al. (this vol.). From these sections, all the materials dealt with in the biostratigraphic contributions of this volume have been collected.

layer, only some tens of centimetres thick. This is the Couche de Villers where two *Saynoceras verrucosum* have been found at Valangin, indicating an early Late Valanginian age in terms of current usage. But there are also reworked Early Valanginian ammonites (BUSNARDO & THIEULOY, this vol.).

The Couche de Villers is overlain by 20-30 cm of yellow, clayey marls, the “Marne jaune de Morteau à *Ammonites astierianus*” (syn.: Marne(s) à Astieria, Astieriamergel, Astieriaschicht). This is another condensed bed, rich in ammonites (especially olcostephanids) at several localities. The Marnes à Astieria are limited to a relatively small area around and W of Neuchâtel (BAUMBERGER, 1901: 45), but some sort of condensation is always observable in the Valanginian-Hauterivian passage beds, whatever their lithology may be. Earlier authors tried to correlate the various residual sediments of different localities, but of course without success.

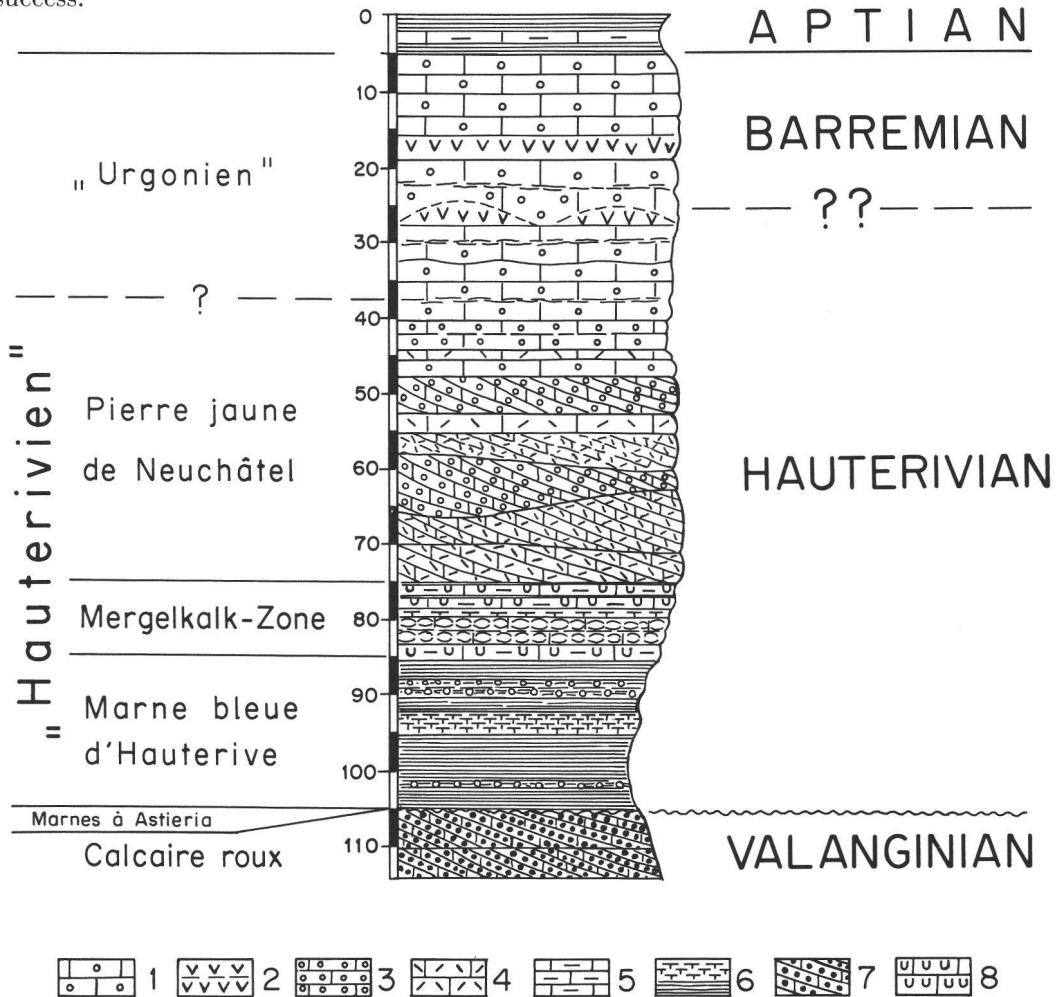


FIG. 2. — Schematic profile showing the lithostratigraphic context of the historical type Hauterivian near Neuchâtel; at left: local lithostratigraphic units, at right: ages. 1) pelspartites; 2) coral limestones (bioherms or biostromes); 3) oospartites; 4) biospartites; 5) marly limestones; 6) calcareous marls and marls; 7) ferruginous oolites; 8) burrows.

Normal sedimentation starts again with the overlying Marne(s) bleue(s) d'Hauterive (syn.: Marne bleue, Marne d'Hauterive). This is an open marine stillwater sediment, up to 20 m thick in the Neuchâtel region. Ammonites are frequent in the lower part, but *Acanthodiscus* and *Leopoldia*, two rather “shallow” genera, predominate clearly. In the upper Marne bleue benthic fossils (bivalves, brachiopods) become more and more abundant. (BAUMBERGER, 1903-1910).

So we pass into the Mergelkalkzone (syn.: Zone des marno-calcaires) built up of yellowish, more or less marly limestones with thin marly intercalations. The limestones vary from wackestones to grainstones with current bedding, but intensely bioturbated packstones and, above all, grainstones predominate. It is often difficult to fix a boundary between the Mergelkalkzone and the overlying Pierre jaune (de Neuchâtel) which is dominated by current-bedded oo- and biosparites with some glauconite and many echinoderm and bryozoan fragments. Marly intercalations are rare and inconspicuous in the Neuchâtel region and only one of them attains a thickness of 80 cm (KIRÁLY 1964).

Seen as a whole, the sedimentary environment must have been very similar to that of the Calcaire roux. Measuring systematically sedimentary structures of the Pierre jaune, KIRÁLY (1965) was able to show that current directions remained rather constant, oscillating between 125° and 160°. But obviously no valuable biostratigraphic information can be obtained from grainstones of this kind.

The regression continues with the so-called "Urgonien" of the Jura Mountains. There are still grainstones, but without current bedding. The most characteristic feature is the appearance of biomicrites rich in massive bryozoans, stromatoporoids, sphinctozoans, and reef-building corals. Orbitolinids and dasyclad algae are frequent at certain levels. All these sediments were undoubtedly deposited on a shallow carbonate platform.

1.3. Problems arising from RENEVIER's definition

The above-mentioned facts allow a critical appreciation of RENEVIER's (1874) definition of the Hauterivian stage.

First of all, RENEVIER's biostratigraphic indications are too vague to give a clear idea of the scope of the Hauterivian stage, and the clarity of the lithostratigraphic definition is only apparent. The upper boundary of the Hauterivian is undefinable in the historical type region. Only the lower boundary can be fixed precisely in the successions around Neuchâtel and ironically it was just this boundary that was changed by BAUMBERGER (1901).

The facies of the historical type Hauterivian are not favourable for long distance correlation. Only the Valanginian-Hauterivian boundary can be characterized by ammonites, but two restrictions have to be made:

- 1) The special character of the ammonite faunas of the Marne bleue,
- 2) the highly condensed Upper Valanginian which contains, moreover, reworked Early Valanginian species, as *Platyliceras gevilli* (BUSNARDO & THIEULOUY, this vol.)

So it is not surprising that later workers who tried to define the Hauterivian stage in term of ammonite zones (at first KILIAN, 1889, 1895) turned to the pelagic facies of the Vocontian Trough in SE France.

2. FURTHER EVOLUTION OF THE HAUTERIVIAN IN ITS HISTORICAL TYPE REGION

2.1. Modification of the Valanginian-Hauterivian boundary by BAUMBERGER (1901)

The development of the Hauterivian ammonite zones will be dealt with in another chapter (BUSNARDO & THIEULOUY, this vol.). Here it is only important to retain that KILIAN (1895) adopted a Valanginian-Hauterivian boundary corresponding to the base of the *Acanthodiscus radiatus* Zone, thus including the fauna of the Marnes à Astieria in the Valanginian. Whatever the reason of this change may have been, it is evident that Kilian simply did not care about priority of definition, as he wrote (KILIAN, 1895: 746), with respect to the Pierre jaune: "(M. RENEVIER range cette assise dans l'Hauterivien, et il nous semble qu'il n'a pas lieu d'y attacher trop d'importance)" — parantheses in Kilian's text! Kilian thought the Pierre jaune to be of Barremian age, which is definitely wrong, according to his own definition of the Hauterivian.

In their description of the Valangin section, BAUMBERGER & MOULIN (1899) placed the Marnes à Astieria still in the Hauterivian. But BAUMBERGER (1901) changed his mind and now they became Valanginian, because of the "Valanginian character" of their ammonite fauna. Schardt did never accept the new Valanginian-Hauterivian boundary (e. g. SCHARDT, 1908a), but most other stratigraphers have followed BAUMBERGER.

Again one is surprised that priority of definition was never taken into consideration, not even by SCHARDT who could have used it as a strong argument in favour of his views. Although priority is not obligatory in stratigraphy, it seems obvious that a boundary should only be changed if this results in improved long distance correlation. This point was never mentioned and instead we are left with rather nebulous arguments as the “Valanginian” or “Hauterivian” character of different parts of the fauna of the Marnes à Astieria.

2.2. The Hauterivian-Barremian boundary

In a first time, the Barremian stage of COQUAND (1862) was thought to be missing in the Jura Mountains (DESOR, 1864). Most authors of the last century continued to use the Urgonian of D'ORBIGNY (1847) as stage name for the strata overlying the Pierre jaune. The Barremian was only introduced by BAUMBERGER (1901). Since then, the term “Barrémien” has replaced the “Urgonian” as a stage name, but stratigraphic boundaries were not changed and there were no biostratigraphic arguments for a Barremian age of Urgonian facies of the Jura Mountains. The distinction between “Hauterivian” and “Barremian” was thus inevitably a purely lithological one, BAUMBERGER (1903-1910) himself stated that no paleontological difference could be observed. Under these conditions the only possibility to draw a boundary between the two “stages” was to find a marly intercalation which could be taken for the equivalent of the “Marnes de la Russille”, as did FREI (1925) at Serrières. But there are several nodular levels with a marly matrix in the passage beds between Pierre jaune and “Urgonian jaune” and as shown quite recently by CONRAD & MASSE (this vol.) none of them corresponds to the Marnes de la Russille of the type locality.

BURRI (1956) was the first to arrive at a biostratigraphic distinction between “Hauterivien” and “Barrémien” on the base of rhynchonellids. But we should be aware of the fact that “Barrémien” means in reality Urgonian facies of the Jura Mountains. And there are now rather strong arguments that the lower “Urgonian” is of Hauterivian age according to Kilian's definition by ammonites (MASSE et al., this vol.).

2.3. Hauterivian stratotypes proposed by HAEFELI et al. (1965)

In a recent revision of the Valanginian and Hauterivian stages in the historical type region (HAEFELI, MAYNC, OERTLI & RUTSCH, 1965), several sections were measured in detail by HAEFELI, foraminifera studied by MAYNC and ostracods by OERTLI. On this base, RUTSCH proposed stratotypes for the Valanginian and the Hauterivian stages.

The Hauterivian is combined from the following profiles:

- 1) Valangin, showing the transition from the Calcaire roux up into the lowermost Marne bleue and then the uppermost Marne bleue and the lower part of the Mergelkalkzone,
- 2) Hauterive (in reality at Neuchâtel): upper Marne bleue and lower Mergelkalkzone,
- 3) Le Landeron, a profile combined from three outcrops covering the interval from the uppermost Marne bleue up into the Pierre jaune. None of these stratotype sections shows the transition from the Pierre jaune to the “Urgonian”.

The sections of Valangin and Neuchâtel (= “Hauterive”) are still open to the same degree as at HAEFELI's time, but the whole complex of Le Landeron is rather problematic. The quarry in the Pierre jaune is being filled up with rubble, the lowermost section is tectonically disturbed and the middle part, again a quarry, is no longer accessible. A villa has been built there and a nice garden arrangement showing Little Snow White and the seven dwarfs occupies the place where, once upon a time, the Mergelkalkzone was to be seen.

The base of the Valanginian and of the Hauterivian stage are formally defined (in reality redefined) by RUTSCH (in HAEFELI et al., 1965: 44). The Valanginian-Hauterivian boundary is thus fixed at the top of the Marnes à Astieria at Valangin. The redefinition of the Hauterivian-Barremian boundary is postponed until a suitable type-section will be available in the Neuchâtel region.

RUTSCH is aware of the fact that the top of the Hauterivian as defined by RENEVIER (1874) will certainly not coincide with the base of the Barremian at Angles. Therefore his proposal (in HAEFELI et al., 1965: 47) to

attribute a Hauterivian age only to strata belonging to the time interval between Marnes à Astieria and Marne de la Russille. But this does not raise the contradiction between two definitions of the same boundary. It also remains mysterious, why priority is given to RENEVIER's definition, since the Barremian was introduced 12 years earlier by COQUAND (1862). In the same time, RENEVIER's definition of the Valanginian-Hauterivian boundary is abandoned for faunal reasons! Following RUTSCH's own logic, the Marnes à Astieria would have to be considered as Hauterivian "ex definitione". Finally, the problem that the correlation potential of rigid unit-stratotypes of this kind might be insufficient, is not even taken into consideration. But this is indeed the crucial point, for what could be the use of a definition which cannot be applied in practice?

3. AIM OF THE PRESENT STUDY

The study of ostracod and foraminiferal biostratigraphy carried out by OERTLI and MAYNC in the context of the work of HAEFELI et al. (1965) was an important step towards a better understanding of the historical type Hauterivian (and Valanginian). Nannoflores of two of HAEFELI's localities (Valangin and Neuchâtel = "Hauterive") were studied by THIERSTEIN (1973).

But ammonites have not been reviewed since the monograph of BAUMBERGER (1903-1910) and for the rest of the macrofauna we have to go even further back. For this reason it seemed interesting to take up the whole problem again on a broader biostratigraphic base, including the fossil groups mentioned above (see Avant-Propos). On a broader base also in extending the revision into the Urgonian facies and finally also on a broader scale regionally speaking, including the region of Sainte-Croix and Mont-de-Chamblon (Canton de Vaud) and the southern Jura Mountains of Haute-Savoie (France) in the vicinity of Geneva.

The aim of our research project was not, however, to institute (or reinstitute) a stratotype of the Hauterivian stage in a facies known to be unfavourable for long-distance correlations, especially in the Upper Hauterivian which is not documented by ammonites. But also a limitotype for the lower boundary of the Hauterivian would only be of limited value due to the condensation having affected the "Couche de Villers" and "Marnes à Astieria". But it seems important that a maximum of biostratigraphic information on the historical type region is gathered, before a redefinition of the Hauterivian stage in an ammonite facies is envisaged.

4. POSSIBILITIES FOR A LITHOSTRATIGRAPHIC SUBDIVISION OF THE HAUTERIVIAN IN THE CENTRAL SWISS JURA MOUNTAINS

4.1. Earlier work on Hauterivian stratigraphy

Since the first geological monograph of the Canton de Neuchâtel by DESOR & GRESSLY (1859) other valuable contributions to Hauterivian stratigraphy have been made by various authors. First of all the "Description géologique du Jura vaudois et neuchâtelois" of JACCARD (1869) and the outstanding work on lower Cretaceous stratigraphy and ammonite faunas of BAUMBERGER (1903-1910), which was preceded by a general overlook over facies and paleogeography (BAUMBERGER, 1901) should be remembered. In these publications the foundations of regional Hauterivian stratigraphy were laid, including the definition of current lithostratigraphic units.

More recently, BURRI (1956), in his revision of Valanginian to Barremian rhynchonellids, has presented an excellent review of problems concerning lower Cretaceous stratigraphy of the Swiss Jura Mountains. The Cretaceous of the French Jura Mountains was studied recently by GUILLAUME (1966).

As far as the central Swiss Jura is concerned, our study concentrated on the region around Neu-châtel/Hauterive, on the environments of Sainte-Croix, and on Mont-de-Chamblon (fig. 1) for the classical Hauterivian. Additionally, "Urgonian" sections were measured in the Orbe valley, at Vallorbe, near Buttes and some localities of the French Jura (see MASSE et al., this vol.).

In our context, the work of KIRÁLY (1964, 1965) on the Pierre jaune around Neuchâtel and three regionally oriented theses are also very important: RITTENER (1902), FREI (1925), and JORDI (1955). The region between Neuchâtel and Mont-de-Chamblon, not studied in detail by us, is covered by BERTSCHY (1958) and MEIA (1965, 1969). Important publications of more local interest will be discussed when dealing with individual profiles (REMANE et al., this vol.).

The above mentioned publications contain a wealth of stratigraphic information and although formations, members and so on have never been formally defined, a certain number of lithostratigraphic units have emerged which are still in general use. The most important of them have already been characterized briefly above. But, before entering into a biostratigraphic revision, the real value of these current lithostratigraphic units had to be tested, i. e. the lithostratigraphic nomenclature to be used in this publication had to be clarified. The meaning was not, however, to introduce a formal hierarchy with groups and formations because this would have made necessary a thorough revision of regional geology which was beyond the scope of a stage revision.

The main accent of lithostratigraphic descriptions (REMANE et al., this vol.) is placed on criteria permitting to recognize again characteristic levels which may serve as a starting point for those who want to restudy our profiles. In the same sense, the critical appreciation of the reliability of field data are given a large space. Sections in the classical Hauterivian of the central Swiss Jura Mountains were measured and sampled by J. REMANE with the help of assistants and students mentioned in the Avant-Propos. Macrofaunas were collected together with R. BUSNARDO, J. CHAROLLAIS, B. CLAVEL, and J.-P. THIEULOY and lithostratigraphy was elaborated in common during these field trips.

4.2. Current lithostratigraphic subdivision of the historical type Hauterivian

In the region around Neuchâtel (and Hauterive), the Hauterivian sensu BAUMBERGER (1901, 1903-1910) is currently subdivided into three informal lithostratigraphic units:

(Urgonien jaune)	“Barrémien”
Pierre jaune (de Neuchâtel)	
Mergelkalkzone	“Hauterivien”
Marne bleue (d’Hauterive)	
(Marnes à Astieria)	Valanginian

The facies corresponding to these units have already been described above. Most regional stratigraphers have adopted this scheme, but disagree where to draw the (lithostratigraphic) boundary between Lower and Upper Hauterivian.

BAUMBERGER & MOULIN (1899) placed the Mergelkalkzone in the Lower Hauterivian, whereas the Upper Hauterivian was represented by the Pierre jaune only. Among recent authors, JORDI (1955) and BERTSCHY (1958) have followed this proposal. SCHARDT (1908 a, b) and FREI (1925) attributed the Mergelkalkzone to the Upper Hauterivian which is much more logical from the lithostratigraphic standpoint. Baumberger was probably guided by biostratigraphic considerations and under this aspect, the Lower Hauterivian has indeed to be extended higher up. As will be shown (BUSNARDO & THIEULOY, this vol.) the entire Marne bleue belongs to the Radiatus and Loryi Zones and even a part of the Pierre jaune is still of Early Hauterivian age. BURRI (1956) has given other examples of a contradictory use of the terms Lower and Upper Hauterivian in the Swiss Jura. If we take into consideration that since BAUMBERGER (1901) everybody agrees that both boundaries are diachronous, it seems only logical to abandon altogether “Lower” and “Upper” Hauterivian for the region under study. It is, by the way, interesting to note that BAUMBERGER made already a first step in this direction. In 1901 he used four lithostratigraphic divisions without classifying them in Lower and Upper Hauterivian. Five years later, however, he distinguished (BAUMBERGER 1903-1910) two main units

named Kalkfazies = Pierre jaune and Mergelfazies (including also the famous Mergelkalkzone). Cautiously, the terms Lower and Upper Hauerivian reappear one or two pages below, and the problem is there again. With respect to finer subdivisions than the basic threefold scheme presented above, DESOR & GRESSLY (1859) had already recognized that further lithostratigraphic subdivisions of the Pierre jaune were only of local interest. No attempts towards a generalized subdivision of the Pierre jaune have been made since. The subdivision of the “Marnes néocomiennes” (= Marne bleue) into (from top to bottom): 1^o marnes blanchâtres à concrétions calcaires, 2^o marnes bleues homogènes, 3^o marnes jaunes (DESOR & GRESSLY, 1859: 34) was however believed to be valid for the whole region. This subdivision has survived (HAEFELI et al., 1965) although it does not quite correspond to reality. At Cressier as well as at Le Landeron calcareous nodules are present in the lower Marne bleue and all what can be said is that at certain levels of upper Marne bleue nodules attain higher concentrations than in the lower part. In other words, a more than purely local lithostratigraphic subdivision of the classical Hauerivian around Neuchâtel is limited to the three basic units Pierre jaune, Mergelkalkzone, and Marne bleue. The next question is then, how far this scheme can be extended regionally.

4.3. Lateral extent of the lithostratigraphic units observed in the Neuchâtel/Hauerive region

The basic threefold subdivision of the classical (i.e. lithostratigraphic) Hauerivian applies of course best to Neuchâtel itself and to the innermost, southeastern chain of the Jura Mountains NE of Neuchâtel (Cressier, Le Landeron). The succession of Valangin fits also in this scheme, although the thickness of the Marne bleue is reduced from nearly 20 m to 7 m. Following the foot of the Jura Mountains to the SW, the three main terms of the succession can still be identified, but some additional elements show up. According to BERTSCHY (1958) intercalations of lumachellic limestone appear in the upper Marne bleue between Neuchâtel and Yverdon. Similarly, JORDI (1955) observed a group of three beds of bioclastic glauconitic limestones 10-12 m below the Mergelkalkzone at Mont-de-Chamblon.

On the other hand, about 3 m of yellow marls are intercalated in the upper Pierre jaune at Mont-de-Chamblon. These “Marnes à Eudesia semistriata” (SCHARDT, 1900) have been renamed “Marnes d’Uttins” by JORDI (1955).

The succession in the Ravin du Colas (= Colaz = Collaz) near Sainte-Croix is the one which differs most from the above mentioned three-fold subdivision. As a matter of fact, typical Pierre jaune lies directly on typical Marne bleue, and no Mergelkalkzone can be distinguished. A marly intercalation appears in the lower Pierre jaune, and two hard, more or less bioclastic marly limestones are intercalated in the Marne bleue (RITTENER, 1902). The position of the Valanginian-Hauerivian boundary in the Colas section was always controversial (SCHARDT, 1895, 1899b, RITTENER, 1902, BAUMBERGER 1903-1910). New finds of ammonites and echinids have shown that the lowermost Marne bleue is of Valanginian age (BUSNARDO & THIEULOUY, CLAVEL, this vol.).

5. BIBLIOGRAPHY

- 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; (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. neuchât. Sci. nat.* 26: 150-210, Neuchâtel.
BERTSCHY, R. — (1958). Geologie der Kreide und Molasse in der Umgebung von Grandson. *Eclogae geol. Helv.*, 51: 217-265, Basel.
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’Hauerivien jurassien: révision des faunes de la région du stratotype historique de l’étage hauerivien. *Mém. Soc. neuchât. Sci. nat.* 11: 101-147, Neuchâtel.

- CAMPICHE, G. & TRIBOLET, G. DE. — (1858). Description géologique des environs de Sainte-Croix. *Mat. paléont. suisse* (2) 1: 5-28, Genève.
- 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.
- COQUAND, H. — (1862). Sur la convenance d'établir dans le groupe inférieur de la formation crétacée un nouvel étage entre le néocomien proprement dit (couche à *Toxaster complanatus* et à *Ostrea Couloni*) et le néocomien supérieur (étage urgonien d'Alc. d'Orbigny). *Bull. Soc. géol. France* (2), 19: 531-541.
- DÉSOR, E. — (1864). Sur l'étage barrémien de M. Coquand. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 6: 542-544, Neuchâtel.
- DÉSOR, E. & GRESSLY, A. — (1859). Etudes géologiques sur le Jura neuchâtelois. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 4: 1-159, Neuchâtel.
- 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.
- GUILLAUME, S. — (1966-1967). Le Crétacé du Jura français. *Bull. Bur. Rech. géol. min.*, 1966, N° 1: 1-43; 2: 2-79; 3: 11-79; 6: 65-140; 1967, N° 1: 155-193, Paris.
- HAEFELI, Ch., MAYNC, W., OERTLI, H.J. & RUTSCH, R.F. — (1965). Die Typus-Profile des Valanginien und Hauterivien. *Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing.* 31: 41-75.
- JACCARD, A. — (1869). Description géologique du Jura vaudois et neuchâtelois. *Mat. Carte géol. Suisse*, 6: 336 p., 8 pl., Bern.
- JORDI, H.-A. — (1955). Geologie der Umgebung von Yverdon (Jura füss und mittelländische Molasse). *Beitr. geol. Karte Schweiz*, NF 99: 1-89, Bern.
- KILIAN, W. — (1889). Description géologique de la Montagne de Lure (Basse-Alpes). *Thèse*, 458 pp., 3 cartes, 8 pl., Paris.
- (1895). Note stratigraphique sur les environs de Sisteron et contributions à la connaissance des terrains secondaires du Sud-Est de la France. *Bull. Soc. géol. France* (3) 23: 659-803, Paris.
- 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.
- (1965). Structure sédimentaire et composition de la «Pierre jaune» (Hauterivien sup.) des environs de Neuchâtel (Suisse). *Eclogae geol. Helv.* 58: 789-798, Bâle.
- MARCOU, J. — (1858) Sur le néocomien dans le Jura et son rôle dans la série stratigraphique. *Arch. Sci. phys. nat.* (Genève) (2) 4: 42-66 et 113-154, Genève.
- 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.* 53/2: 1-47, Neuchâtel.
- (1969). Géologie du Mont-Aubert et de l'anticlinal Soliat-Montagne de Boudry au Nord du Lac de Neuchâtel (Jura vaudois sud-oriental et Jura neuchâtelois méridional, Suisse). *Bull. Soc. neuchâtel. Géogr.* 53/3: 1-69, Neuchâtel.
- ORBIGNY, A. D. — (1847). Paléontologie française. Terrains crétacés IV. Brachiopodes: 269, Paris.
- REMANE, J., BUSNARDO, R., CHAROLLAIS, J., CLAVEL, B. & THIEULOY, J.-P. — (1989). 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). *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 19-48, Neuchâtel.
- 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, Lausanne.
- RITTENER, Th. — (1902). Etude géologique de la Côte-aux-Fées et des environs de Sainte-Croix et des Baulmes. *Mat. 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.
- (1899). Sur les marnes à Bryozoaires des environs de Sainte-Croix. *Eclogae geol. Helv.* 6: 123, Bâle.
- (1900). Compte-rendu des excursions de la Société géologique suisse, juillet-août 1899. *Eclogae geol. Helv.* 6: 124-155, Bâle.
- (1908a). Sur le résultat de sondages dans le Néocomien du Vauseyon et le profil géologique d'une nouvelle percée pour le détournement du Sônon. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 34: 186-206, Neuchâtel.
- (1908b). Sur l'avenir de l'exploitation de la Pierre jaune entre Neuchâtel et Saint-Blaise. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 34: 229-250, Neuchâtel.
- THIERSTEIN, H.R. — (1973). Lower Cretaceous calcareous nannoplankton biostratigraphy. *Abh. geol. Bundesanst.* (Wien) 29: 52 S., 6 Taf., Wien.

<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.).

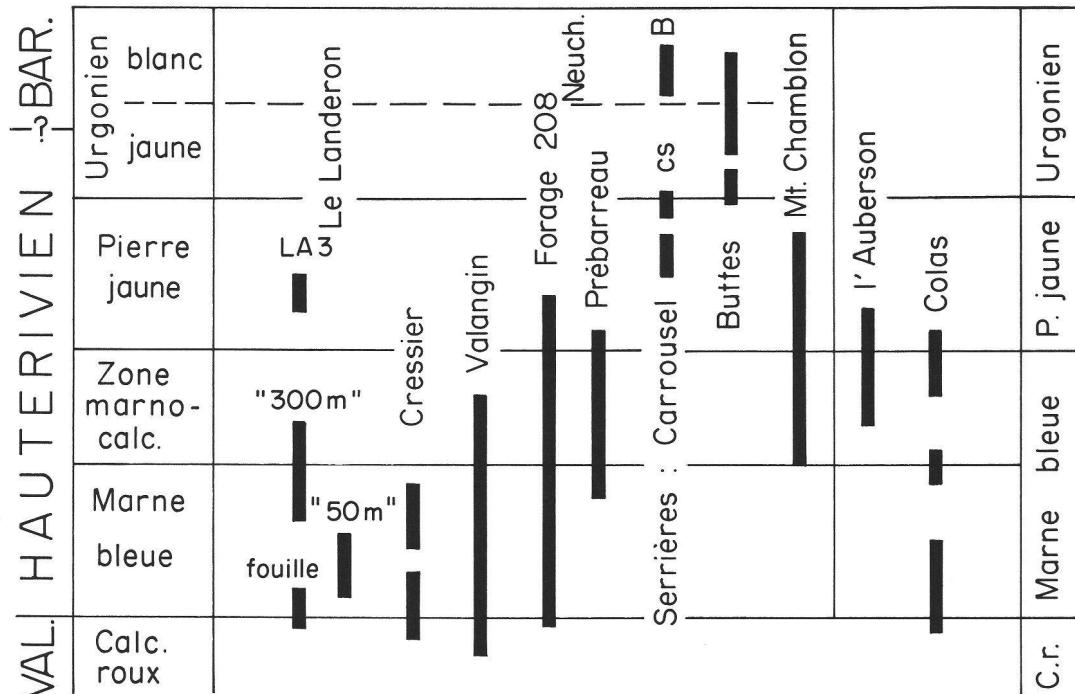


FIG. 1. — Aperçu des profils étudiés en détail; les barres indiquent leur extension stratigraphique par rapport aux unités lithostratigraphiques classiques

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

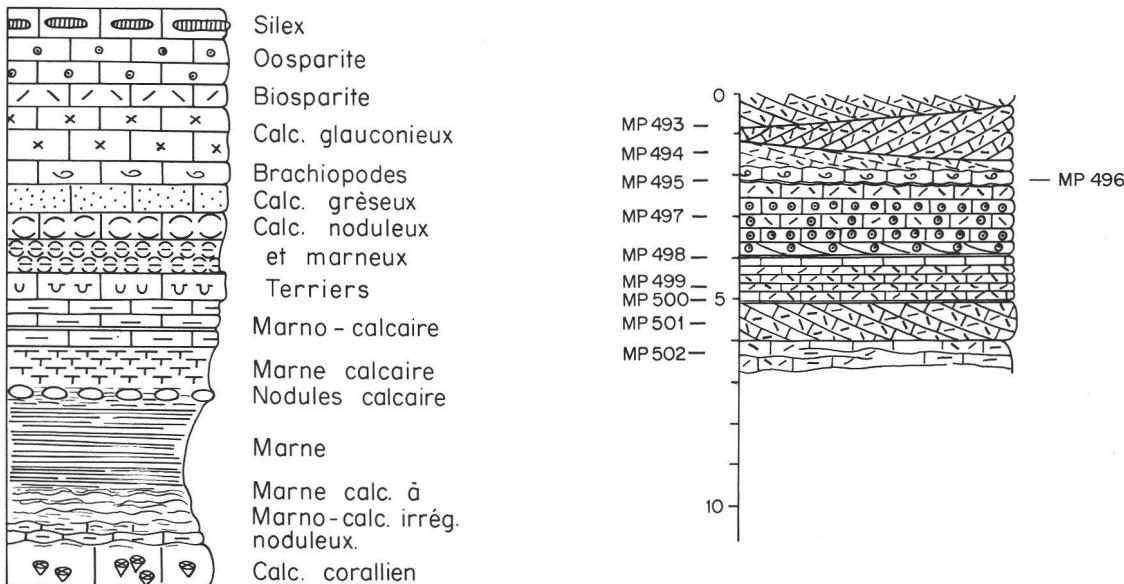


FIG. 2. — 2a) Légende lithologique pour les profils détaillés, fig. 2b à 14.

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-calcareous = 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).

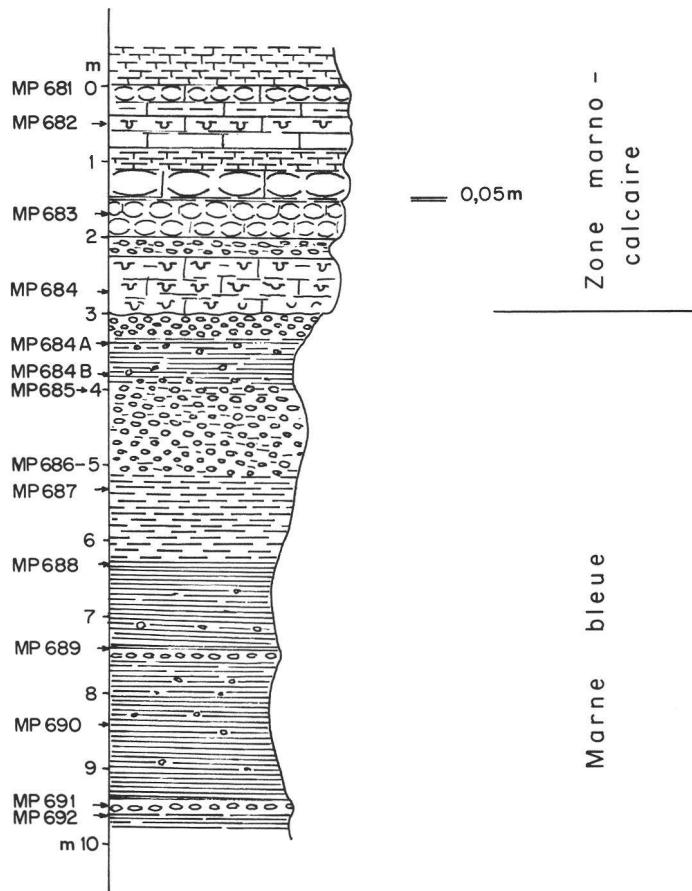


FIG. 3. — Succession au stand de tir au fusil à 300 m, au N du Landeron. La position des échantillons est indiquée en regard de l'échelle métrique.

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.

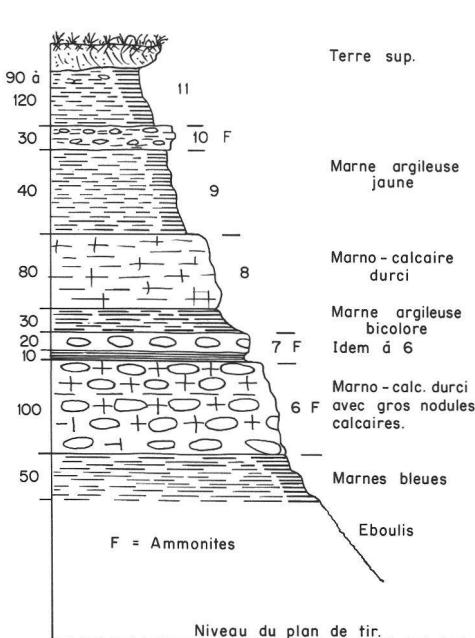


FIG. 4a

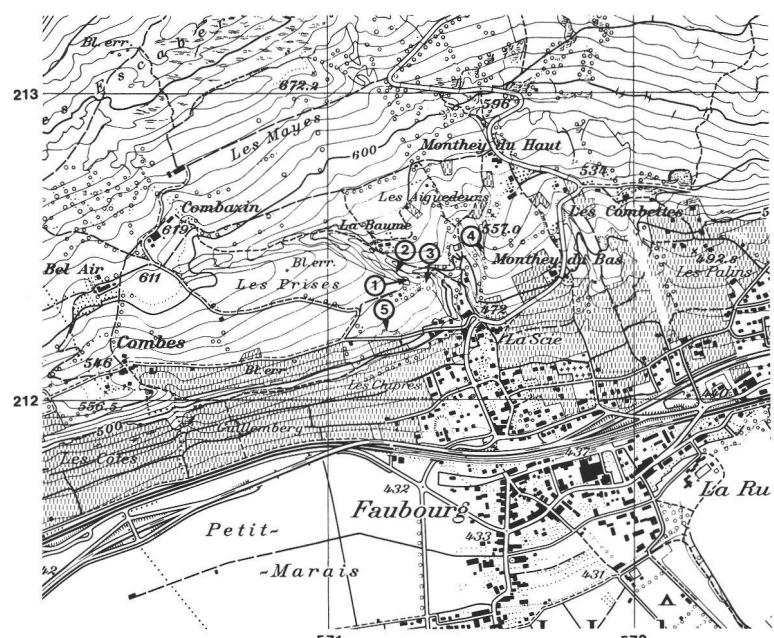


FIG. 4b

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).

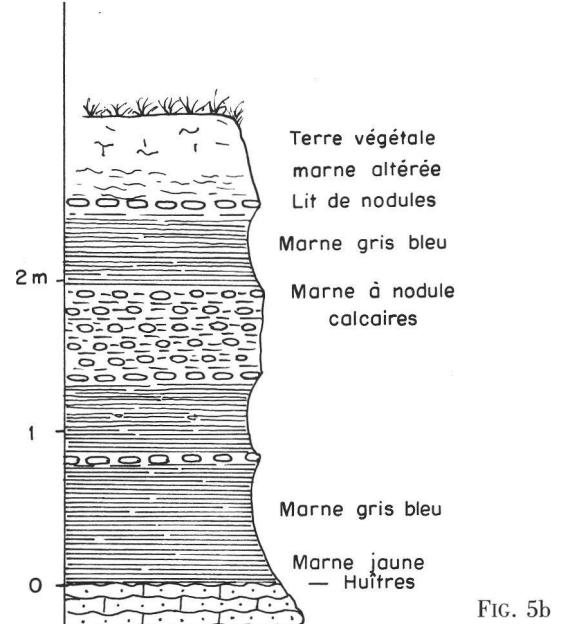
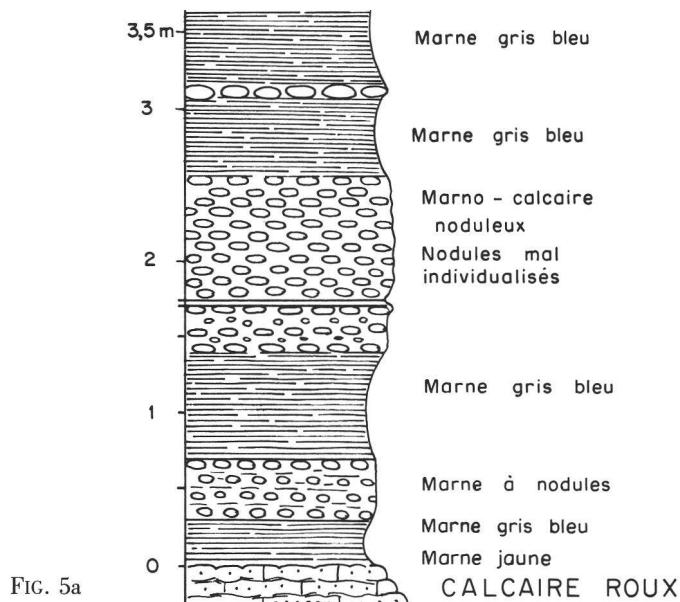


FIG. 5. — Sections dans la région du stand de tir à 50 m au NNW du Landeron.

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.

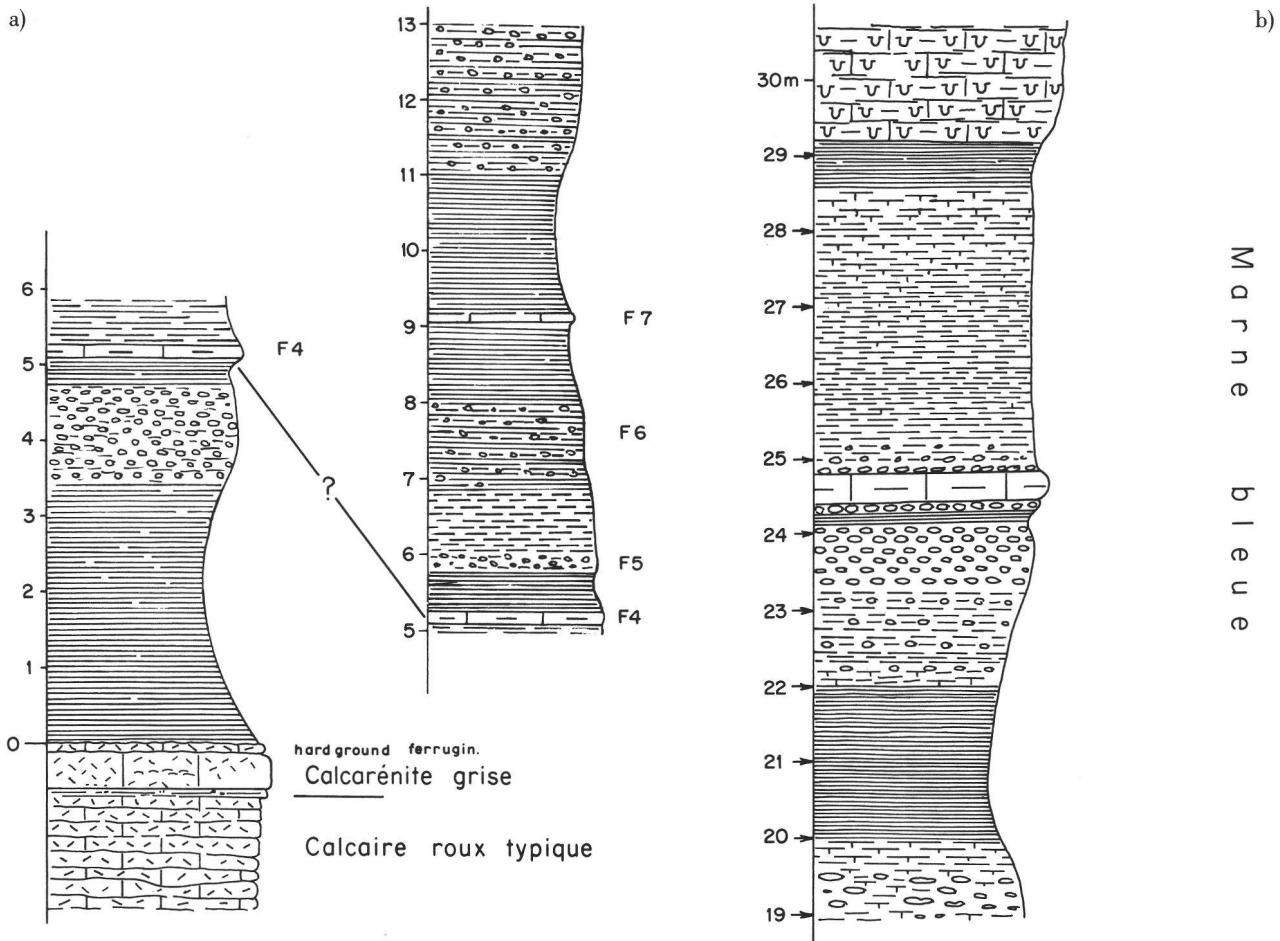


FIG. 6. — Deux sections dans la marnière de Cressier, selon REMANE (1982) modifié.

- 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.

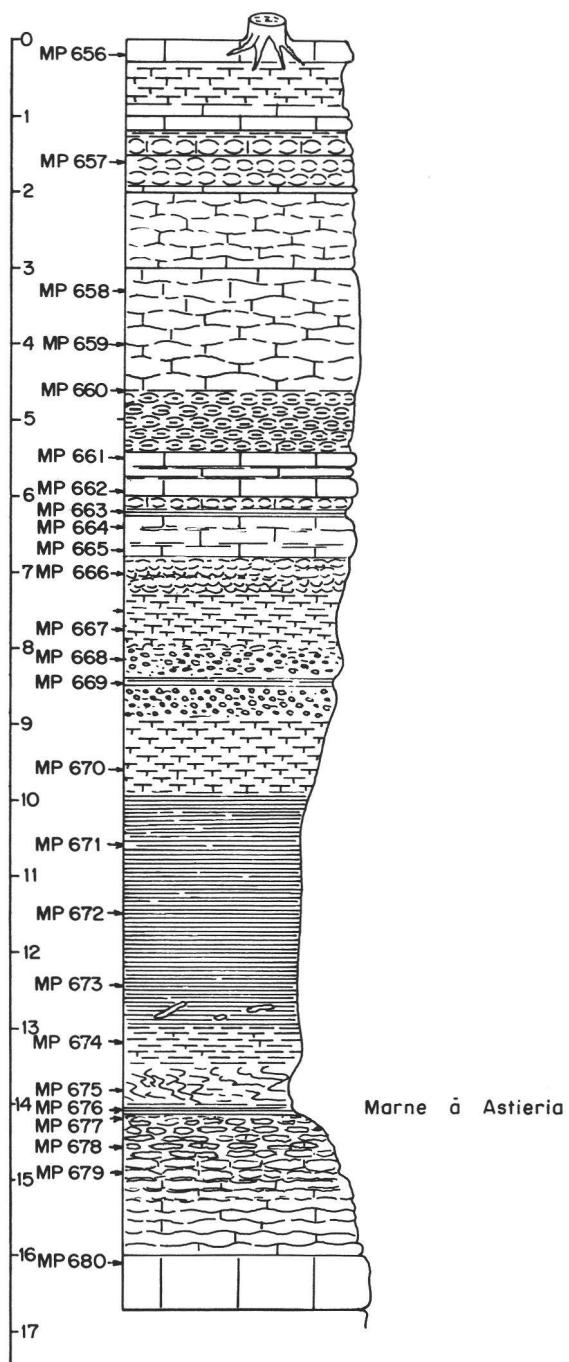


FIG. 7

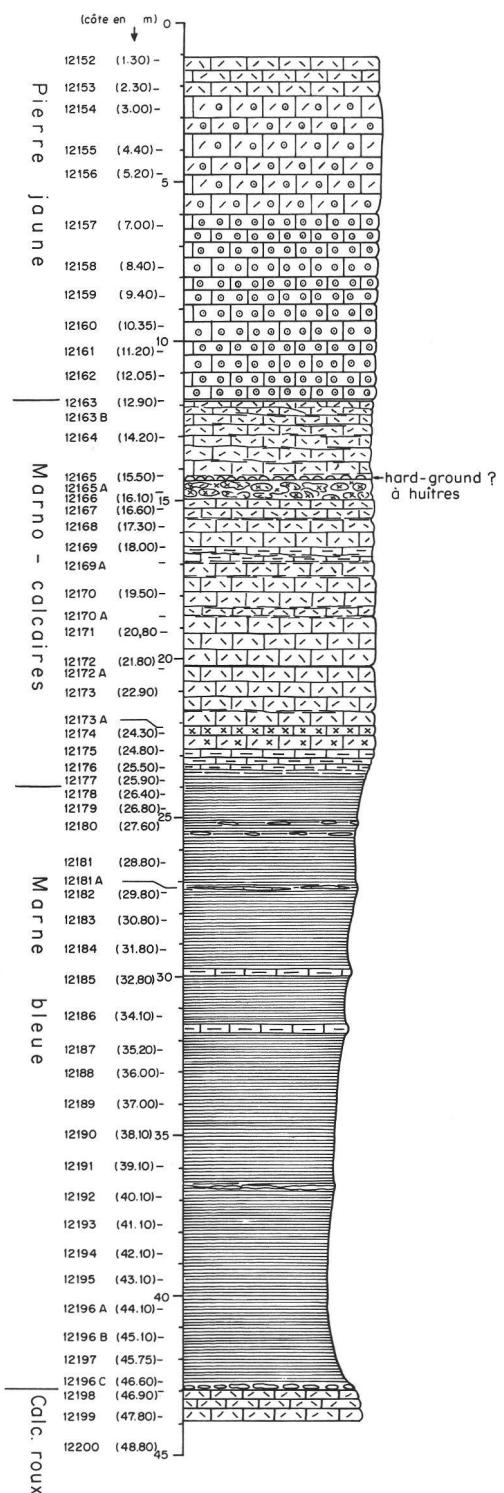


FIG. 8

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.

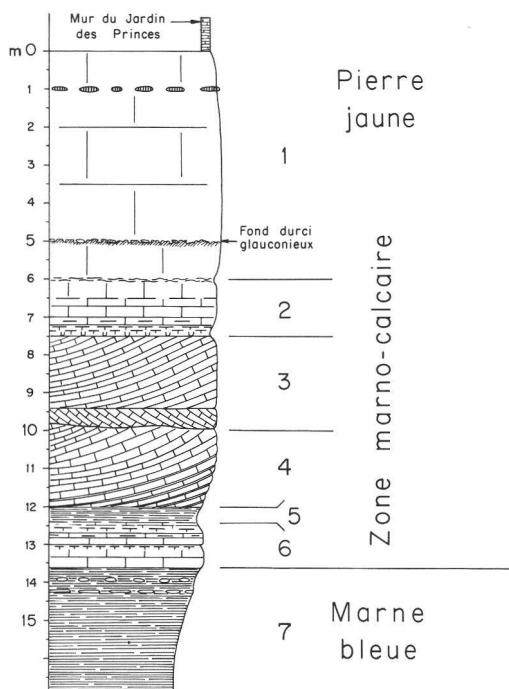


FIG. 9. — Succession lithologique dans la paroi du portail N du tunnel de Prébarreau. Les bancs purement calcaires des niveaux 1 à 4 et 6 correspondent à des grainstones de composition variable. Pour cette raison, les détails lithologiques n'ont pas été figurés.

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, surtour 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

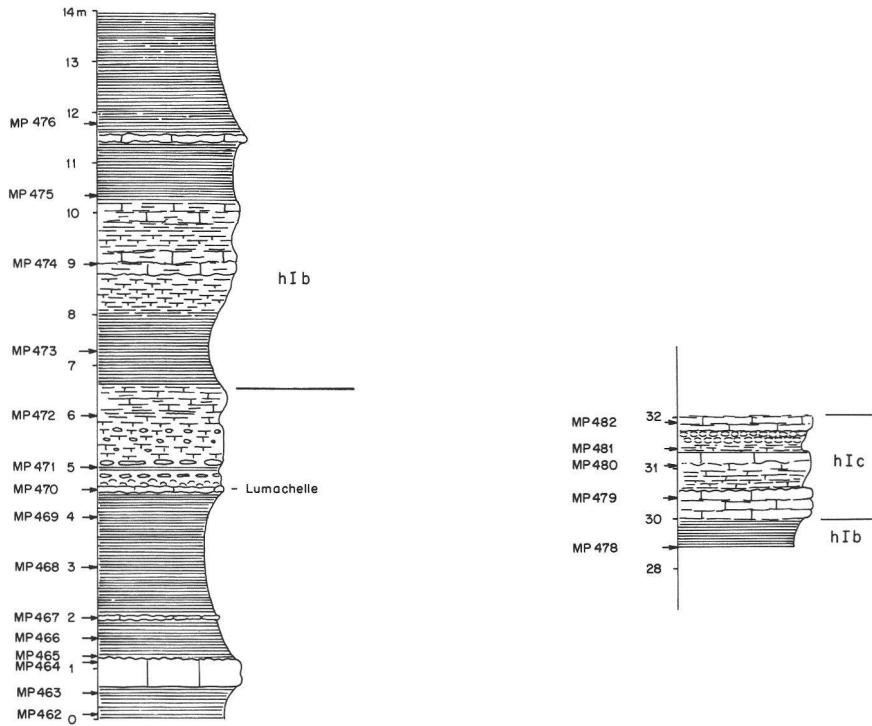


FIG. 10. — Succession lithologique dans le Ravin du Colas (lit de l'Arnon) au SE de Sainte-Croix. Les subdivisions hIb etc. correspondent à celles de RITTENER (1902). La position des échantillons est indiquée à gauche.

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.

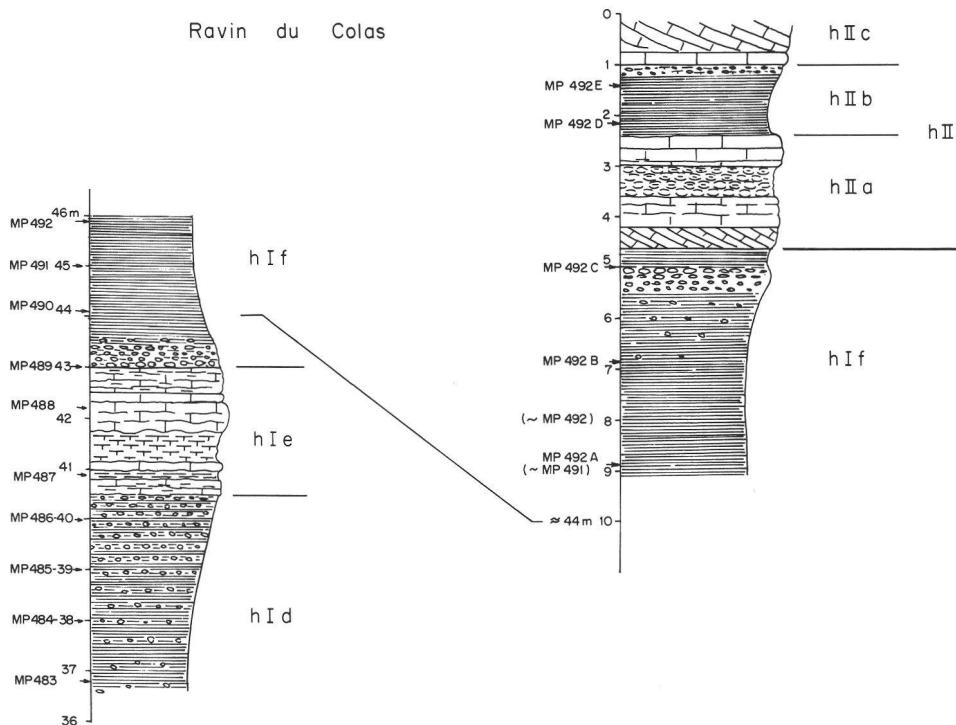
Succession in the Ravin du Colas (i.e. bed of the beck named Arnon), lithostratigraphic subdivisions (hIb etc.) according to RITTENER (1902). The position of samples is indicated at left.

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

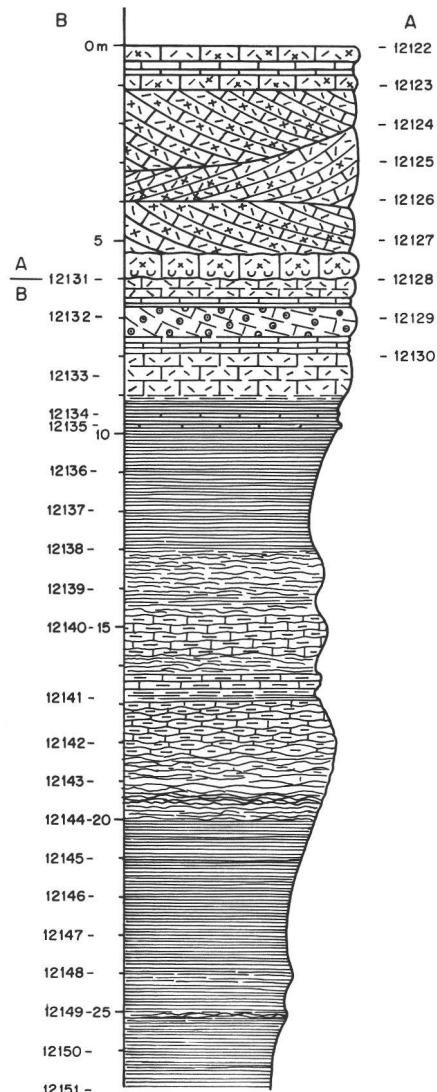


FIG. 11

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.

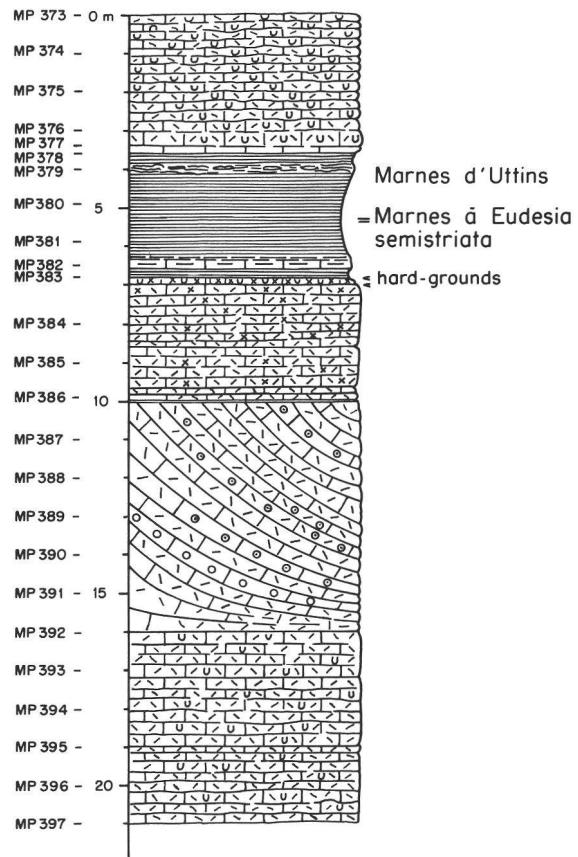


FIG. 12

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).

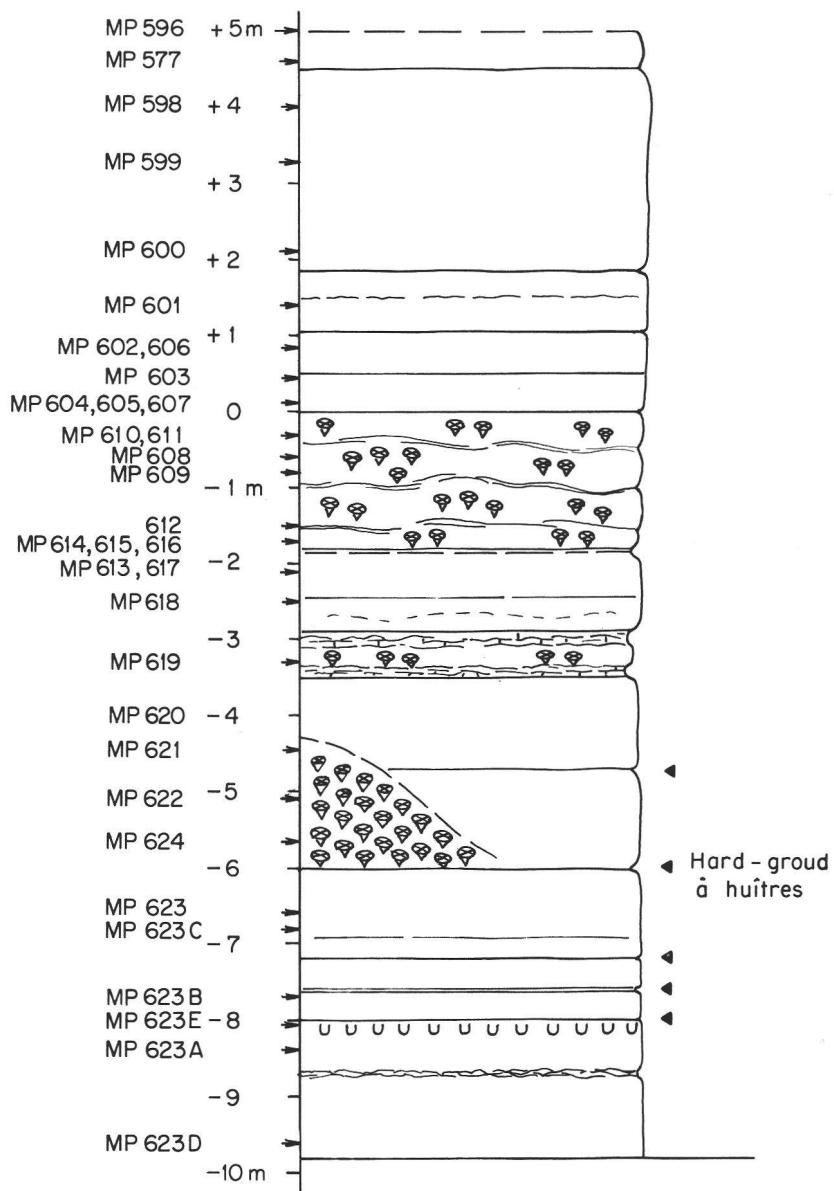


FIG. 13. — «Coup de la Brunette», succession de faciès urgoniens à Serrières, en face des Fabriques de Tabac Réunies S.A. Position des échantillons indiquée à gauche; triangles noirs à droite: hard-grounds.

«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.

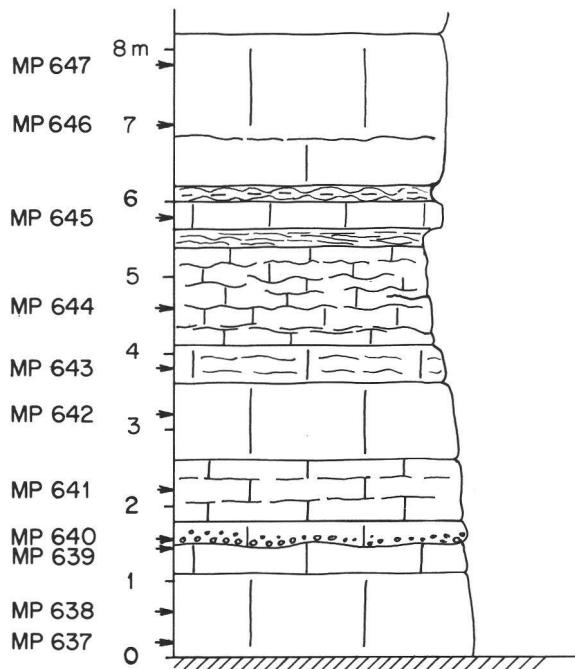


FIG. 14. — Partie supérieure de la Pierre jaune au lieu dit «Le Carrousel» près de Port-Roulant, Neuchâtel. Comme aux autres localités, la Pierre jaune est constituée de grainstones de composition très variable; seul le niveau bréchique à 1,5 m a été mis en évidence.

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) :

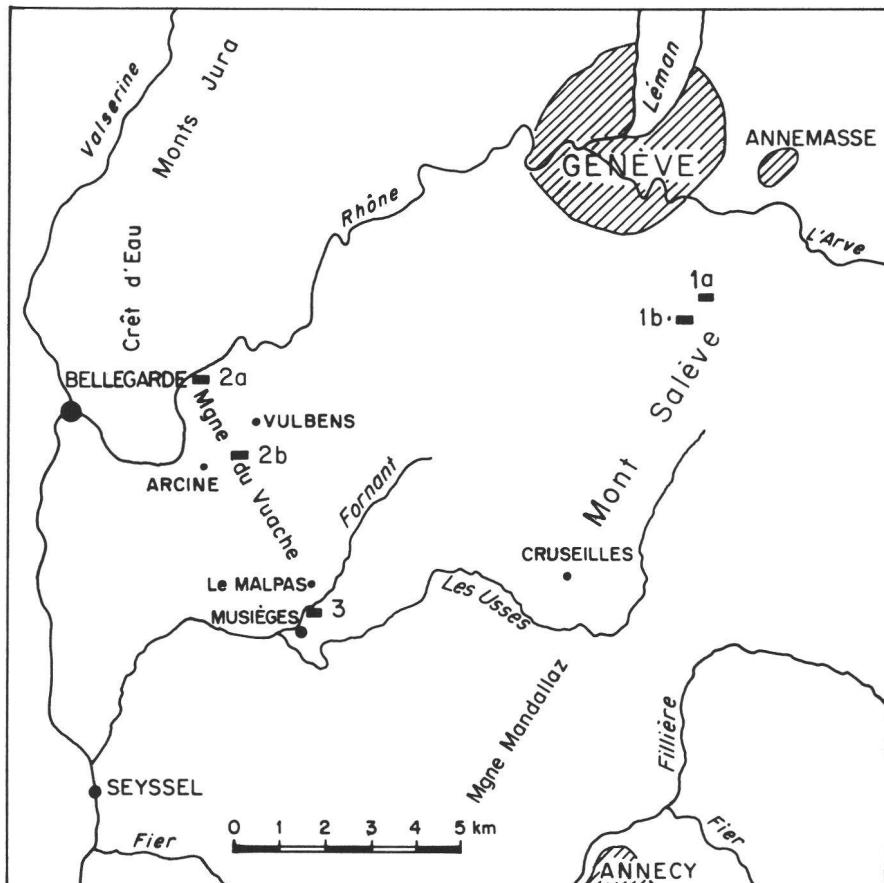


FIG. 1. — Emplacement des coupes lithologiques.

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.

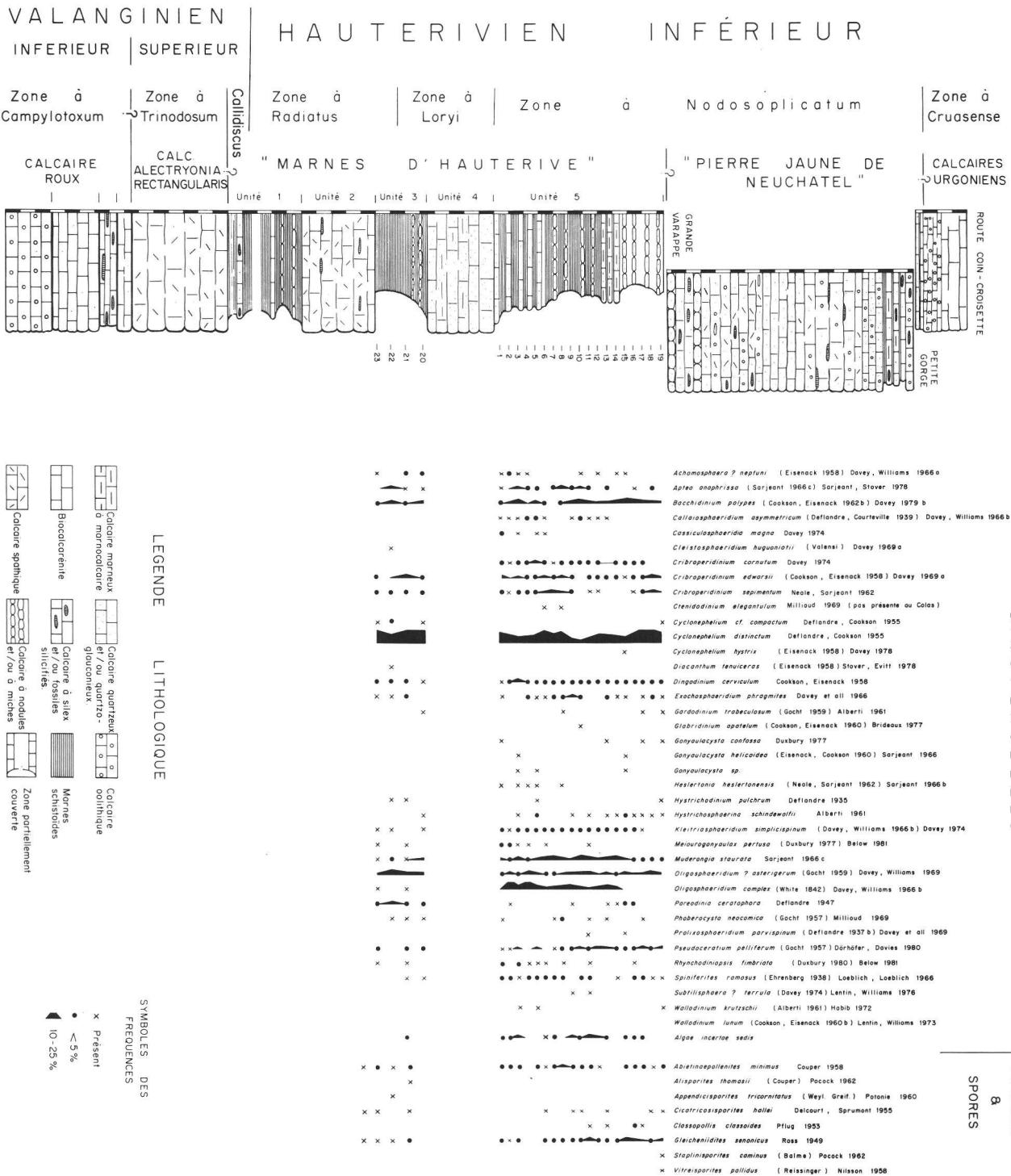


FIG. 2. — Coupe synthétique des formations du Valanginien et de l'Hauterivien inférieur du Salève, d'après JOUKOWSKY & FAVRE (1913), GORIN & FROIDEVAUX (inédit) et CHAROLLAIS et al. (1981).

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).

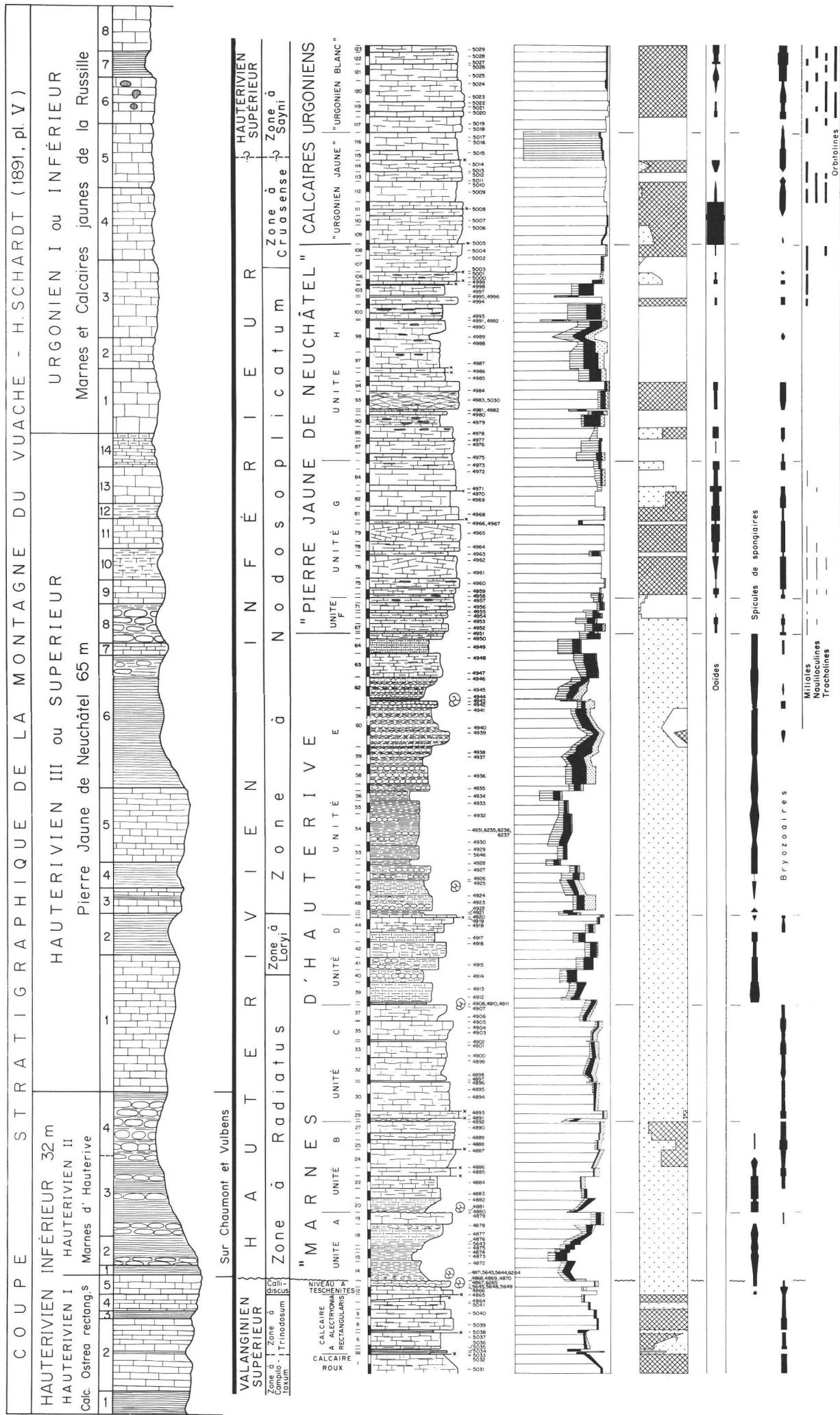
1. Comme il a été précisé dans l'introduction, SCHARDT (1891) figure sur la planche V, une coupe stratigraphique « synthétique » du Vuache reconstituée surtout à partir de relevés dans les affleurements de la route D908A entre Vulpens et Arcine, mais comprenant aussi pour les « Marnes d'Hauterive » des 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:

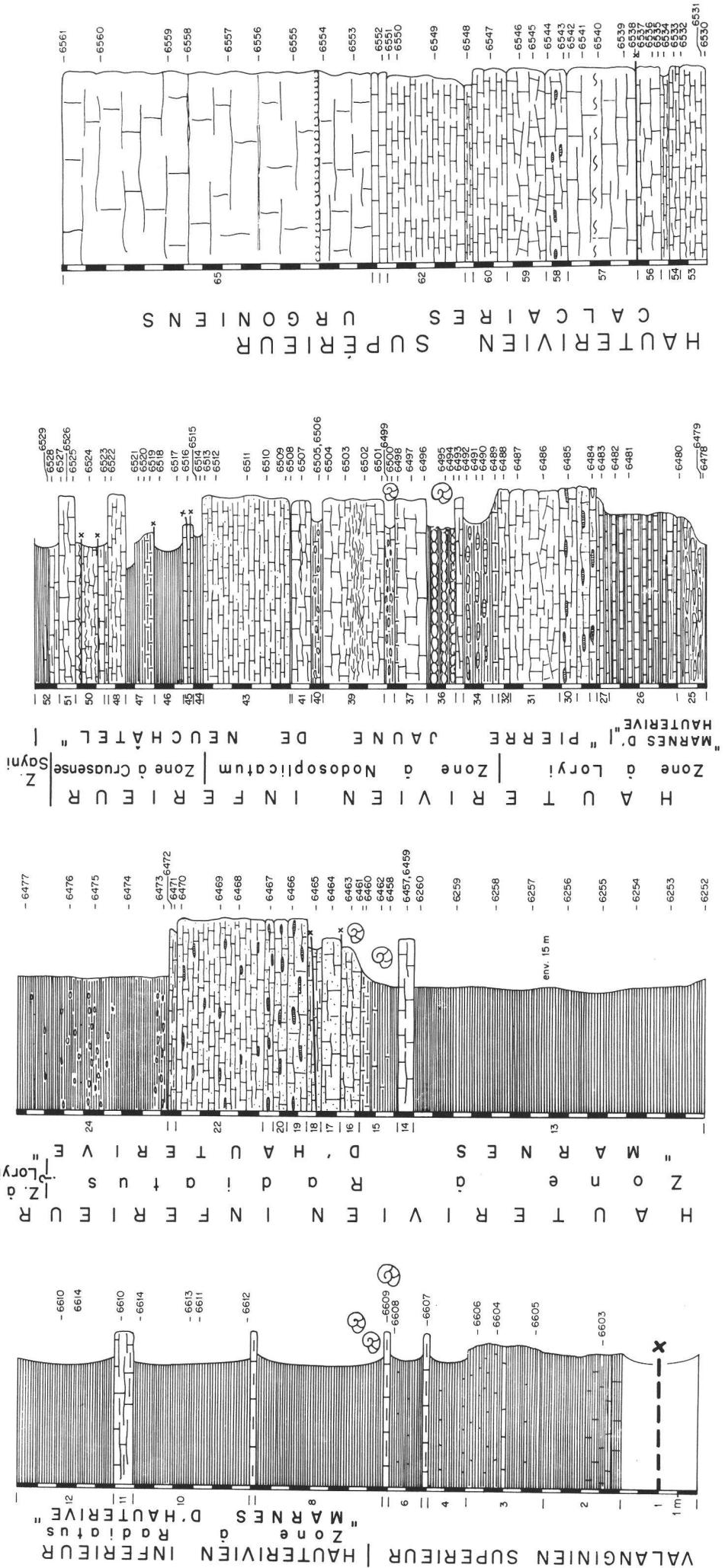
- niveau basal de condensation, glauconieux et riche en bioclastes
- faciès argilo-carbonaté à spicules de spongiaires et textularidés, passant à un
- faciès bioturbé à échinides, nodosaridés et chargé de quartz détritiques
- faciès plus carbonaté à faune sessile: bivalves, bryozoaires, crinoïdes, serpules,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

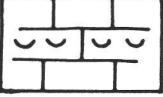
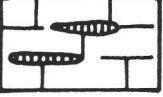
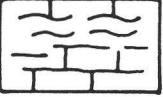
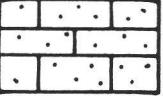
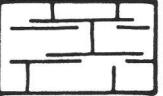
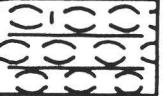
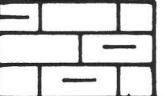
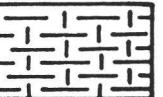
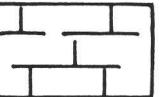
4. MONT-DE-MUSIÈGES (fig. 4)

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. — *Elogiae geol. Helv.* (à paraître).
- CONRAD, M. A. — (1969). Les calcaires urgoniens dans la région entourant Genève. — *Elogiae 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).

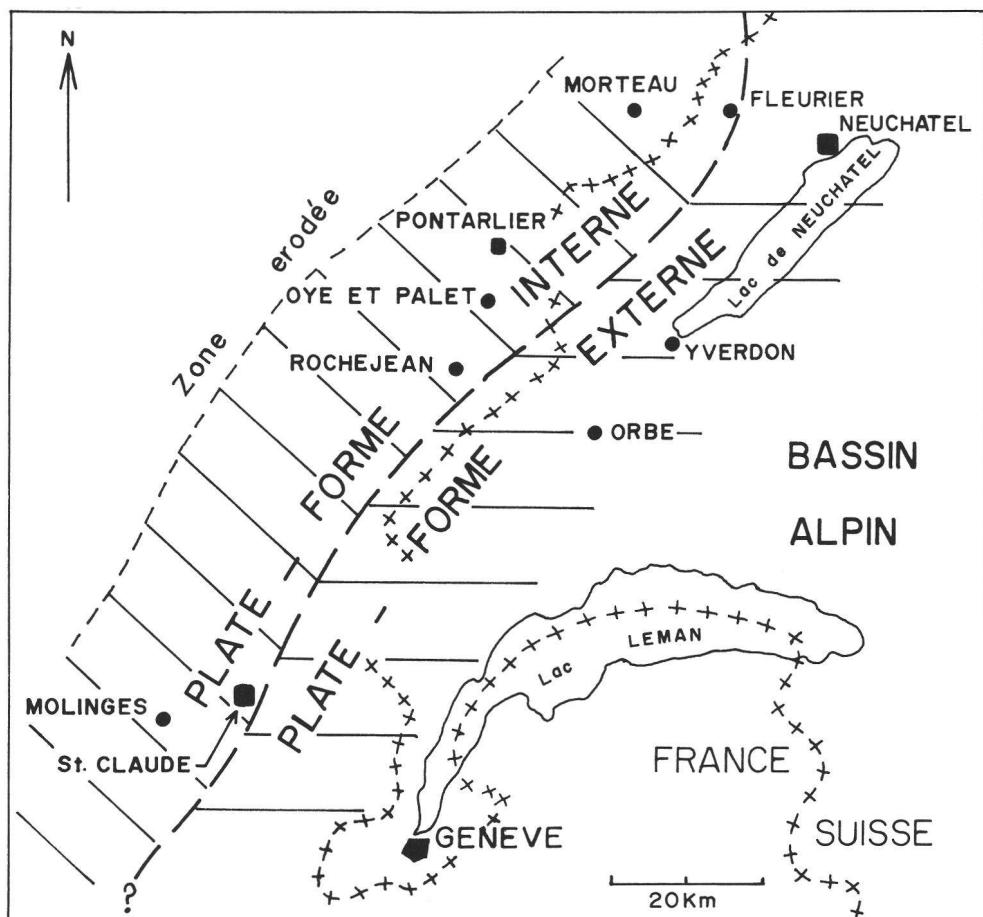


FIG. 1. — Situation géographique des localités étudiées.

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

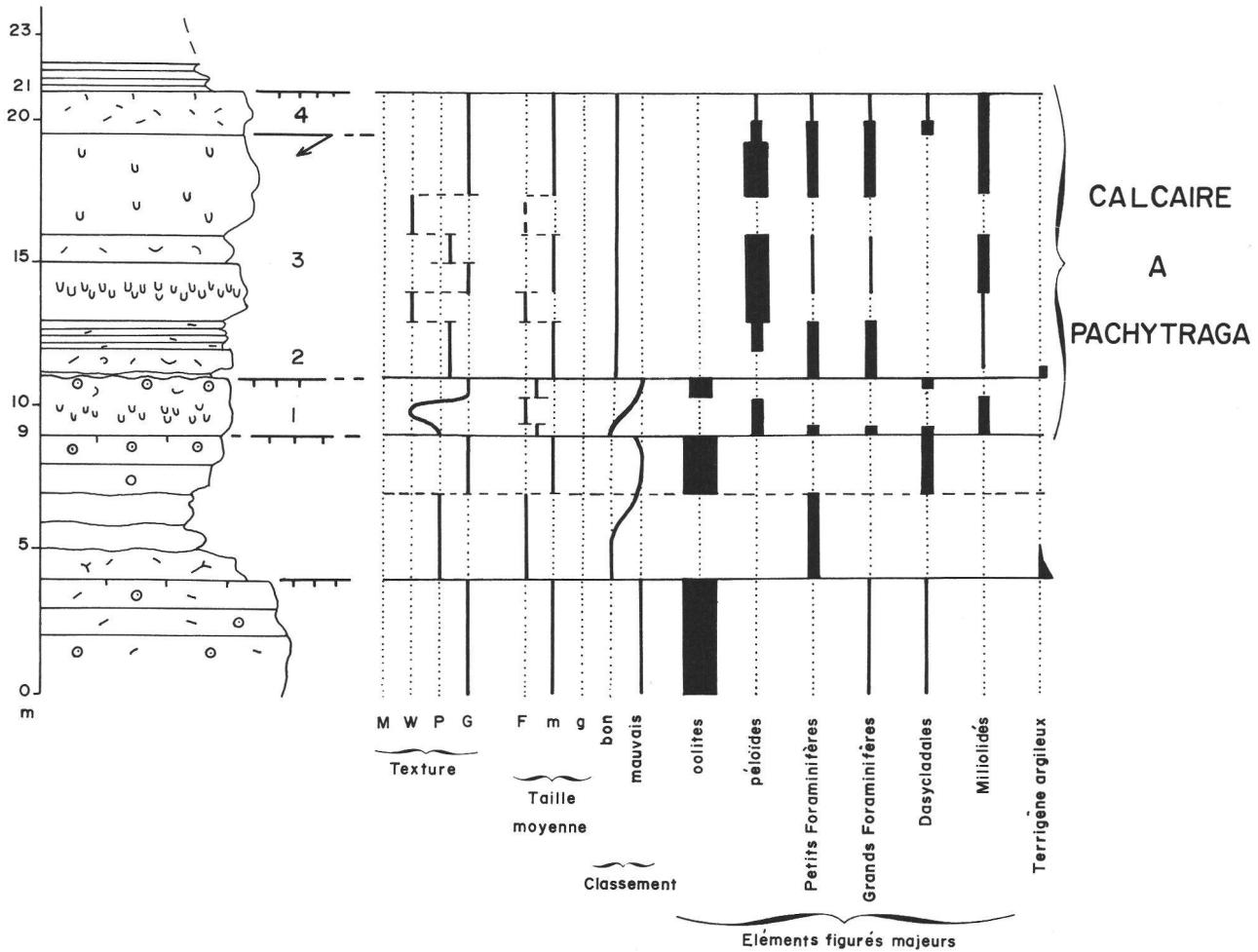


FIG. 2. — Coupe type du «Calcaire à Pachytraga» dans le secteur de Gellin-Rochejean.

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.

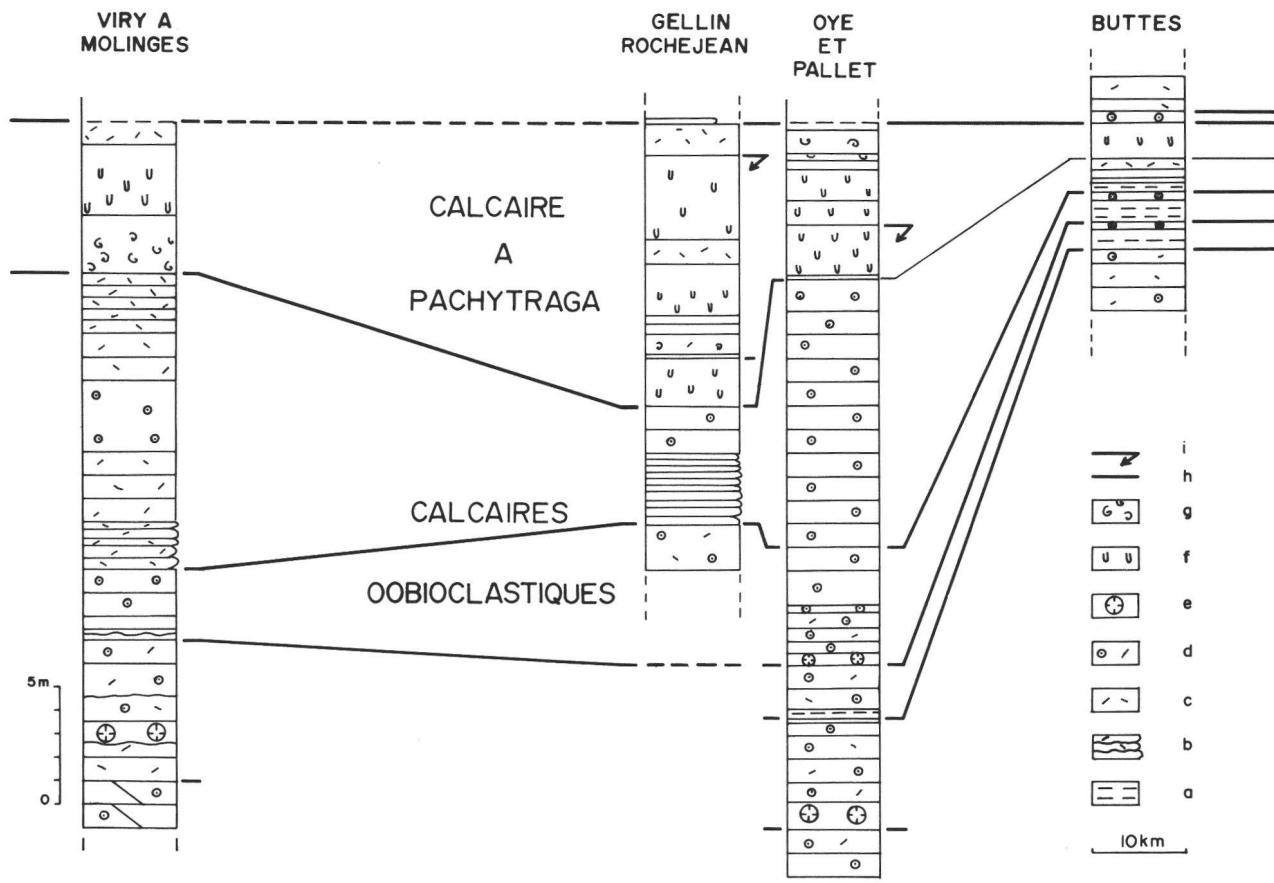


FIG. 3. — Variations latérales du «Calcaire à Pachytraga» et des formations encaissantes. a) marnes, b) packstones \pm bioclastiques, c) biocalcarénites, d) calcaires oolithiques, e) calcaires à madréporaires, f) calcaires à *Pachytraga*, g) calcaires à *Requieniidae*, h) discontinuités sédimentaires,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

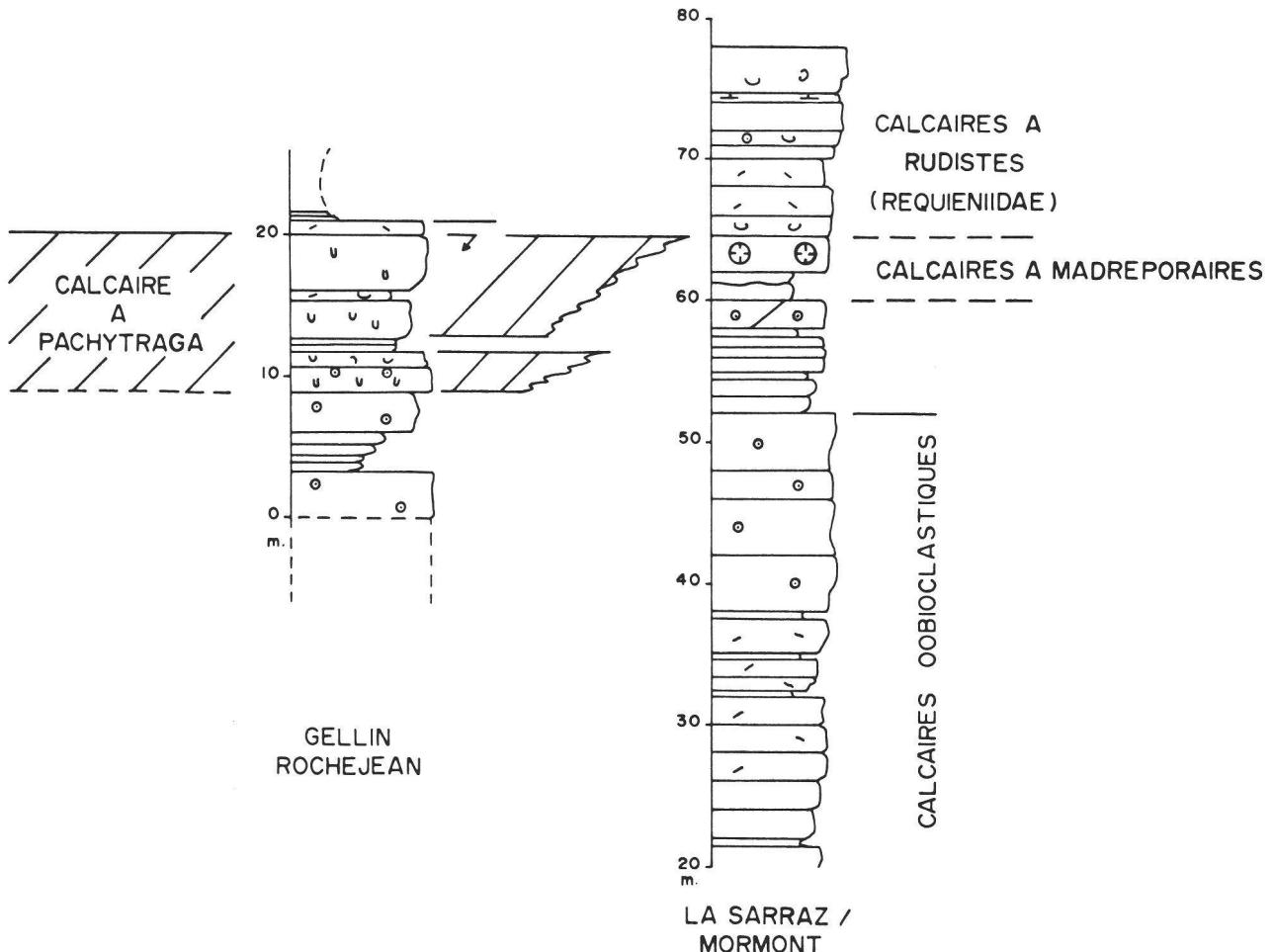


FIG. 4. — Hypothèse de corrélation des séries carbonatées bioclastiques et à rudistes de l'Hauterivien p.p. (Barrémien basal?) du Jura.

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

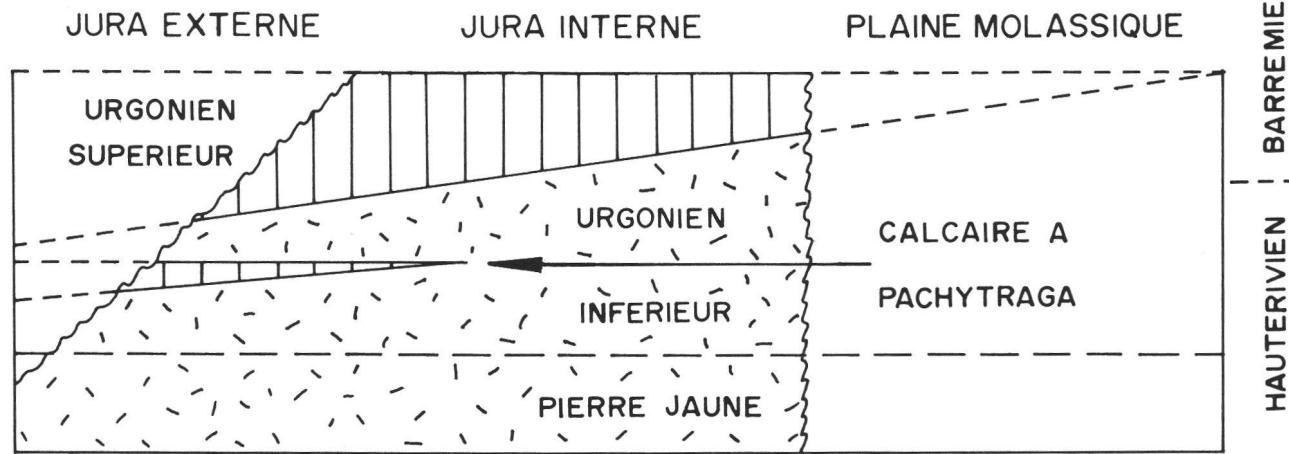
Les figures diagénétiques les plus fréquentes :

- 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.

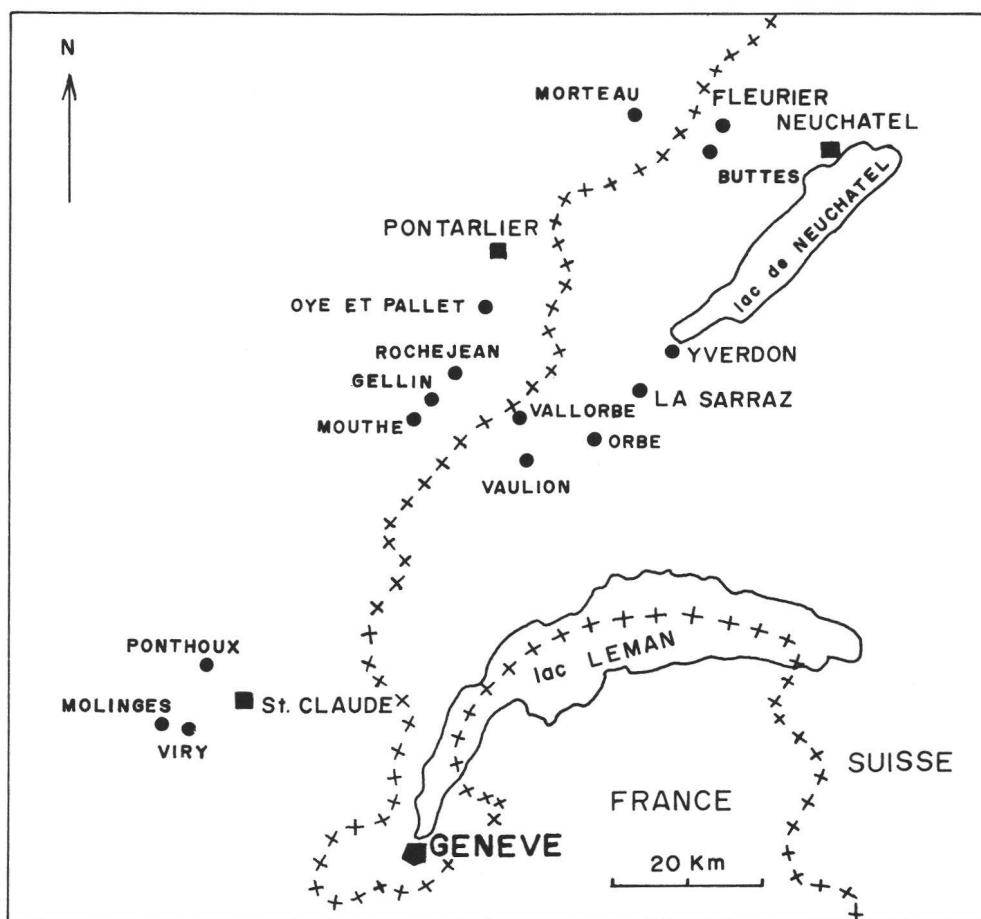


FIG. 6. — Paléogéographie de la plate-forme carbonatée jurassienne à l'Hauterivien supérieur p.p. (épisode du «Calcaire à Pachytraga»).

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

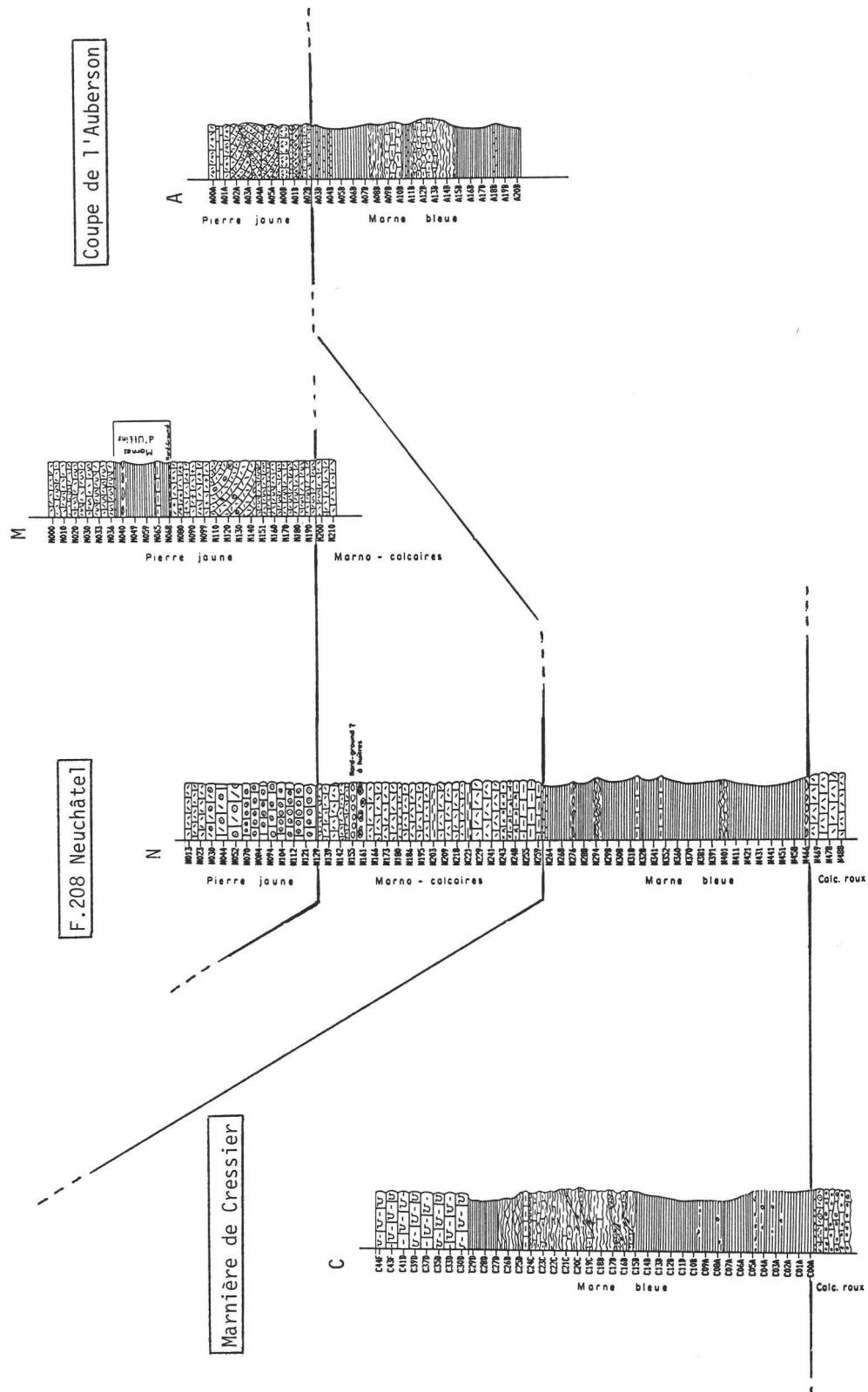


FIG. 1. — Colonnes stratigraphiques des coupes étudiées et leur corrélation.

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.

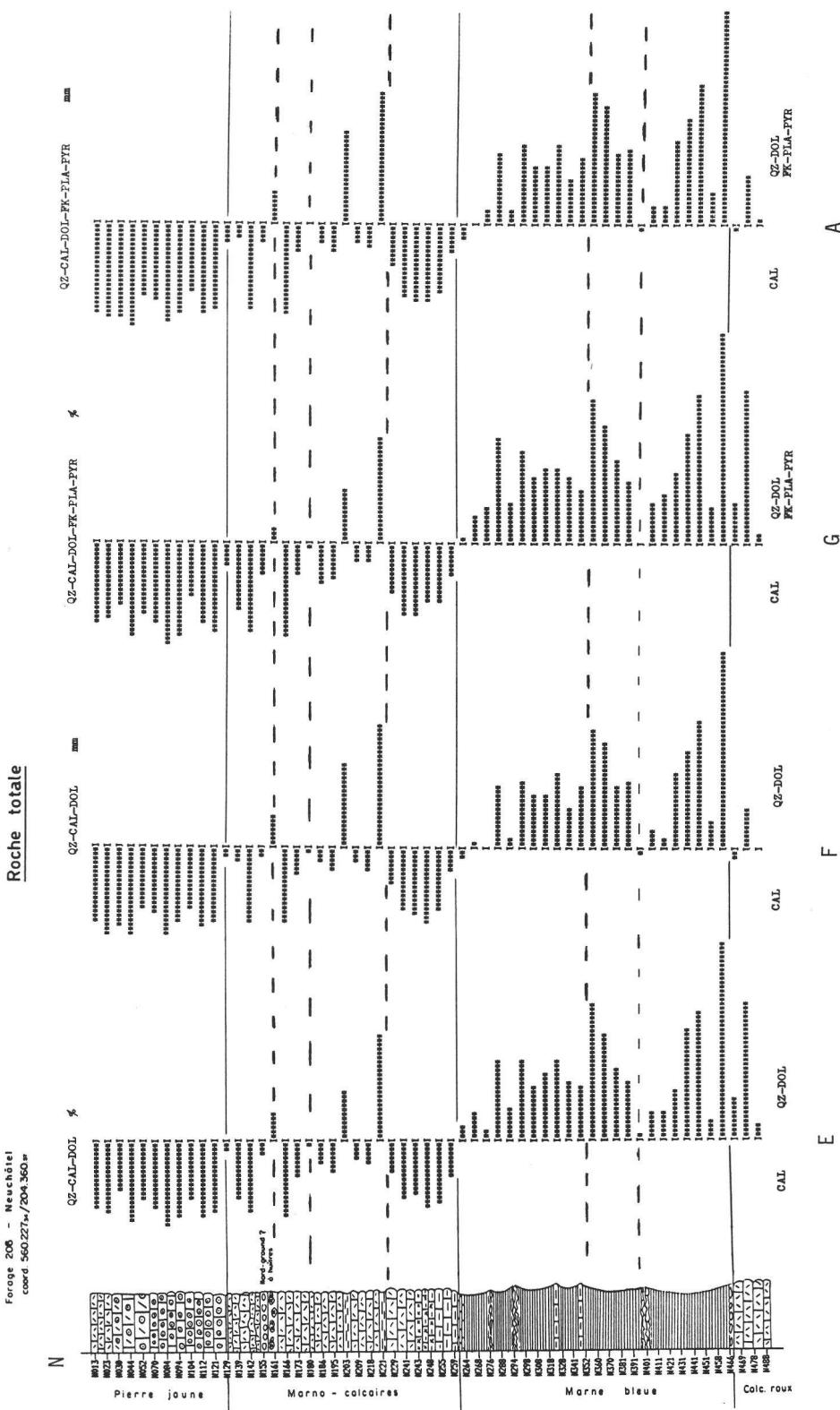


FIG. 2. — Forage F. 208 Neuchâtel (N), roche totale (minéraux en grains). Le nombre qui suit le N indique la côte en [dm].

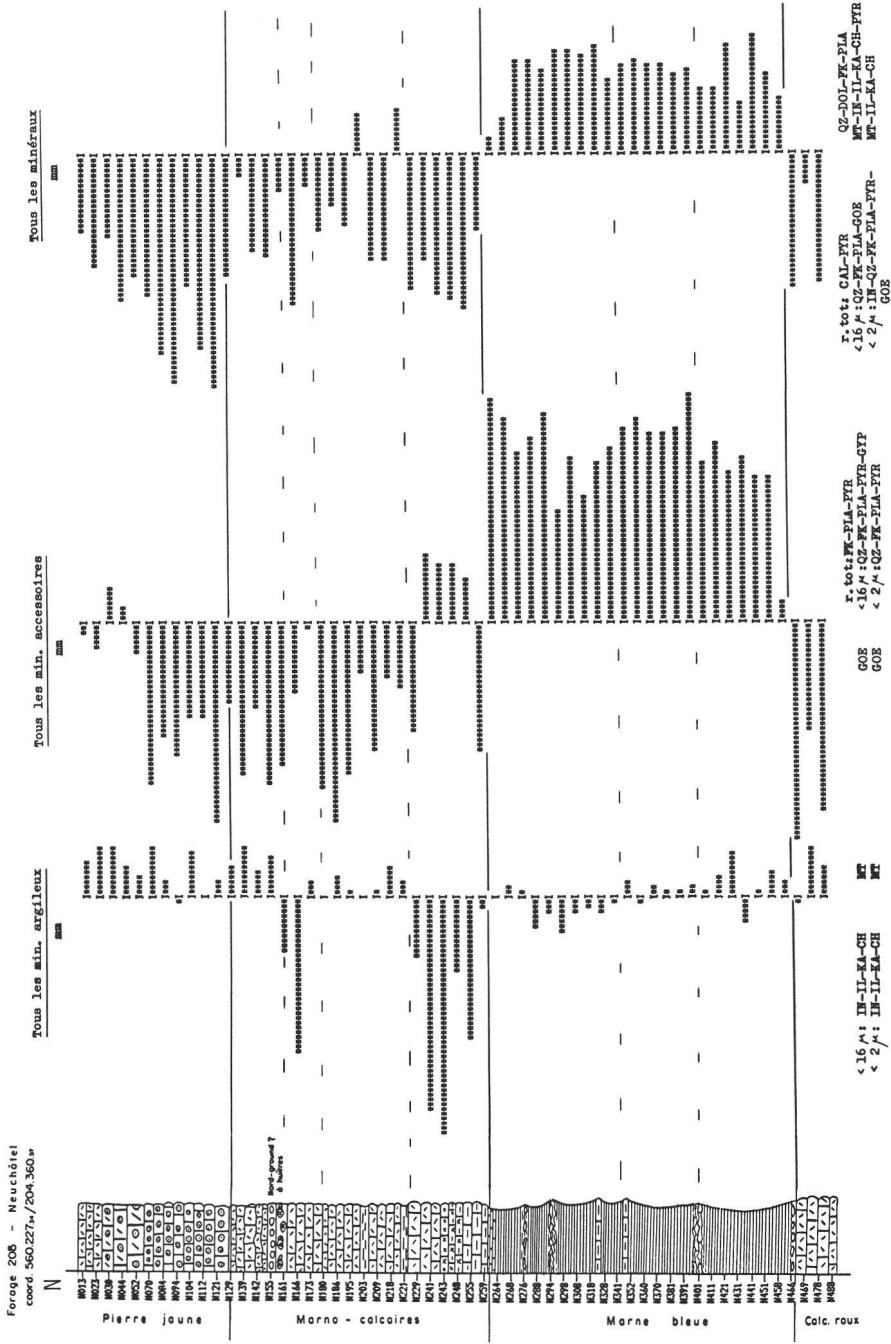


FIG. 3. — Forage F. 208 Neuchâtel (N), essais d'AFc (le nombre qui suit le N indique la cote en [dm]).

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,

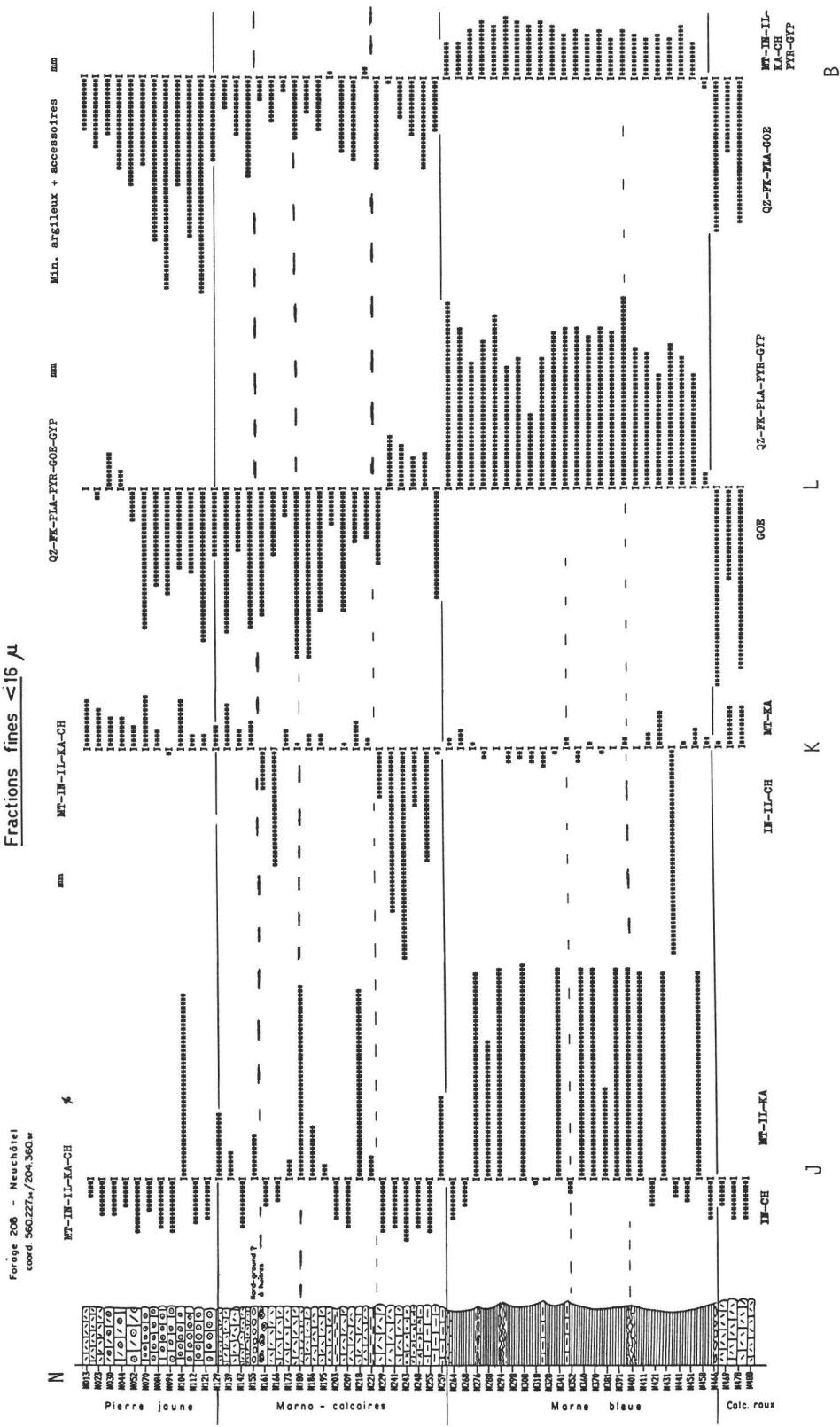


FIG. 4. — Forage F. 208 Neuchâtel (N), fraction fine < 16 µm (le nombre qui suit le N indique la cote en [dm]).

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)

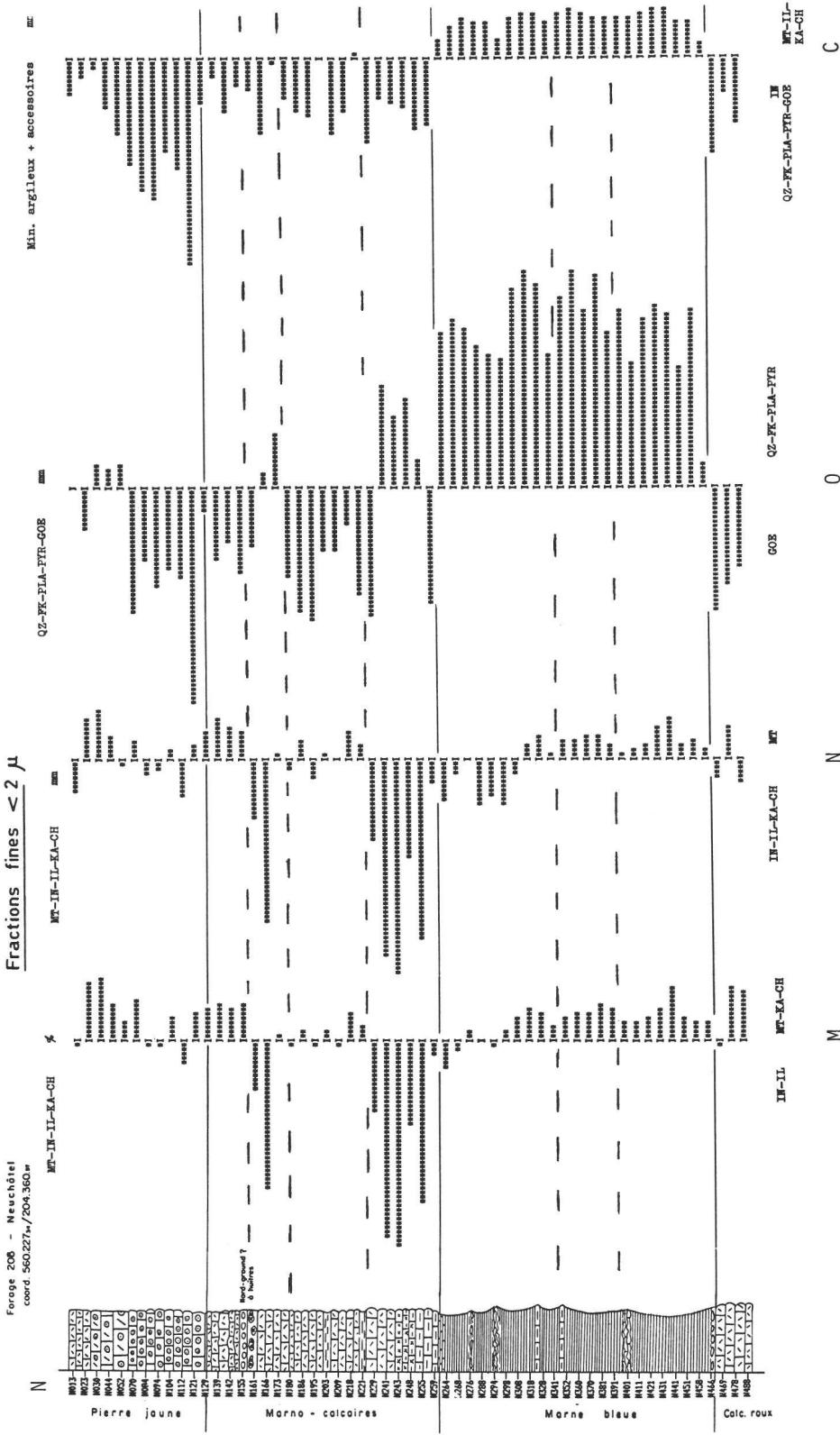
Dans cette fraction, les teneurs en chlorite, en interstratifiés sont plus continues que dans la fraction inférieure à 16 µm. Cependant on ne note que peu de variation dans les proportions d'illite et de smectite dans les trois formations. Cela nous ramène au cas précédent où l'AFC, sur les minéraux 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.

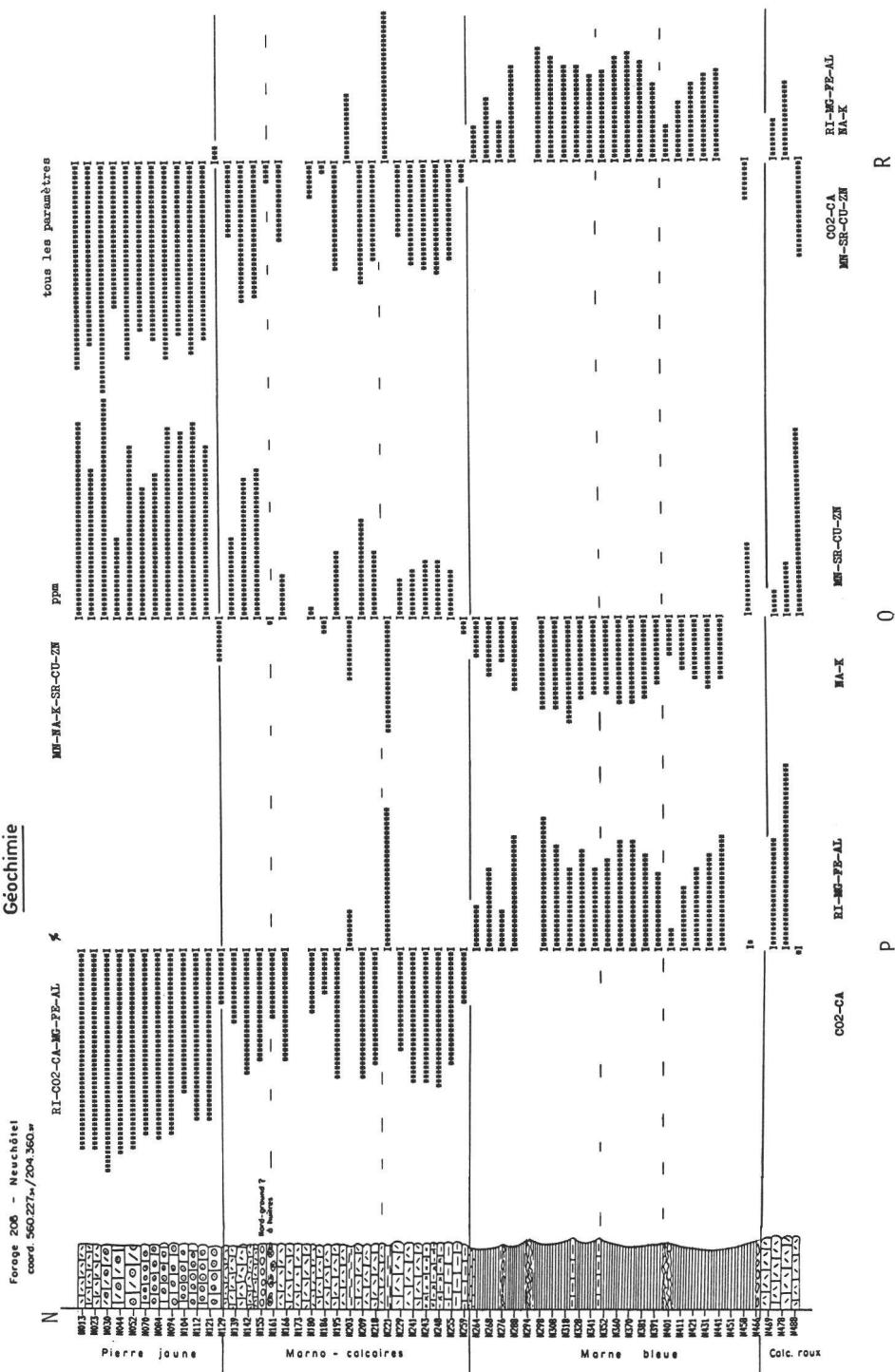


FIG. 6. – Forage F. 208 Neuchâtel (N), géochimie (le nombre qui suit le N indique la côte en [dm]).

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

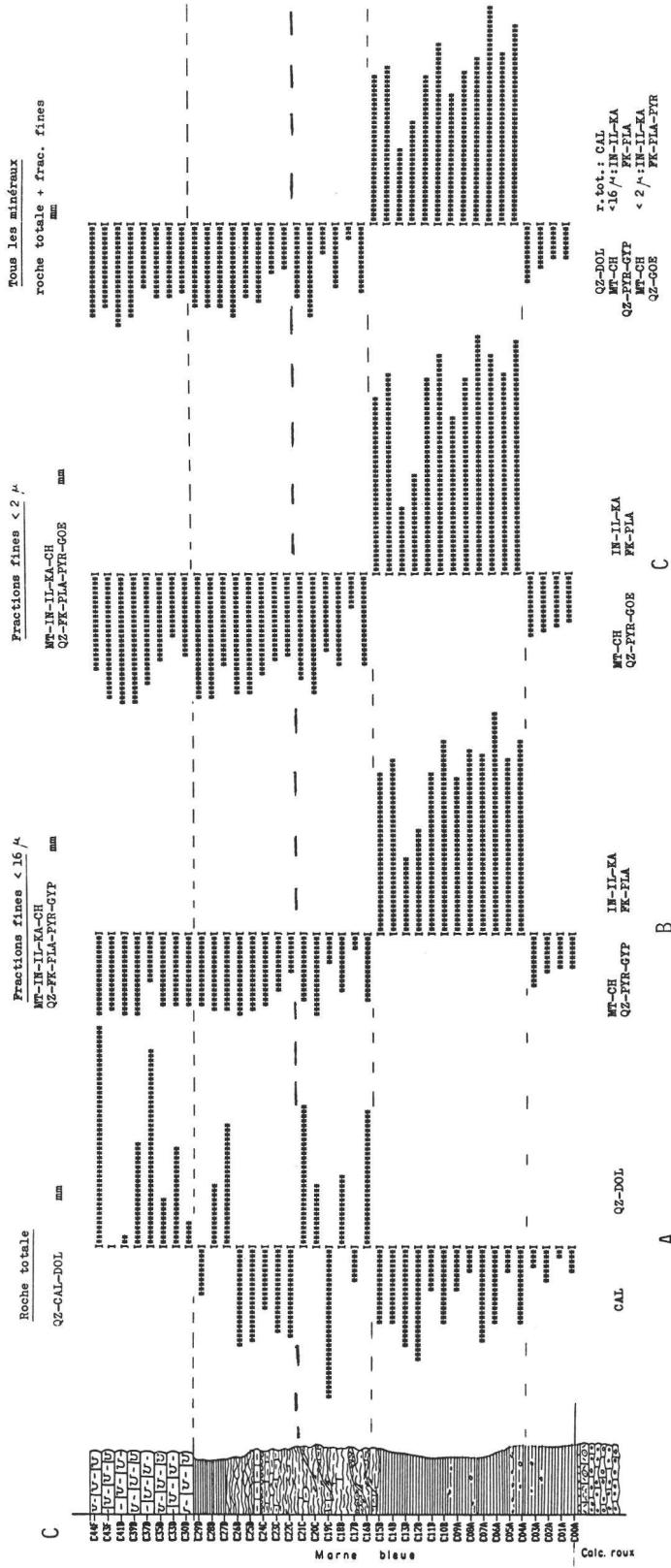


FIG. 7. — Coupe de la marnière de Cressier (C). Le nombre qui suit le N indique la cote en [dm].

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

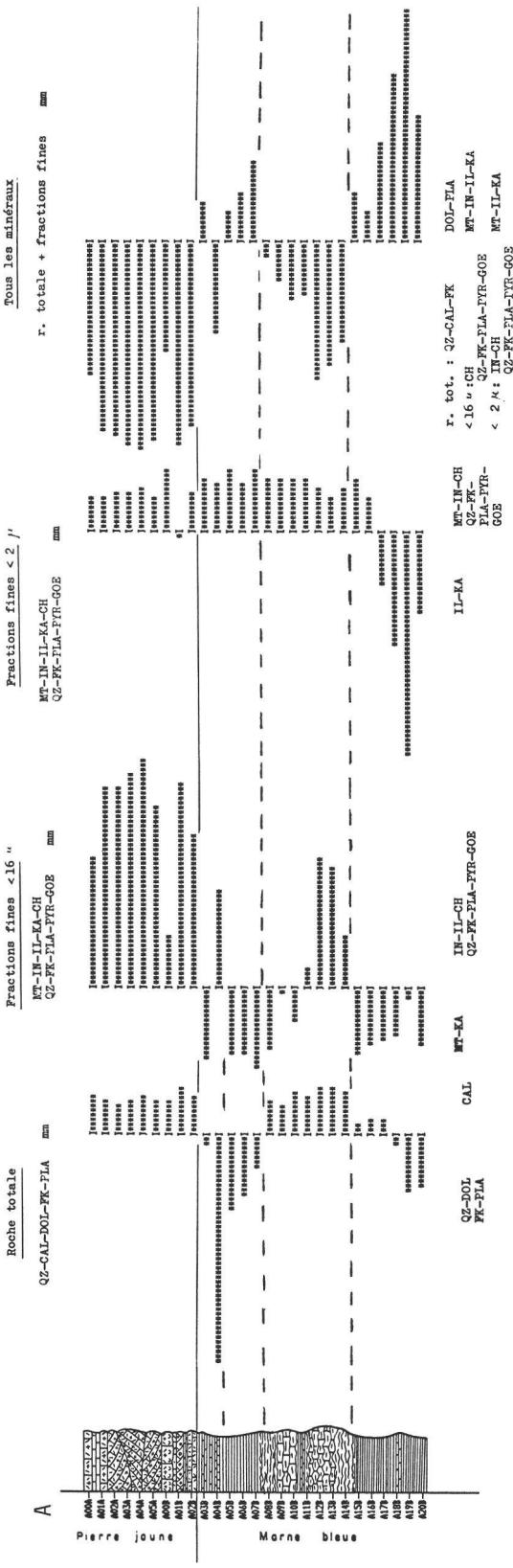
Dans cette carrière, la Marne bleue n'affleure pas. La série débute avec le sommet de la Zone marno-calcaire. La Pierre jaune se présente sous trois séquences: la Pierre jaune inférieure, les Marnes d'Uttins et la Pierre jaune supérieure.

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.

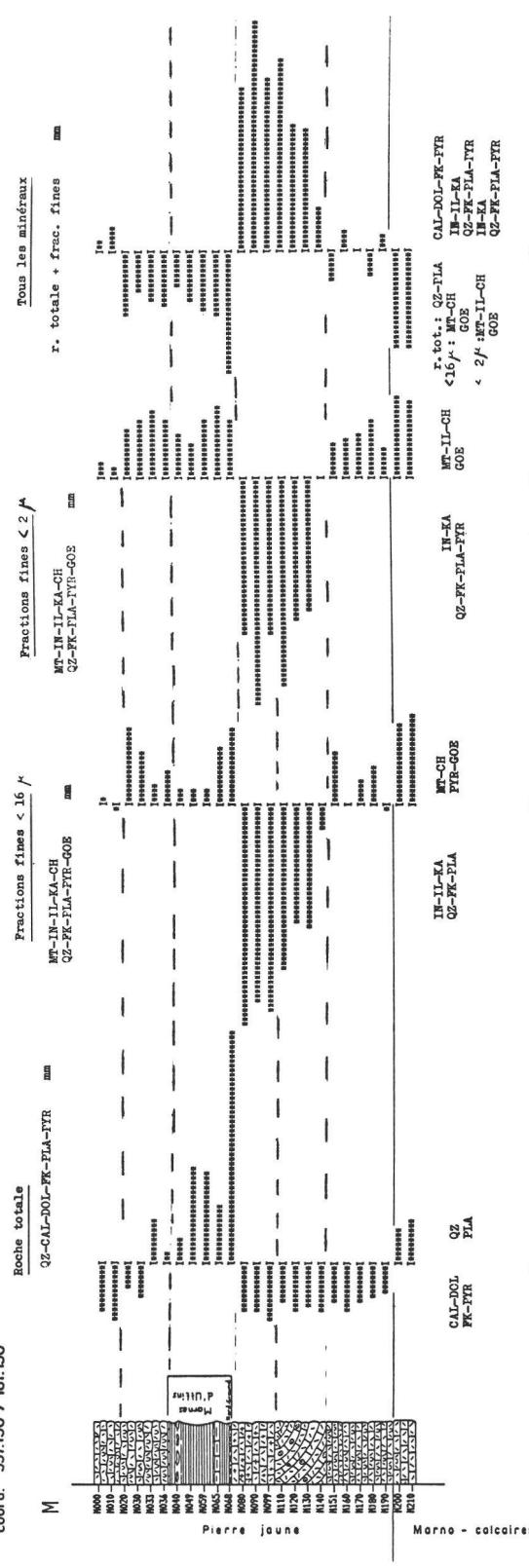
AFC roche totale (fig. 9, colonne A). Dans la Pierre jaune, la séparation des marnes est bien soulignée par l'opposition entre le quartz et le plagioclase d'une part, la calcite, la dolomite, le feldspath K et la pyrite d'autre part. Les contributions des deux échantillons de la Zone marno-calcaire à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



Profil de la Carrière des Utins
Mont de Chamblon, W Yverdon
coord. 537.150 / 181.150



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 <2µm (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 <16µm et <2µm 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	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 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.

<i>Mémoires de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles</i>	Tome XI	p. 101-147, 12 fig., 3 pl.	Neuchâtel, 1989
---	---------	----------------------------	-----------------

IV. PALÉONTOLOGIE ET BIOSTRATIGRAPHIE

LES AMMONITES DE L'HAUTERIVIEN JURASSIEN: RÉVISION DES FAUNES DE LA RÉGION DU STRATOTYPE HISTORIQUE DE L'ÉTAGE HAUTERIVIEN

par

Robert BUSNARDO et Jean-Pierre THIEULAY

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

ABSTRACT.—Type sections of the Hauterivian stratotype have been revisited in addition to some complementary sections from nearby areas. Ammonites stored in different museums (Genève, Lausanne, Neuchâtel, Bâle) have been revised in light of new specimens found in the studied sections.

At **Landeron** and **Cressier** the «Marne bleue» (lit. «blue Marl») corresponds to the Radiatus Zone. The Loryi Zone, which may be in part characterized by the appearance of the genus *Saynella*, begins within the top of this formation and continues within the overlying alternating limestones and marls. The «Pierre jaune» (lit. «yellow Stone»), which ends both basic sections, belongs to the Nodosoplicatum Zone.

At **Valangin** only the basis of marls belongs to the Valanginian. The remainder is Hauterivian.

At **Chamblon** the Nodosoplicatum Zone is evidenced within the «Pierre jaune». At **Sainte-Croix** (ravine of Colas) the first seven metres of the marls are Valanginian in age. Besides, the pyritic ammonite fauna reported to have been found in the «Marnes à bryozoaires» (lit. «bryozoan-bearing Marls») contains *Eodesmoceras celestini* and is probably Albian in age.

The revision of the genus *Acanthodiscus* shows the predominance of the species *A. radiatus* and supports it as zonal index. Among the *Leopoldia* three new taxa are defined: *L. levigata*, *L. remanei* and *L. (Renevierites n. subg.)*. Partial revision of *Saynella clypeiformis* permits to precise its stratigraphical extension. *Lyticoceras claveli* is a new species from the top of the Nodosoplicatum Zone.

In short, the «Marne bleue» and the «Pierre jaune» which build up the stratotypic Hauterivian only represent the Radiatus, Loryi and Nodosoplicatum Zones of the lower Hauterivian.

RÉSUMÉ. — Relevé des coupes stratigraphiques de l'Hauterivien et de quelques coupes complémentaires dans les régions voisines. Révision de leur contenu ammonitique récolté in situ ainsi que des ammonites conservées dans les collections des Musées de Genève, Lausanne, Neuchâtel et Bâle.

Au **Landeron** et à **Cressier** la «Marne bleue» correspond à la zone Radiatus. La zone à Loryi, caractérisée en partie par l'apparition des *Saynella*, existe au sommet de cette formation et dans les marno-calcaires sus-jacents. La «Pierre jaune», qui termine ces deux coupes fondamentales, appartient à la zone à Nodosoplicatum. A **Valangin**, seule la base (0,20 m) des marnes appartient au Valanginien, le reste à l'Hauterivien. Au **Chamblon**, mise en évidence de la zone à Nodosoplicatum dans la Pierre jaune. A **Sainte-Croix** (ravin du Colas), la base des marnes (sur 7 m) appartient au Valanginien supérieur. Par ailleurs, les ammonites pyriteuses, comprenant en particulier *Eodesmoceras celestini*, et rapportées, selon la littérature, aux «Marnes à bryozoaires» du Valanginien, sont très probablement albiennes.

La révision paléontologique du genre *Acanthodiscus* met en évidence l'importance de l'espèce *radiatus* (deux tiers des individus) et confirme la légitimité de son choix en tant qu'index zonal. Parmi les *Leopoldia*, trois nouveaux taxons sont présentés: *L. levigata*, *L. remanei* et *L. (Renevierites n. subgen.)*. La révision partielle de *Saynella clypeiformis* précise son extension stratigraphique. *Lyticoceras claveli* est une nouvelle espèce du sommet de la zone à Nodosoplicatum.

En conclusion, la «Marne bleue» et la «Pierre jaune» de la région stratotypique correspondent uniquement aux zones à Radiatus, Loryi et Nodosoplicatum de l'Hauterivien inférieur.

SOMMAIRE

	Pages
1. INTRODUCTION	103
2. LA RÉGION STRATOTYPIQUE	103
2.1. Le Landeron	103
2.2. Cressier	109
2.3. Hauterive	113
2.4. Neuchâtel	114
2.5. Valangin	115
3. LA RÉGION DE BIENNE	116
3.1. Bienne, Ligerz, Gaicht, Alfermée et Vigneules	116
3.2. Twann (Douanne)	116
4. LES ENVIRONS D'YVERDON	117
4.1. Le Chamblon	117
4.2. Sainte-Croix	118
5. PALÉONTOLOGIE: COMMENTAIRES SYSTÉMATIQUES	122
5.1. Genre <i>Acanthodiscus</i> UHLIG, 1905	122
5.1.1. <i>Acanthodiscus radiatus</i> (BRUG.)	122
5.1.2. <i>Acanthodiscus pseudoradiatus</i> BAUMBERGER	124
5.1.3. <i>Acanthodiscus vaceki</i> (NEUM. & UHL.)	125
5.1.4. <i>Acanthodiscus rebouli</i> KILIAN	126
5.1.5. Remarques phylogéniques	126
5.1.6. Statistiques	126
5.2. Genre <i>Breistrofferella</i> THIEULY, 1971	127
5.3. Genre <i>Leopoldia</i> MAYER-EYMAR, 1887	127
5.3.1. Sous-genre <i>Leopoldia</i> MAYER-EYMAR, 1887	127
5.3.2. Sous-genre <i>Renevierites</i> n. subgen.	132
5.4. Genre <i>Saynella</i> KILIAN, 1910	132
5.4.1. <i>Saynella neocomiensis</i> (BAUMBERGER)	132
5.4.2. <i>Saynella clypeiformis</i> (D'ORB.)	133
5.5. Genre <i>Lyticoceras</i> HYATT, 1900	136
5.5.1. <i>Lyticoceras</i> sp. inc.	136
5.5.2. <i>Lyticoceras</i> aff. <i>salevense</i> (KILIAN)	136
5.5.3. <i>Lyticoceras</i> sp. inc.	137
5.5.4. <i>Lyticoceras</i> sp. juv. gr. <i>cryptoceras</i> (D'ORB.)	137
5.5.5. <i>Lyticoceras claveli</i> n. sp.	137
5.6. Genre <i>Teschenites</i> THIEULY, 1971	140
5.6.1. <i>Teschenites</i> cf. <i>pachydicranus</i> (THIEULY)	140
5.6.2. <i>Teschenites</i> sp. inc.	140
6. CONCLUSIONS	140
6.1. Conclusions paléontologiques	140
6.2. Interprétations stratigraphiques	142
7. BIBLIOGRAPHIE	143

1. INTRODUCTION

La révision du stratotype historique de l'Hauterivien se devait d'être complétée par une meilleure connaissance des ammonites haueriviennes de la région neuchâteloise. En même temps que le lever détaillé des coupes fondamentales ayant servi directement ou indirectement à la définition de l'étage, une exploitation suffisante des différents niveaux a été effectuée afin d'en extraire les fossiles caractéristiques (essentiellement les ammonites et les oursins). Ce sont ces faunes que nous présentons sur les coupes relevées, car elles nous ont permis de mieux en apprécier la signification biostratigraphique.

Cet apport nouveau quant à la valeur chronologique des coupes n'aurait pas été possible sans des références constantes à la succession des espèces d'ammonites rencontrées tant dans le domaine pélagique vocontien que sur les marges hémiplégiques cévenoles, c'est-à-dire là où les phénomènes sédimentaires n'ont que peu d'influence sur la répartition des espèces. C'est à la suite de cette comparaison que l'Hauterivien historique de la région neuchâteloise acquiert une signification biostratigraphique assez différente de celle que les auteurs anciens lui attribuaient.

Dans un deuxième temps, nous avons revu toutes les ammonites (soit près de 500 exemplaires), d'âge Valanginien ou Hauterivien, provenant du Jura franco-suisse et déposées dans les Musées suivants¹:

- Muséum d'Histoire naturelle de Genève;
- Collections de l'Université de Lausanne;
- Collections de l'Université de Neuchâtel;
- Muséum d'Histoire naturelle de Bâle.

Cette recherche a été faite dans le but de connaître l'importance statistique des espèces, de mieux apprécier la valeur des taxons et de mieux connaître la composition des gisements. En même temps nous avons procédé à l'examen critique des données bibliographiques antérieures, essentiellement les travaux de BAUMBERGER. Enfin, l'âge des formations étant ainsi précisé, il devenait désormais possible d'en déduire les variations paléogéographiques dans presque tout le Jura franco-suisse.

¹Nous remercions tout particulièrement Messieurs E. LANTERNO (Genève), M. WEIDMANN (Lausanne), O. RENZ (Bâle) et J. REMANE (Neuchâtel) pour avoir grandement facilité nos recherches.

2. LA RÉGION STRATOTYPIQUE

Les gisements classiques du Landeron, de Cressier, de Neuchâtel, d'Hauterive et de Valangin, représentent la région centrale où furent définis les étages Valanginien et Hauterivien. Seules les coupes du Landeron, de Cressier et de Valangin ont pu être revisées et exploitées.

2.1. Le Landeron

2.1.1. Les faunes d'ammonites récoltées in situ

Au Landeron, quatre coupes détaillées ont été levées et exploitées successivement. Ce sont:

- la coupe du Ruisseau (CR), épaisseur: 3,50 m environ, cf. fig. 5a et texte correspondant de REMANE et al. (ce vol.);
- la tranchée artificielle (FL), épaisseur: 2,50 m environ, cf. fig. 5b dans REMANE et al. (ce vol.).

Dans ces deux coupes, on voit les Calcaires roux, les marnes jaunes et grises et la base des marnes à nodules (= base de la Marne bleue).

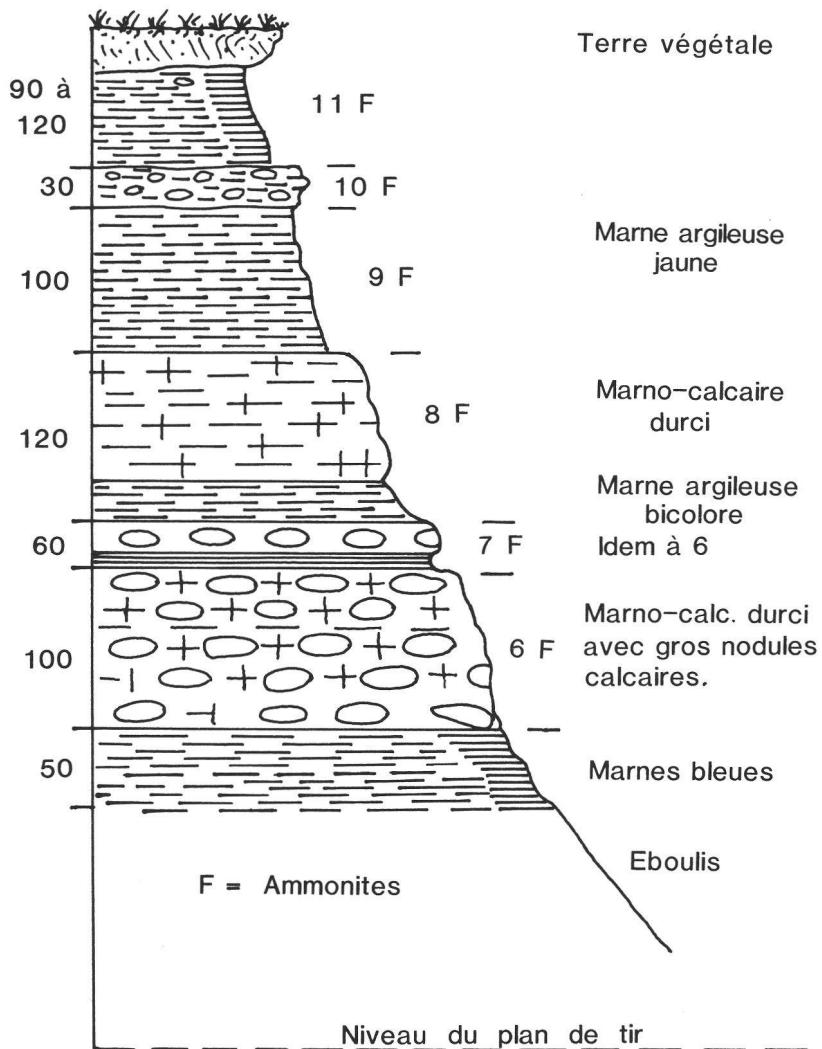


FIG. 1. — Coupe de la butte de tir au pistolet (LP) au Landeron, telle qu'elle apparaît dans l'angle NW du plateau de tir. Légende dans le texte.

- la butte de tir au pistolet, dite à 50 m, (LP), épaisseur visible: 6 m environ, cf. fig. 1. Dans cette coupe on ne voit que la partie moyenne des marnes à nodules (= partie moyenne de la Marne bleue);
- la butte de tir au fusil, dite à 300 m, (LA), épaisseur visible: 10 m environ, cf. fig. 2. On voit ici la partie supérieure des marnes à nodules (= sommet de la Marne bleue) et la partie inférieure de la Pierre jaune, cf. aussi REMANE et al., fig. 3.

Les récoltes d'ammonites correspondant à ces coupes sont portées sur la figure 3 laquelle représente une colonne stratigraphique simplifiée et synthétique de la série hauterivienne du Landeron. La base de la coupe du Ruisseau (CR) et celle de la tranchée artificielle (FL) étant, à peu de choses près, superposables, ont été confondues sur ce litholog.

2.1.1.1. *Le Calcaire roux*

Le Calcaire roux lui-même n'a livré aucune ammonite. Sa surface reste très inorganisée, dissociée en plaques irrégulières intercalées de filets argileux inorientés, de teinte verte, jaune ou lie de vin. Le calcaire est une calcarénite grossière, détritique, à bryozoaires, huîtres, trichites et polypiers isolés.

2.1.1.2. Les marnes jaunes et grises

Une mince couche (0,15 m environ) de marnes plastiques, de teinte jaune ocre, repose directement sur le Calcaire roux, tant dans la coupe du ruisseau (niveau CR1) qu'au bas de la tranchée (niveau FL6). Des marnes grises lui succèdent (niveaux CR2 et FL5). Ces deux couches marneuses ont livré:

* <i>Acanthodiscus vaceki</i> (N. & U.) 2 exemplaires	UN. Tr2 ¹ (pl. 1, fig. 3)
<i>Olcostephanus</i> cf. <i>latiflexus</i> (BBGER)	UN. Tr4
<i>Olcostephanus</i> sp. ind.	UN. Tr6
* <i>Teschenites</i> sp. ind.	UN. Tr3
<i>Cymatoceras pseudoelegans</i> (D'ORB.)	UN. Tr1
* <i>Cymatoceras</i> cf. <i>pseudoelegans</i>	UN. Tr5

Selon les collecteurs, les échantillons marqués d'un astérisque* pourraient provenir des niveaux FL6, FL5 ou FL4. Cependant, l'espèce la plus importante, *A. vaceki*, par sa patine jaune, ne laisse aucun doute sur sa provenance au sein des marnes jaunes (FL6) et non des marnes grises sus-jacentes. Ce niveau de marnes jaunes peut être assimilé à la formation des *Marnes à Astiera*, tant par sa couleur, que par la présence des *Olcostephanus* (= *Astieria*).

2.1.1.3. Les marnes inférieures à nodules (= Marne bleue inférieure)

On les retrouve dans les trois coupes suivantes : la tranchée (FL), le ruisseau (CR) et le stand de tir au pistolet (LP). Cependant, les très mauvaises conditions d'affleurement (FL: couches superficielles glissées et embrouillées, CR: couches en falaise très difficilement exploitables) n'ont permis d'exploiter correctement que la coupe du stand de tir au pistolet (LP), qui se révèle d'ailleurs assez riche en fossiles. On remarquera en outre que les couches à nodules changent rapidement d'aspect d'une coupe à l'autre. Elles ne peuvent être utilisées comme des repères lithologiques permettant les corrélations latérales.

On peut admettre approximativement que la base des marnes à nodules de la coupe du Ruisseau (CR5 et CR9) et celle de la tranchée (FL4 à FL1) sont à peu près équivalentes. Leur faune reste d'ailleurs très pauvre :

CR4: *Leopoldia* gr. *leopoldina* (D'ORB.) (3 fragments) UN.

CR7: *Leopoldia* sp. ind. UN.

La base des marnes à nodules de la coupe du tir au pistolet (LP) reste enfouie sous des éboulis marneux. Il est très vraisemblable que les premiers niveaux exploités (LP5, LP6...) sont situés au-dessus des derniers niveaux repérés dans les coupes du Ruisseau (CR) et de la tranchée (FL), ainsi que l'indique la figure 3.

Coupe du tir au pistolet, de bas en haut (fig. 1):

LP5 — marnes gris-bleu sans macrofaune (0,50 m visible mais > 3 m au total).

LP6 — marno-calcaires durcis englobant de gros nodules jaunâtres tachetés de rouille (1 m). Faune riche en pholadomyes, limes et gastéropodes.

Ammonites :

Acanthodiscus pseudoradiatus BBGER FSL 109641.

Acanthodiscus radiatus (BRUG.) FSL 109639, 109647, 109648

Acanthodiscus sp. ind. FSL 109643 à 109646

Leopoldia leopoldina (D'ORB.) FSL 109640, 109649 et UN. BT 13

Leopoldia sp. ind. FSL 109641 et 109650

LP7 — marne bleue argileuse avec quelques nodules au sommet (0,60 m).

Lamellibranches et gastéropodes.

Acanthodiscus radiatus FSL 109653

Acanthodiscus pseudoradiatus juv. UN. BT 12

Leopoldia leopoldina FSL 109654

¹UN. = récoltes déposées à l'Université de Neuchâtel.

FSL = récoltes déposées à l'Université de Lyon.

- LP8 — marne argileuse suivie de marno-calcaires durcis, presque dépourvus de nodules (1,20m).
Acanthodiscus radiatus FSL 109651 et UN. BT5
Acanthodiscus pseudoradiatus UN. BT2
Leopoldia gr. *leopoldina* FSL 109652 et FSL 109656 à 109658
- LP9 — marne argileuse brune (1,00m)
Acanthodiscus radiatus FSL 109661 et UN. BT6
Acanthodiscus pseudoradiatus UN. BT1 et BT4
Leopoldia leopoldina UN. BT3
Cymatoceras pseudoelegans UN. BT6
- LP10 — marne riche en petits nodules (0,30m)
Acanthodiscus radiatus UN. BT11
Acanthodiscus sp. ind. UN. BT7, BT8 et BT9
Leopoldia gr. *leopoldina* FSL 109660
- LP11 — marne argileuse jaunâtre à petits nodules épars (1,20m)
Acanthodiscus radiatus FSL 109659
Cymatoceras pseudoelegans FSL 109665

2.1.1.4. Les marnes supérieures à nodules (Marne bleue supérieure)

Elles affleurent au bas de la coupe du tir au fusil (LA), fig. 2, (cf. aussi Remane et al., fig. 3, ce vol.)

Il existe un hiatus, entre le sommet de la coupe du tir au pistolet et la base de la coupe du tir au fusil, dont l'importance n'est pas mesurable sur le terrain en raison de la structure faillée du secteur. On peut cependant être certain que les coupes telles qu'elles sont présentées sur la figure 3 se succèdent et ne sont pas chevauchantes.

Succession de bas en haut (fig. 2):

- LA1 — marnes grises à nodules dispersés, sans ammonites (>3 m).
LA2 — marnes grises plus compactes, riches en pholadomyes et rhynchonelles (1,50m).
Acanthodiscus pseudoradiatus FSL 109667
Leopoldia leopoldina FSL 109672
Leopoldia sp. ind. FSL 109663
- LA3
à 5 — marno-calcaires gris à nombreux nodules (2,00m) toujours riches en mollusques: pholadomyes, trigonies, exogyres, etc.
Breistrofferella varappensis (BBGER) FSL 109677 (au sommet de LA5)
- LA6 — petit niveau marneux suivi de marno-calcaires jaunâtres à nodules riches en bivalves, avec:
Leopoldia leopoldina FSL 109665
Leopoldia buxtorfi (BBGER) FSL (pl. 2, fig. 2)

2.1.1.5. La Zone marno-calcaire

Ce faciès, apparenté à la «Pierre jaune» par sa couleur, mais correspondant à la Zone marno-calcaire, affleure en falaise, au sommet de la coupe du tir au fusil (LA, fig. 2).

LE LANDERON

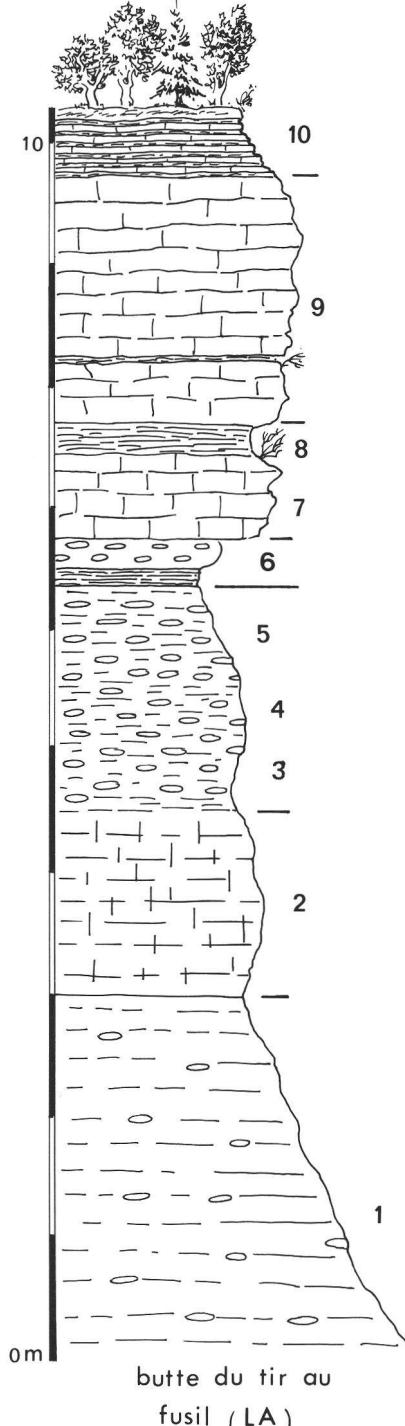


FIG. 2. — Coupe de la butte de tir au fusil (LA) au Landeron. Niveaux 1 à 6 = Marnes supérieures à nodules. Niveaux 7 à 10 = Zone marno-calcaire. Légende dans le texte.

LA7 — calcaires jaunes à bancs onduleux (0,70m). Nombreux terriers remplis de glauconie, à la base : *Saynella neocomiensis* (BBGER) FSL 109678 à 109681

Il faut y ajouter deux autres exemplaires (FSL 109683 et 109684) provenant des mêmes niveaux, mais situés immédiatement derrière une carrosserie*.

LA8 — marnes jaunâtres à nodules calcaires (0,25m).

LA9 — calcaires jaunes à bancs onduleux et minces joints schistoïdes (2,00m).

LA10 — marno-calcaires jaunâtres (0,50m).

C'est vraisemblablement de ce dernier niveau que provient le *Lyticoceras* sp. ind., déposé au Muséum de Genève (pl. 3, fig. 3).

2.1.2. La répartition des ammonites

La figure 3 donne la répartition en nombre des espèces d'ammonites sur l'ensemble de la série du Landeron. Le niveau basal (LA6) de marnes jaunes situées immédiatement au-dessus du Calcaire roux semble représenter une condensation de formes dont la fréquence est prépondérante dans le Valanginien terminal (*Olcostephanus* et *Teschenites*) et d'espèces hauerivienne caractéristiques (*Acanthodiscus vaceki*).

Il est bon de noter aussi que les *Olcostephanus* et les *Teschenites* sont des ammonites habituellement pélagiques, ce qui suggère une franche transgression marine à la fin du Valanginien, ou du moins une large ouverture de la mer à ce moment-là.

Dans les marnes inférieures à nodules (butte du tir au pistolet) abondent les représentants des genres *Acanthodiscus* (22 exemplaires) et *Leopoldia* (12 exemplaires). Aucun autre genre d'ammonite ne coexiste avec eux. Par contre, la faune benthique de lamellibranches, gastéropodes... reste presque partout abondante. L'espèce dominante *A. radiatus*, apparue brutalement en LP6, persiste jusqu'en LP11 mais n'a pas été retrouvée dans la coupe du tir au fusil (LA). Par contre, *Leopoldia leopoldina*, apparue en même temps que la précédente, persiste dans les marnes du tir au fusil.

C'est au début du faciès jaune de la Zone marno-calcaire que la faune ammonitique se renouvelle par l'apparition brutale des *Saynella neocomiensis*.

Cette évolution globale de la faune ammonitique dans la série du Landeron reflète assez bien ce que l'on connaît dans toutes les autres coupes de l'Hauerivien inférieur, les différences étant surtout d'ordre paléoécologique.

2.1.3. Les faunes conservées dans les collections

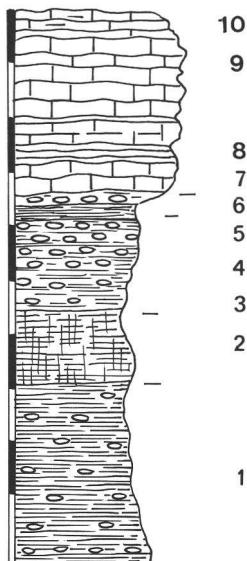
Dans les Musées de Genève, Lausanne, Neuchâtel et Bâle, on retrouve d'assez nombreuses ammonites provenant du Landeron. Nous n'en donnons ici que la liste globale, après redétermination :

Espèces	Nombre d'exemplaires
<i>Acanthodiscus radiatus</i>	13
<i>A. pseudoradiatus</i> (+ « ottmeri »)	7
<i>A. vaceki</i>	1
<i>A. bernensis</i>	1
<i>Leopoldia leopoldina</i>	2
<i>L. buxtorfi</i>	1
<i>L. incerta</i>	1
<i>L. levigata</i>	1
<i>Saynella neocomiensis</i>	2
<i>Breistrofferella castellanensis</i>	3
<i>Lyticoceras</i>	1
<i>Teschenites</i>	1
<i>Olcostephanus rigidus</i>	1

* Nous remercions le propriétaire M. Pozzo qui a bien voulu nous céder ces exemplaires.

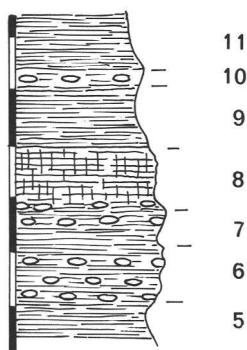
LANDERON

Tir au Fusil (LA)



- Olcostephanus cf. latiflexus*
Olcostephanus sp. ind.
Teschenites sp.
Acanthodiscus vaceki

Tir au Pistolet (LP)



- Acanthodiscus pseudoradiatus*
Acanthodiscus sp. ind.
Acanthodiscus radiatus
Leopoldia leopoldina
Leopoldia gr. leopoldina
Leopoldia sp. ind.
Leopoldia buxtorfi
Saynella neocomiensis
Breistrofferella cf. varappensis

Tranchée (FL)

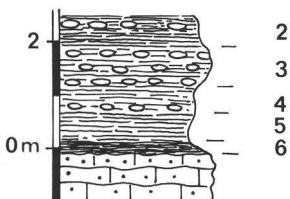


FIG. 3. — Série du Landeron et répartition des ammonites. Les points représentent un exemplaire; les rectangles représentent 2 à 4 exemplaires en fonction de leur taille.



FIG. 4. — Vue d'ensemble de la marnière de Cressier. Les numéros correspondent au texte. La carrière est envahie par la végétation. On voit encore les Calcaires roux (1), la partie inférieure des Marnes bleues (2 à 8), l'écailler tectonique, la partie supérieure des Marnes bleues (10 à 14) répétées deux fois par faille et les Marno-calcaires (15).

Du niveau basal doivent provenir le *Teschenites* sp. (coll. Pictet, Genève, MG 887) et *Olcostephanus rigidus* (UN. A45).

La faune à *Acanthodiscus* et à *Leopoldia* est abondante et plus variée que celle que nous avons recueillie. Il est vrai que nos récoltes effectuées en quelques heures ne peuvent refléter la composition statistique réelle de la faune (cf. p. 127 de ce texte).

Un échantillon est par contre particulièrement intéressant: *Lyticoceras* sp. (collection Pictet, Musée de Genève, MG 1 887). Le faciès calcaire jaunâtre signe sa provenance incontestable des marno-calcaires vraisemblablement du niveau LA10. Cette forme confirme, avec les *Saynella neocomiensis*, la présence de la zone à *Nodosoplicatum* dans la Zone marno-calcaire du Landeron.

Notons également qu'une ammonite de la collection Pictet (Muséum de Genève, MG 1 886) provenant du Landeron, antérieurement déterminée «*Neocomites neocomiensiformis*» (UHLIG) est en réalité un *Acanthodiscus pseudoradiatus* BBGER (pl. 2, fig. 1).

2.2. Cressier

Il n'est pas aisément de suivre la succession stratigraphique des couches de la marnière de Cressier. D'une part c'est une ancienne carrière abandonnée, envahie par la végétation, quoique l'essentiel de la falaise demeure

encore visible. D'autre part, la succession des couches est entrecoupée de failles, avec coins effondrés et répétition de niveaux (cf. REMANE et al., ce vol.) La figure 4 montre l'état actuel du front de la carrière, un peu simplifié, mais permettant de se repérer sur le terrain. On y voit de gauche à droite, la première partie de la coupe (niveau 1 à 8), la brèche d'effondrement, les niveaux 10 à 14, un système de failles et enfin la partie supérieure de la coupe, répétant les niveaux 10 à 14, mais se poursuivant au-delà des marno-calcaires 15.

La succession stratigraphique correcte est présentée dans la figure 5.

2.2.1. La série stratigraphique et le contenu ammonitique (fig. 5)

- 1 — La surface du Calcaire roux, altérée et disloquée, a été abondamment et plusieurs fois exploitée. Quelques bivalves et quelques oursins ont été récoltés, mais aucune ammonite. Rappelons cependant que BAUMBERGER a trouvé un *Acanthodiscus radiatus*, déposé au Musée de Bâle, N° 2418 et sur lequel est inscrit «direkt über dem limonit, Astieria zone?».
- 2 — Les marnes gris-bleu (3,50m) avec deux niveaux indurés sont pauvres en fossiles: quelques oursins et à la base un exemplaire de *Teschenites* sp. ind. UN. C19.
- 3 — Marnes grises à nodules marno-calcaires serrés (1,20m).
- 4 — Marnes grises comportant un horizon nodulifère (1,15m) avec:
Acanthodiscus pseudoradiatus FSL 109 703
Acanthodiscus pseudoradiatus juv. FSL 109 702
- 5 — Marnes gris-bleu avec deux bancs nodulifères (2,15m) avec:
Acanthodiscus radiatus FSL 109 697
Leopoldia leopoldina FSL 109 700 et 109 701
L. levigata FSL 109 699
L. gr. leopoldina FSL 109 698
Leopoldia sp. ind. FSL 109 704
- 6 — Marno-calcaires riches en nodules (1,20m).
- 7 — Marnes gris-bleu (2,90m) avec un niveau à nodules ayant donné:
Acanthodiscus radiatus FSL 109 695
Leopoldia aff. *leopoldina* FSL 109 696
- 8 — Marnes gris-bleu à petit nodules denses.
- 9 — Ecaille tectonique.
- 10 — Marnes à nodules identiques à 8 (1,00m)
Leopoldia sp. ind. UN. C6 et UN. C7.
- 11 — Marnes grises à rares petits nodules dispersés (> 2,00m)
Leopoldia leopoldina UN. C3.
- 12 — Marno-calcaires durcis à nodules serrés (1,00m) suivis d'un niveau marneux (0,30m). Riche en bivalves, rhynchonelles et serpules coloniales, gastéropodes.
Saynella neocomiensis FSL 109 687, 109 711, 109 712
Saynella clypeiformis (D'ORB.) FSL 109 686, (pl. 2, fig. 2)
Leopoldia leopoldina FSL 109 685
- 13 — Banc dur de calcaire gris à surface corrodée et glauconieuse (0,40 m)
Cymatoceras pseudoelegans FSL 109 688.

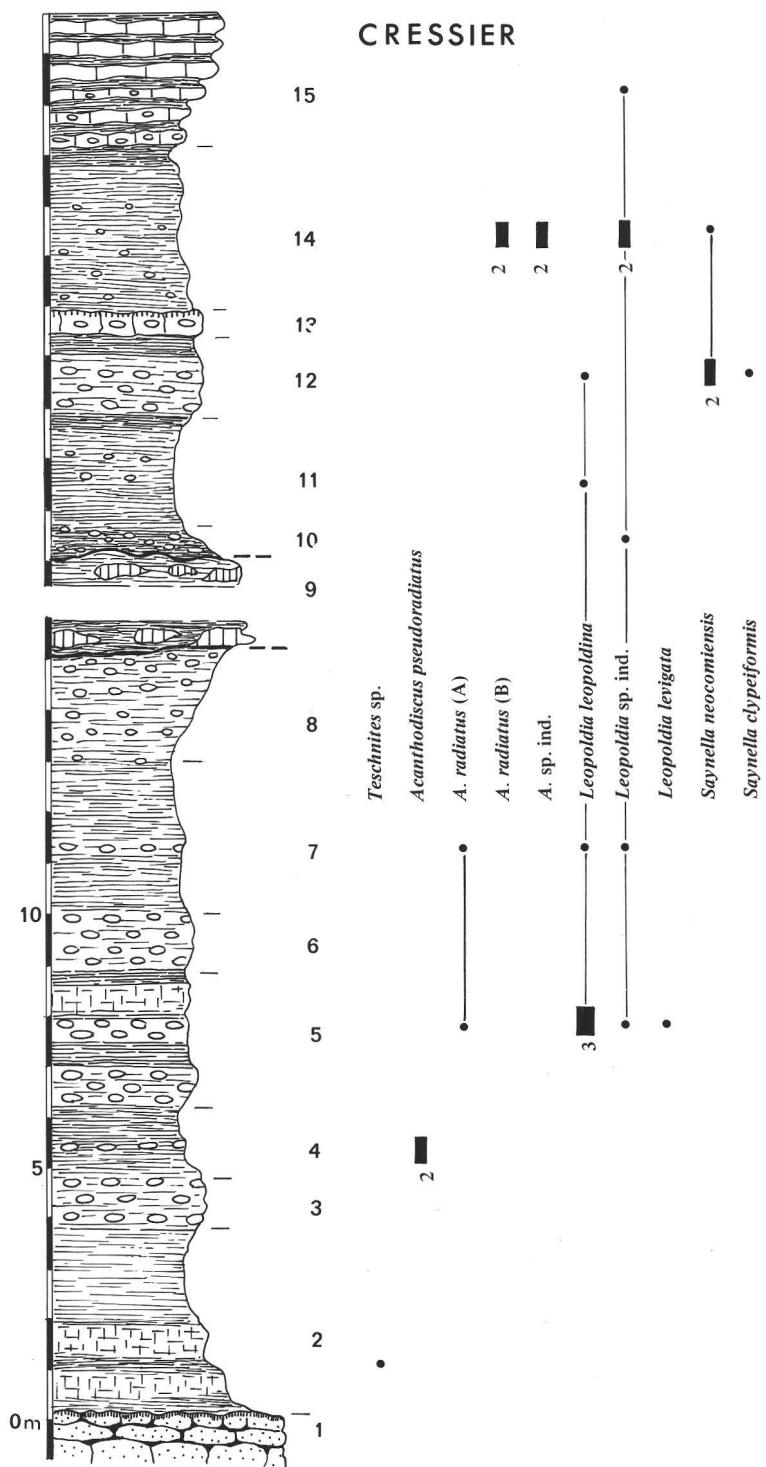


FIG. 5. — Série de Cressier et répartition des ammonites. Légende lithologique dans le texte.

- 14 — Marnes gris-bleu à rares petits nodules dispersés (4,30 m).
Acanthodiscus radiatus (morphotype B), UN. C1 et C8 (pl. 1, fig. 1, 2)
Acanthodiscus sp. ind., UN. C9 et C18
Leopoldia sp. ind., UN. C14 et C2
Saynella neocomiensis, UN. C5.
- 15 — Début des alternances marnes grises et calcaires jaunâtres (> 9,00 m)
Leopoldia sp. ind. FSL 109694
Un *Cymatoceras pseudoelegans* FSL 109899 provient de la base de la Zone marno-calcaire.

2.2.2. La répartition des ammonites in situ

La quantité des espèces récoltées reste trop faible pour obtenir une répartition statistique fiable. Le contenu ammonitique global (fig. 5) est bien moindre que celui de la coupe du Landeron malgré une exploitation tout aussi intense. La sédimentation de Cressier est sans doute moins condensée.

La base des marnes appartiendrait déjà à l'Hauterivien en raison de l'*A. radiatus* signalé par BAUMBERGER. L'influence du Valanginien terminal au sommet du Calcaire roux semble moins évidente ici qu'au Landeron. La répartition des *Acanthodiscus* suggère que les premières formes, dérivées des *Teschenites*, seraient des *A. pseudoradiatus*. Mais il faut signaler les deux *A. radiatus*, morphotype B, qui persistent très haut, après l'apparition des premières *Saynella*.

Le début des *Saynella*, ici comme au Landeron, paraît être un fait brutal. Ceci laisse supposer que les niveaux 12-13 pourraient être l'équivalent du niveau LA7 du Landeron. Mais cette hypothèse mériterait d'être confirmée par des récoltes en quantité plus significative.

2.2.3. Les faunes conservées dans les collections

Les riches collections d'ammonites des Musées de Genève, Lausanne, Neuchâtel et Bâle et provenant de Cressier, contiennent les espèces suivantes :

Espèces (déterminations revues)	Nombre d'exemplaires
<i>Acanthodiscus radiatus</i>	86
<i>A. pseudoradiatus</i> (+ « ottmeri »)	16
<i>A. vaceki</i> (et cf.)	3
<i>A. rebouli</i>	3
<i>Leopoldia leopoldina</i> (et cf.)	8
<i>L. buxtorfi</i>	2
<i>L. sp.</i>	1
<i>L. levigata</i> (et aff.)	4
<i>Saynella neocomiensis</i>	2
<i>Breistrofferella castellanensis</i> (et cf.)	10
<i>Olcostephanus atherstoni</i>	2
<i>O. rigidus</i> (et cf.)	2
<i>O. cf. filosus</i>	1
<i>Teschenites</i> cf. <i>pachydicranus</i>	1

La prédominance des *Acanthodiscus* est tout aussi éclatante qu'au Landeron. Par contre, nous n'avons trouvé aucune *Breistrofferella*, alors qu'une dizaine d'exemplaires existent dans les collections. Si l'on se réfère à la coupe du Landeron, ces formes devraient se récolter dans les couches 8 à 11, lesquelles, difficiles d'accès, et perturbées tectoniquement, ont été peu exploitées.

Les cinq *Olcostephanus* et le *Teschenites pachydicranus* suggèrent que les Marnes à *Asteria* étaient peut-être visibles autrefois.

VALANGIN

(stratotype)

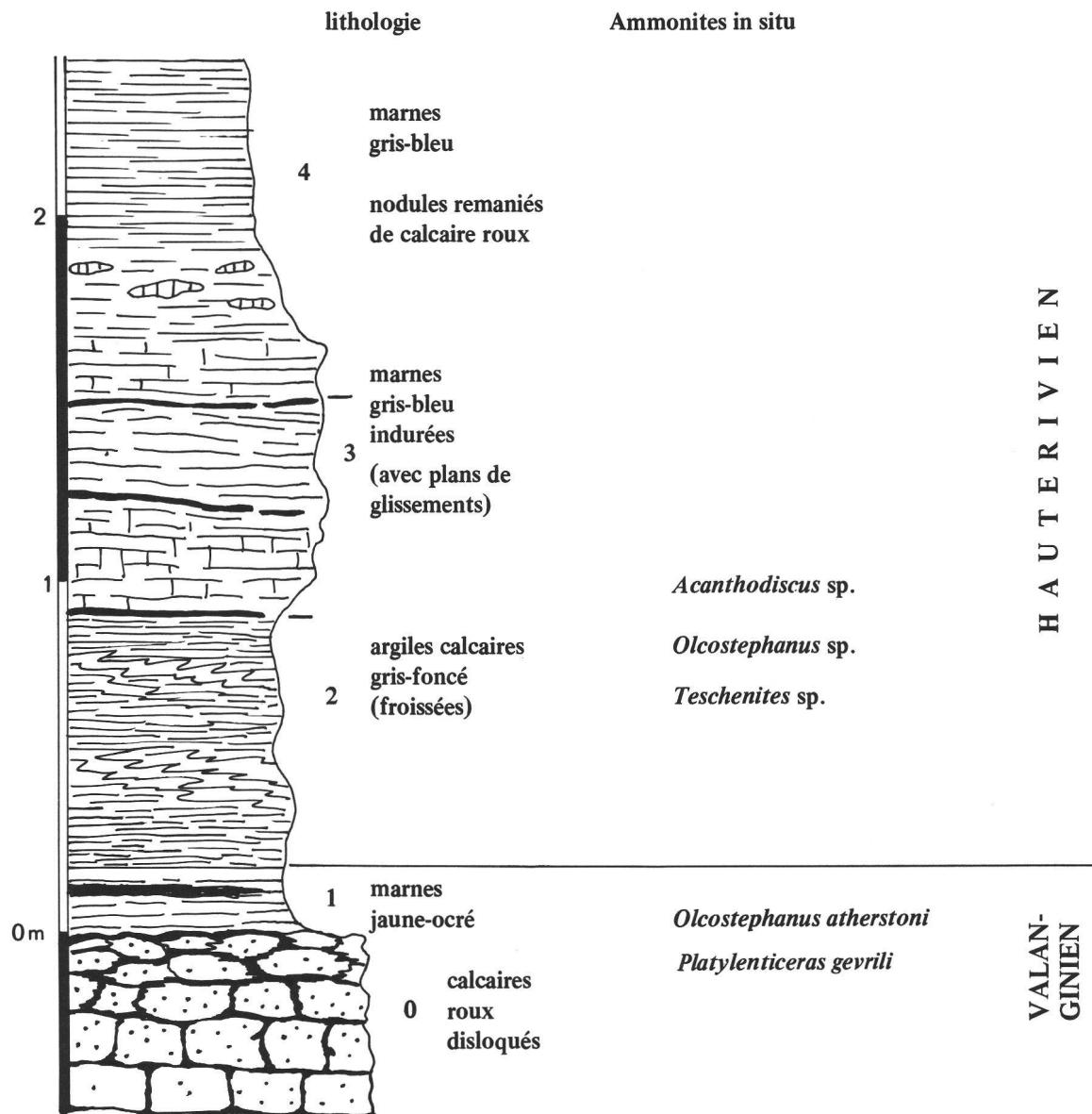


FIG. 6. — Base de la coupe stratotypique de Valangin et ammonites récoltées *in situ*. Légende dans le texte.

2.3. Hauterive

Nous avons trouvé peu d'ammonites dans les quatre collections précitées dont la provenance «Hauterive» est clairement indiquée. En voici la liste après d'éventuelles redéterminations:

Espèces	Nombre d'exemplaires
<i>Acanthodiscus radiatus</i>	7
<i>A. pseudoradiatus</i> (+ « ottmeri »)	4
<i>A. sp. juv.</i>	2
<i>Leopoldia leopoldina</i>	4
<i>L. buxtorfi</i>	3
<i>L. levigata</i>	4
<i>L. sp. juv.</i>	1
<i>Saynella hoplitoides</i>	1
<i>S. neocomiensis</i>	2
<i>Breistrofferella castellanensis</i>	6
<i>B. sp. inf.</i>	1
<i>Teschenites</i> sp.	3

Malgré les trois exemplaires du genre *Teschenites*, dont on sait qu'il persiste jusque dans l'Hauterivien, il n'est pas certain que le Valanginien terminal soit représenté à Hauterive, du moins par ses faunes. Comme à Cressier, l'Hauterivien inférieur est bien caractérisé; il s'agit des zones à *Radiatus* et à *Loryi*, celle-ci étant signalée par les *Saynella*.

2.4. Neuchâtel

Il n'existe plus de coupe continue et complète de l'Hauterivien à Neuchâtel, c'est pourquoi les données historiques et l'étude du sondage 208 sont particulièrement précieuses (REMANE et al., ce vol.).

Le sommet des Marnes bleues est encore visible à l'Est de la gare, où quelques fragments de *Leopoldia* ont été trouvés, et à l'entrée SW du tunnel de la nouvelle route nationale, où B. CLAVEL a découvert: *Acanthodiscus* sp. FSL 109 705 et 109 709, *Leopoldia* sp. FSL 109 706 et *Crioceratites?* FSL 109 714 (cf. aussi fig. 9 de REMANE et al., ce vol.).

L'essentiel des faunes que nous avons revues dans les collections de Neuchâtel, Bâle, Lausanne et Genève, provient de l'affleurement de la gare. Cependant sur quelques ammonites sont indiquées d'autres provenances: «environs de Neuchâtel, Le Château, rue des Terreaux, Pont de l'Ecluse, Saint-Imier», etc. En voici la liste globale:

Espèces	Nombre d'exemplaires
<i>Acanthodiscus radiatus</i>	26
<i>A. pseudoradiatus</i> (+ « ottmeri »)	6
<i>A. vaceki</i>	2
<i>A. wallrathi</i>	1
<i>A. juv. var. stenonotus</i>	1
<i>A. bernensis</i>	1
<i>A. sp. ind.</i>	2
<i>Leopoldia leopoldina</i>	4
<i>L. levigata</i>	2
<i>L. remanei</i> (= <i>frantzi</i> KIL.)	1
<i>Renevierites renevieri</i>	1
<i>Saynella neocomiensis</i>	1
<i>Breistrofferella castellanensis</i>	7
<i>Olcostephanus atherstoni</i> (et cf.)	6
<i>O. filosus</i>	3
<i>O. leptoplanus</i>	3
<i>O. rigidus</i>	1
<i>O. sp. juv.</i>	2

Espèces	Nombre d'exemplaires
<i>Neolissoceras grasianum</i>	1
<i>Neocraspedites</i> sp.	2
<i>Neohoploceras</i> sp.	1
<i>Parastieria</i> sp.	1

La majeure partie de cette faune appartient à l'Hauterivien inférieur, zone à *Radiatus*. La zone à *Loryi* existe également ainsi qu'en témoignent *Saynella neocomiensis* et probablement *Renevierites renevieri*. Le Valanginien supérieur existe aussi en raison de la présence des *Neohoploceras*, *Neocraspedites* et vraisemblablement tous les *Olcostephanus*. On notera, ici également, l'approfondissement de la mer au Valanginien supérieur, laissant arriver les *Olcostephanus* et les *Neolissoceras*, mais aussi des formes boréales comme les *Neocraspedites*.

2.5. Valangin

La description lithologique détaillée de ce gisement stratotypique célèbre est précisée par ailleurs (ce vol., REMANE et al. fig. 7). Nous n'insisterons ici que sur la composition ammonitique (fig. 6).

2.5.1. Les ammonites *in situ*

La figure 6 rappelle la succession lithologique de la base de la coupe.

- VA0 — calcaires roux disloqués, à nodules encroûtés et infiltrés de marnes jaunes. Nombreux bivalves et gastéropodes FSL 109607 à 109611 et *Platylenticeras gevrili* (D'ORB). FSL 109606.
- VA1 — marne jaune ocree (0,20m), avec lentille d'argile noirâtre.
Olcostephanus atherstoni (Sharpe) FSL 109617
- VA2 — argiles calcaires gris sombre, souvent froissées (0,70m).
Olcostephanus sp. ind. FSL 109618
Teschenites sp. ind. FSL 109605
Acanthodiscus sp. ind. Coll. UN.
Bivalves FSL 109605
- VA3 — marne grise, indurée, avec plans de glissements (0,80m).
De la base de ces marnes provient un fragment de:
Acanthodiscus sp. ind. FSL 109613

2.5.2. Les ammonites des collections

Sur les étiquettes originelles, est habituellement indiquée la provenance: «trouée du Seyon» ou «percée du Seyon».

Espèces	Nombre d'exemplaires
<i>Olcostephanus atherstoni</i> (J)	2
<i>O. filosus</i>	1
<i>O. singularis</i>	1
<i>Acanthodiscus pseudoradiatus</i>	1
<i>Karakaschiceras biassalense</i>	1
<i>Neohoploceras schardti</i> (J)	1
<i>N. dubisiense</i> (J)	1
<i>Hollwediceras juillerati</i> (J)	1
<i>Saynoceras verrucosum</i> (J)	1

2.5.3. Age des différents niveaux

- Aucune ammonite ne provient avec certitude du Calcaire roux.
- Les exemplaires (indiqués par la lettre J sur la liste précédente) ont un faciès de calcaire jaunâtre et sont issus des marnes jaunes ou du sommet du Calcaire roux.

Toutes ces ammonites sont d'âge Valanginien. On peut y reconnaître :

- La zone à Pertransiens (*Platylenticeras*)
- la zone à Verrucosum (*Saynoceras* et *Neohoploceras*)
- La zone à Callidiscus (*O. atherstoni*)

Les marnes jaunes VA1 représentent bien un niveau fortement condensé. Mais certaines ammonites peuvent provenir du Calcaire roux par remaniement. En particulier la patine verdâtre et l'aspect corrodé du *Platylenticeras* suggèrent un long séjour au fond de la mer. Quoi qu'il en soit, le Valanginien du stratotype historique est réduit au Calcaire roux et aux 0,20 m de marnes jaunes (= Marnes à Astieria).

- Les marnes grises VA2 appartiennent déjà à l'Hauterivien avec quelques *Olcostephanus* et les premiers *Acanthodiscus*. Les oursins (cf. B. CLAVEL, ce vol.) indiquent clairement que la limite Valanginien-Hauterivien doit être placée à la base des marnes grises.

3. LA RÉGION DE BIENNE

3.1. Bienne, Ligerz, Gaicht, Alfermée et Vigneules

Dans les quatre collections précitées, un certain nombre d'ammonites proviennent des affleurements de Ligerz, Gaicht, Alfermée, Vigneules et Bienne. Il s'agit uniquement des formes courantes de l'Hauterivien inférieur, zones à Radiatus et Loryi.

Espèces	Nombre d'exemplaires
<i>Acanthodiscus radiatus</i>	10
<i>A. pseudoradiatus</i> (+ «ottmeri»)	10
<i>A. rebouli</i>	1
<i>A. vaceki</i>	3
<i>A. sp.</i>	2
<i>Leopoldia</i> cf. <i>levigata</i>	2
<i>Leopoldia</i> sp.	3
<i>Saynella neocomiensis</i>	1
<i>Breistrofferella castellanensis</i>	2
<i>Teschenites</i> sp.	1

Il est intéressant de noter que presque tous ces exemplaires sont en calcaire jaunâtre, ce qui suggère un milieu plus oxygéné que le faciès marne bleu de la région de Neuchâtel.

3.2. Twann (Douanne)

La coupe du Néocomien de Twann mérite une attention particulière par sa richesse fossilifère et les enseignements qu'elle apporte. Elle a été détaillée par BAUMBERGER (1903, p. 12).

Le Calcaire roux, sous son faciès de calcaires limonitiques à oolites ferrugineuses, a livré une faune valanginienne particulière :

Espèces	Nombre d'exemplaires
* <i>Thurmanniceras thurmanni</i> (P. & C.)	1
* <i>T. albini</i> (KIL.)	1
<i>Delphinites ritteri</i> SAYN	1
<i>D. helveticus</i> (BBGER)	1
<i>Busnardoites desori</i> (P. & C.)	1

Ces formes représentent le Valanginien inférieur, zones à Pertransiens et à Campylotoxum. C'est probablement du Valanginien supérieur (niveau des «Marnes à Asteria») que proviennent les espèces suivantes:

Espèces	Nombre d'exemplaires
<i>Teschenites cf. pachydicranus</i> (THIEULOY)	1
<i>Olcostephanus aff. latiflexus</i> (BBGER)	1
<i>O. aff. filosus</i> (BBGER)	1
<i>O. sp. juv.</i>	2
* <i>O. cf. psilostomus</i> (N. & UHL.)	1
* <i>O. sayni</i> (KIL.)	1

Les ammonites hauteriviennes sont plus abondantes:

Espèces	Nombre d'exemplaires
<i>Acanthodiscus radiatus</i>	9
<i>A. pseudoradiatus</i> (+ «ottmeri»)	4
<i>A. vaceki</i>	3
<i>A. rebouli</i>	1
* <i>A. bernensis</i>	1
* <i>A. obliquecostatus</i>	1
<i>Leopoldia levigata</i>	2
<i>L. sp. ind.</i>	2
<i>Breistrofferella castellanensis</i>	2
<i>Oosterella cultrata</i> (D'ORB.)	1
<i>O. cultrataeformis</i> (UHLIG)	1

Ces espèces caractérisent la zone à Radiatus. Rien n'indique avec certitude la présence de zones plus récentes. Tous ces échantillons présentent un faciès de calcaire jaune, ce qui correspond à un milieu de sédimentation plus oxydé que celui de la vasière de Cressier ou du Landeron.

4. LES ENVIRONS D'YVERDON

Quelques rares ammonites, trouvées dans les collections précitées, proviennent des gisements de: Fontaines-sur-Grandson, Bonvillard, La Côte-aux-Fées. Elles révèlent la zone à Radiatus de l'Hauterivien inférieur. Bien plus intéressantes sont les coupes du Chamblon et de Sainte-Croix.

4.1. Le Chamblon

La coupe détaillée a été revue (REMANE et al., ce vol.). Au sommet des Marnes bleues, nous avons trouvé:

Acanthodiscus aff. *radiatus* FSL 109596
Saynella neocomiensis FSL 109904, 109905

Il s'agit probablement de la zone à Loryi.

* Echantillons de la Collection BAUMBERGER non retrouvés au Muséum de Bâle, mais cités par cet auteur.

Dans les marnes des Uttins situées au-dessus du front de la carrière, nous avons récolté:

- Lyticoceras* sp. juv. FSL 109893
Lyticoceras? (empreinte) FSL 109597
Cymatoceras pseudoelegans FSL 109600

Dans ces mêmes marnes, KERN avait trouvé:

- Saynella neocomiensis* FSL 109894 et 109895
Leopoldia sp. ind. FSL 109896

Ces marnes appartiennent donc à la base de la zone à *Nodosoplicatum*.

Dans les collections de Lausanne et de Bâle sont répertoriées les espèces suivantes:

Espèces	Nombre d'exemplaires
<i>Saynella neocomiensis</i>	5
<i>Leopoldia leopoldina</i>	1
<i>Lyticoceras aff. salevense</i>	1

Deux *S. neocomiensis* et *L. aff. salevense* proviennent des marnes des Uttins, ce qui confirme leur appartenance à la zone à *Nodosoplicatum*.

4.2. Sainte-Croix

L'histoire compliquée de l'étude géologique du Ravin du Colas ainsi que la stratigraphie de l'ensemble des couches hauteriviennes sont précisées par J. REMANE et al. (ce vol.).

Nous ne donnons ici que le détail des couches au passage Valanginien-Hauterivien, là où se trouve l'essentiel de la faune d'ammonites et d'oursins.

4.2.1. Les ammonites *in situ*

La coupe (fig. 7) montre, de bas en haut:

- 1 — zone faillée, montrant quelques bancs de calcaires glauconieux appartenant à la formation du Calcaire roux.
- 2 — marnes grises riches en bryozoaires à la base (1,50m) (B. WALTER, 1972, 1985 et 1986).

Un petit niveau noduleux basal a livré:

- Teschenites* sp. ind. FSL 109627
Dichotomites sp. ind. FSL 109624
Karakaschiceras biassalense (KARAK.) FSL 109626

Le niveau sommital à gros nodules a donné:

- Teschenites* sp. ind.
Dichotomites cf. *bidichotomoides* KEMPER FSL 109623
Dichotomites sp. ind. FSL 109620 et 109625
Karakaschiceras biassalense FSL 109621
K. cf. biassalense FSL 109619
Olcostephanus cf. *filosus* (BBGER) FSL 109628

- 3 — marnes grises, homogènes. Rares nodules marneux (1,80m) avec une faune d'ammonites presque identique à la précédente:

- Teschenites* sp. ind.
Dichotomites bidichotomoides FSL 109622
Dichotomites sp. ind.
Karakaschiceras sp. ind.

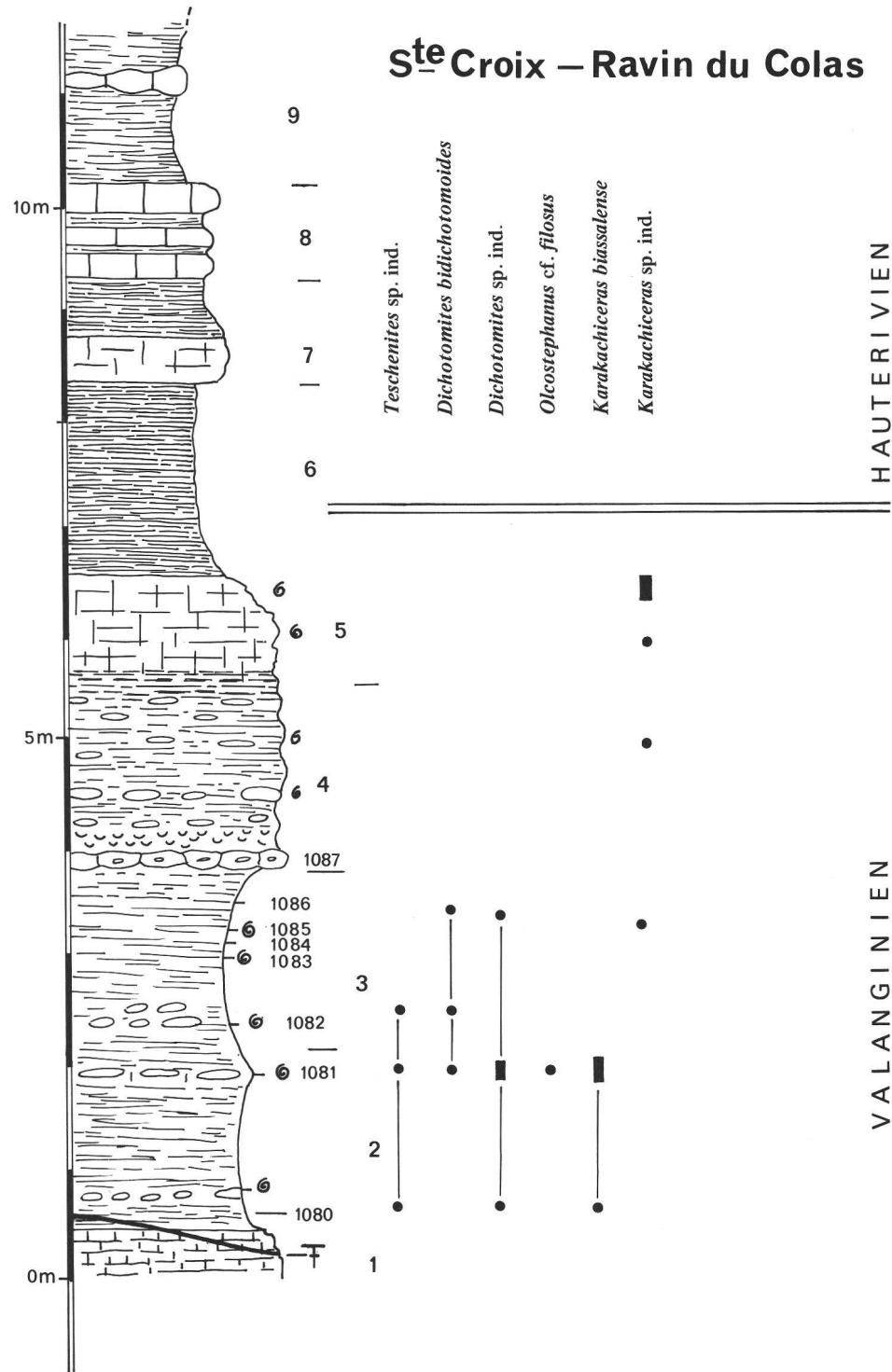


FIG. 7. — Coupe du ravin du Colas de Sainte-Croix (partie basale) et répartition des ammonites. Légende dans le texte. Les points correspondent à un exemplaire, les rectangles à deux exemplaires.

4 — banc de calcaire noduleux, suivi de marnes lumachelliennes (huîtres, brachiopodes, serpules...). Puis marnes à nodules dispersés (1,90m). Les céphalopodes trouvés dans la partie supérieure sont fort mal conservés et friables.

Karakaschiceras biassalense FSL 109631

Karakaschiceras sp. ind. FSL 109638

Cymatoceras pseudoelegans FSL 109635

5 — marnes grises indurées (0,80m).

Karakaschiceras sp. ind. FSL 109632 et FSL 109636 (2 fragments)

6 — marnes grises (1,80m).

7 — un banc de marnes indurées suivi de marnes grises (1,00m) avec huîtres.

8 — alternances de bancs calcaires et de marnes grises (0,90m).

Dans l'ensemble la faune reste pauvre et surtout mal conservée. C'est l'exploitation intensive et répétée, effectuée surtout par B. CLAVEL, qui a permis de recueillir la faune répertoriée dans la figure 7.

Le Valanginien supérieur (zone à *Callidiscus*) est bien caractérisé. Il s'agit là d'une faune à cachet boréal par l'abondance des *Dichotomites*.

L'Hauterivien inférieur reste mal défini par une faune pauvre et de piètre conservation. Toutefois, son âge hauterivien est incontestable. La limite Valanginien-Hauterivien peut être fixée vers le milieu du niveau 6, grâce aux échinides (B. CLAVEL, ce vol.). Des *Leopoldia* sp. et un *Acanthodiscus* sp. ont été récoltés en éboulis.

4.2.2. Les faunes conservées dans les collections

Les espèces d'ammonites sont aussi nombreuses que variées. Elles proviennent de divers gisements (L'Auberson, le Colas) mais pour certaines d'entre elles, la localisation exacte n'est pas précisée. C'est pourquoi, nous en présentons la liste par étages.

Valanginien

Espèces	Nombre d'exemplaires
<i>Platylenticeras gevigli</i>	7
<i>P. marcoustanum</i>	2
<i>P. heteropleurum</i>	1
<i>Thurmanniceras thurmanni</i>	2
<i>T. sp.</i>	1
<i>Karakaschiceras leenhardtii</i>	1
<i>K. sp.</i>	1
<i>Busnardoites desori</i>	1
<i>Neohoploceras</i> sp. ind.	1
<i>Neocomites</i> sp. ind.	1
<i>Dichotomites bidichotomoides</i>	1

Cette faune provient essentiellement de L'Auberson dont la coupe a été révisée (REMANE et al., ce vol.). Elle traduit l'existence des zones à Pertransiens, Campylotoxum, Verrucosum et Callidiscus, c'est-à-dire presque la totalité du Valanginien. C'est incontestablement une faune boréale.

Hauterivien

Espèces	Nombre d'exemplaires
<i>Acanthodiscus pseudoradiatus</i>	1
<i>A. sp. juv.</i>	1
<i>Breistrofferella castellanensis</i>	10

Espèces	Nombre d'exemplaires
<i>B.</i> sp.	5
<i>Leopoldia buxtorfi</i>	2
<i>L.</i> sp.	1
<i>Saynella neocomiensis</i>	2

Il s'agit là d'Hauterivien inférieur, zones à *Radiatus* et à *Loryi*. La rareté des *Acanthodiscus* suggère un milieu bien différent de celui des vasières de Cressier ou du Landeron, certainement de mer ouverte et plus profonde.

4.2.3. Le problème des marnes à bryozoaires et des ammonites pyriteuses

Il existe autour de Sainte-Croix au moins trois gisements de marnes à bryozoaires : le Chalet du Marais près de L'Auberson, le col des Etroits et le ravin du Colas (= ravin de l'Arnayon). Leur examen critique et leur contenu en bryozoaires ont été analysés par B. WALTER (1972). Leur âge soit hauterivien, soit valanginien a souvent varié. On admet actuellement qu'il s'agit de Valanginien. Pour le ravin du Colas, nous l'avons prouvé grâce aux ammonites et aux échinides (niveau 2).

Un certain nombre d'ammonites pyriteuses, appartenant à la collection Campiche, proviendraient des marnes à bryozoaires de L'Auberson; cette indication est portée sur les étiquettes originelles. PICTET (P. & C. 1858, p. 276) précise «marnes à bryozoaires qui recouvrent le calcaire valanginien». Il s'agit vraisemblablement du gisement du Chalet du Marais et des «marnes à spongiaires», ainsi que l'a confirmé JACCARD (1893, p. 45). Nous avons retrouvé et examiné ces ammonites conservées au Muséum de Lausanne. L'importance exceptionnelle que plusieurs auteurs (PICTET & CAMPICHE 1858, SPATH 1924, WRIGHT 1955, WIEDMANN 1966) ont attribué à ces ammonites pyriteuses nous incite à présenter les observations suivantes.

4.2.3.1. Les documents paléontologiques

- Une première boîte contient quatre fragments pyriteux (taille 7 à 15 mm) collés sur une plaquette portant le N° 17121. Ce sont les types de *Eodesmoceras celestini* (P. & C.), réétudiés par WIEDMANN (1966). Ce sont en fait quatre fragments de sections et de cloisons différentes appartenant certainement à plusieurs espèces. Raisonnement, on ne peut déterminer ces nuclei trop juvéniles, sans connaître par avance leur âge exact et la faune associée.
- Une seconde boîte portant la même origine et la même détermination «*Ammonites celestini*» contient trois pyriteux qui peuvent être attribués à un fragment de *Lytoceras* (?), un *Phylloceras* et un fragment d'*Oxytropidoceras*, oxycone avec fines costules falciformes.
- Dans une troisième boîte subsiste une petite ammonite calciteuse, sans cloison visible, déterminée cependant «*Desmoceras*», Valanginien de Sainte-Croix.

4.2.3.2. Origine des ammonites

Il est certes bien précisé que ces ammonites proviennent des marnes à bryozoaires de L'Auberson. On n'a cependant jamais retrouvé d'ammonites pyriteuses dans les différents gisements de marnes à bryozoaires de Sainte-Croix. En outre, le biotope peu profond de ces bryozoaires, «fonds rocheux, entre -50 et -100 mètres, dans une eau calcaire où circulent des courants modérés» (WALTER, 1972), reste incompatible avec la pyritisation des coquilles d'ammonites. Il contient également de nombreux brachiopodes, spongiaires et échinides (JACCARD, 1893).

Quand on sait le peu de soin avec lequel le Dr Campiche récoltait ou faisait récolter ses collections de fossiles (cf. B. CLAVEL, ce vol.), on peut suspecter l'origine indiquée des ammonites pyriteuses. Or, CAMPICHE et DE TRIBOLET (1858), JACCARD (1871 et 1893) nous signalent l'existence d'un Albien moyen riche en ammonites pyriteuses, sur la route de la Vraconnaz, c'est-à-dire tout proche du Chalet du Marais. Dans ce secteur, c'est même l'unique niveau stratigraphique qui ait jamais livré une faune pyriteuse. Il est donc hautement probable que les ammonites pyriteuses précitées en proviennent. Dans ce contexte, *Eodesmoceras celestini*

serait un fragment usé de *Puzosia parandieri* (D'ORB.) (cf. PICTET & CAMPICHE, pl. XXXIX, fig. 2 et fig. 3 à 8); les autres fragments sont des *Latidorsella* juv., accompagnés par un petit nucleus d'*Oxytropidoceras* de l'Albien moyen.

4.2.3.3.

En conclusion, il nous semble raisonnable de ne plus utiliser l'espèce *Eodesmoceras celestini*, et surtout d'abandonner toutes les hypothèses bâties sur ces exemplaires douteux, concernant le genre *Eodesmoceras* et l'origine des Desmocératidés.

5. PALÉONTOLOGIE: COMMENTAIRES SYSTÉMATIQUES

L'ammonitofaune de l'Hauterivien neuchâtelois a fait l'objet d'une monographie exhaustive (BAUMBERGER, 1906-1910), certes déjà ancienne, mais qui par la valeur de ses analyses spécifiques et la richesse de son illustration demeure l'outil indispensable de toute révision paléontologique de cet Hauterivien. Toutefois ces ammonites n'ont été récoltées que dans la Marne d'Hauterive et BAUMBERGER ne décrit ou ne cite aucune espèce de la Pierre jaune de Neuchâtel.

La présente étude n'est pas une révision de cette faune; elle se borne seulement à l'examen des espèces biostratigraphiquement significatives recueillies dans les coupes échantillonnées et à quelques autres spécimens des collections anciennes, dont l'intérêt est essentiel pour la datation des formations.

La présentation brève des caractères majeurs d'identification n'est faite que pour clarifier la conception que nous avons des espèces et faciliter leur détermination; l'appréciation critique de leurs intérêts paléocologique et biostratigraphique est également offerte. Enfin, la création, accompagnée de diagnose, de quelques nouveaux taxons est justifiée par l'importance de leurs supports pour l'établissement des corrélations.

5.1. Genre *Acanthodiscus* UHLIG, 1905

Espèce-type: *Ammonites radiatus* BRUGUIERE, 1789, p. 42.

Les représentants de ce genre sont très largement dominants, tant dans les récoltes effectuées au banc par banc dans les coupes de la région stratotypique que dans les populations conservées dans les collections des Musées de Genève, Lausanne, Neuchâtel et Bâle.

5.1.1 *Acanthodiscus radiatus* (BRUG., 1789)

- 1840 — *Ammonites radiatus* D'ORBIGNY, p. 110-113, pl. 26.
- 1881 — *Hoplites radiatus* NEUMAYR et UHLIG, p. 165, pl. XXXIV, fig. 2-3.
- v 1906 — *Acanthodiscus radiatus* BAUMBERGER, p. 13-18, pl. XVI, fig. 1-3, 5-7, pl. XVII, fig. 1-3, pl. XVIII, fig. 4-5.
- v 1906 — *Acanthodiscus radiatus* var. *stenonotus* BAUMBERGER, p. 19-20, pl. XVI, fig. 4, pl. XVIII, fig. 1.
- v 1940 — *Acanthodiscus radiatus* GOGUEL, p. 48-57, pl. I, pl. III, fig. 3-4.
- 1960 — *Acanthodiscus radiatus* DRUSHCHITS, p. 284-285, pl. XXVIII, fig. 1.

En dépit de l'importance des variations ontogéniques de son ornementation, cette espèce est toujours aisément déterminable et se révèle donc particulièrement fiable.

Diagnose. — Comme l'avait bien analysé GOGUEL, trois stades ontogéniques peuvent être distingués. L'ornementation typique est celle des tours moyens; des côtes internes au nombre d'une douzaine en moyenne, de fort relief et faiblement proverges réunissent des tubercules marmelonnés périombilicaux et latéraux, ces derniers étant situés sur le milieu des flancs. Les côtes externes, de tracé plus nettement proverse, naissent de bifurcations ou plus communément de trifurcations du bord externe du tubercule

latéral; quelques côtes intercalaires s'ajoutent à ce dispositif. Toutes les côtes externes se terminent par une crête margino-ventrale inclinée obliquement à 45° vers l'avant. Une bande ventrale lisse et faiblement convexe sépare les deux rangées de clavi marginaux.

Ce stade qualifié par GOGUEL d'adulte est précédé par un stade nettement « néocomitidien ». L'alternance de côtes principales, tout d'abord simples, puis assez rapidement bifurquées et de côtes secondaires de longueurs inégales caractérise les tours juvéniles; les marges du ventre, dont la largeur est variable (particulièrement étroit pour la variété *stenonotus*), sont soulignées hâtivement d'une rangée de clavi d'orientation spirale comparable à ceux de *Leopoldia leopoldina*.

Les nodosités ombilicales et latérales peuvent apparaître très tôt ($H = 10$ à 20 mm).

Enfin, un stade sénile lisse, sans rapport avec la dernière cloison, succède ($D = 13$ à 15 cm) au stade tuberculé adulte; les côtes et les tubercules s'atténuent rapidement et disparaissent. La section subit également une modification caractéristique; la hauteur excède alors sensiblement l'épaisseur et le ventre s'arrondit. Cette section subpolygonale à subtrigone-ovoïde est significative de ce stade et permet de distinguer les spécimens d'*Acanthodiscus* et de *Leopoldia* de développements ontogéniques comparables.

Caractères propres aux individus boréaux. — Des trois caractères admis par GOGUEL comme représentatifs des échantillons d'Allemagne du Nord (position très externe des tubercules latéraux, ventre particulièrement large, relief et galbe arrondi des nodosités marginales), seuls les deux derniers, communs au spécimen d'Osterwald (Basse-Saxe) et à celui de Stadthagen (collection de l'Institut Dolomieu, Grenoble) paraissent dignes d'être retenus. En effet, la position du tubercule latéral est normale sur l'échantillon figuré par NEUMAYR & UHLIG et la section dessinée par GOGUEL exagère notablement ce trait. En outre, la présence d'individus de section particulièrement large est reconnue dans le Jura, notamment à Cressier (BAUMBERGER, fig. 80), où nous avons également repéré ce morphotype B dans le niveau 14, affleurant au sommet de la marnière.

Répartition géographique. — Cette espèce est diversement représentée selon la situation paléogéographique de ses gisements.

- Sur les plate-formes nérítiques (milieu circalittoral), les conditions paléoécologiques lui étaient particulièrement favorables et sa fréquence est maximale; ainsi, elle abonde dans la formation 13 (COTILLON, 1971) de l'Arc de Castellane (plateforme provençale) et dans la « Marne calcaire bleue » de la bordure orientale du Bassin de Paris.
- Sur les talus externes hémpélagiques des plate-formes provençale, cévenole et subalpine, on rencontre cette espèce, soit fréquente dans des niveaux glauconieux, condensés et d'épaisseur décimétrique (Le Muret, Isère; Chabrières, Alpes de Haute-Provence), soit dispersée et rare sur une épaisseur plus ou moins grande de sédiments (Ardèche, Gard), répartition sous le contrôle évident du taux de sédimentation.
- Enfin, dans les bassins pélagiques (bathyal), le nombre des individus est toujours faible et de répartition verticale très limitée; le bassin vocontien (THIEULOUY, 1977) et celui de Basse-Saxe en sont de bons exemples, l'espèce étant même absente en Angleterre. Mais, cette rareté n'est pas un obstacle insurmontable, puisque une recherche patiente débouche toujours sur la collecte de quelques individus, comme l'ont vérifié THIEULOUY dans ses coupes vocontiennes et les géologues allemands avec une dizaine de spécimens bien repérés stratigraphiquement.

La région neuchâteloise avec ses gisements du Landeron, de Cressier et d'Hauterive, appartiennent typiquement au domaine de la plate-forme jurassienne: nos récoltes y sont instructives quant à la répartition d'*Acanthodiscus radiatus* dans la Marne bleue. L'espèce est abondante dès la base des marnes bleues homogènes; ainsi, le spécimen N° 2418 (Muséum de Bâle, coll. Baumberger) de la marnière de Cressier est accompagné d'une étiquette manuscrite de BAUMBERGER, portant la mention très explicite: « direkt über dem Limonit ». Elle est ensuite fréquente tout le long de la séquence marneuse jusqu'au contact des marnocalcaires qui annoncent le faciès Pierre jaune de Neuchâtel. La présence d'un morphotype épais dans un niveau élevé (14 à Cressier) est d'interprétation évolutive hasardeuse en raison du nombre insuffisant des représentants de ce transient.

Attribution stratigraphique. — Depuis longtemps déjà (KILIAN, 1895; PAQUIER 1900), *A. radiatus* est utilisé comme marqueur de la première zone de l'Hauterivien mésogénien et l'historique de la conception de cette unité stratigraphique a été récemment dressé (THIEULOY, 1977); mais de multiples critiques ont été formulées sur le choix de ce taxon et reposent :

- sur la faible représentation de l'espèce dans le bassin vocontien et celui de Basse-Saxe;
- sur son absence totale en Angleterre;
- sur son utilisation délicate en Allemagne, puisque l'apparition d'*A. radiatus* se situe dans la zone à Noricum (QUENSEL, 1988), qui ne correspond pas à la base de l'étage Hauterivien en Allemagne du Nord;
- sur une possibilité de décalage entre l'apparition de l'espèce sur les plate-formes (milieu naturel d'évolution) et dans les bassins, où son existence s'expliquerait par une immigration passagère à un moment quelconque de la range-zone de *radiatus*.

Cet ultime argument ne nous paraît pas convaincant, car les phénomènes de spéciation et de migration paraissent contemporains et liés à des événements paléogéographiques et sédimentologiques de grande ampleur; les retards dus aux migrations ou aux adaptations à des conditions écologiques particulières sont négligeables au regard de la signification temporelle d'une zone, qui est de l'ordre du million d'années. Enfin, l'adoption d'*Endemoceras amblygonium*, espèce boréale la plus apte à se substituer à *A. radiatus*, présente à notre sens deux graves inconvénients :

- son absence totale non seulement en domaine mésogénien, mais également dans la région stratotypique,
- et son évidente situation à un niveau homologue de la zone à *Callidiscus* du Valanginien sommital.

Ainsi s'explique la présence des *A. radiatus* boréaux en un point moyen de la représentation dans le temps du genre *Endemoceras*. Il en est de même dans le domaine mésogénien par rapport à la répartition du genre *Teschenites*, homologue téthysien du genre *Endemoceras*.

En tout état de cause, *Acanthodiscus radiatus* se révèle être le meilleur marqueur pour une définition aussi pratique que possible de la base de l'Hauterivien.

Toutefois, subsiste le problème de l'ampleur de la zone à *Radiatus* dans la région stratotypique; à Cressier, où Calcaire roux valanginien et Marne bleue d'Hauterive sont en contact stratigraphique sans intercalation apparente de Marnes à *Astieria*, *A. radiatus* est présent sur toute l'épaisseur des marnes bleues homogènes ou noduleuses (Cressier, niveaux 2 à 14). Son extension paraît donc plus importante que partout ailleurs. Ce phénomène traduit soit un taux de sédimentation particulièrement élevé sur la plate-forme jurassienne durant ce chron, soit un surdéveloppement de la range-zone de l'espèce dans un contexte paléoécologique favorable, en débordant ainsi sur les strates caractérisées en domaine vocontien par *Crioceratites loryi*.

Or, nous avons retrouvé dans les collections du Muséum de Neuchâtel le Criocère cité en 1907 par SCHARDT et provenant d'un sondage effectué à Vauseyon près de Neuchâtel. Nous pouvons l'attribuer au groupe *loryi* et son lithofaciès indique nettement son appartenance à la Marne bleue; malheureusement, ce spécimen est jusqu'alors unique pour l'Hauterivien jurassien et son niveau stratigraphique reste imprécis.

Il est donc possible que les range-zones de *radiatus* et de *loryi* se recouvrent partiellement dans la région stratotypique, sans incidence d'ailleurs sur la réalité et la définition de la zone à *Loryi* en domaine mésogénien.

5.1.2. *Acanthodiscus pseudoradiatus* BAUMBERGER, 1906

Pl. 2 fig. 1

- v 1906 — *Acanthodiscus pseudoradiatus* BAUMBERGER p. 20-22, pl. XVIII, fig. 3 (lectotype), pl. XIV, fig. 4.
- v 1907 — *Acanthodiscus* cf. *ottmeri* BAUMBERGER, pl. XXII, fig. lab.
- v 1910 — *Acanthodiscus* cf. *ottmeri* BAUMBERGER, pl. XXXIII, fig. 2ab.
- v 1940 — *Acanthodiscus ottmeri* GOGUEL, pp. 18-20, pl. II.

Diagnose. — L'espèce est caractérisée par l'apparition tardive de l'ornementation trituberculée; en effet, jusqu'au diamètre moyen de 65 mm, la costulation néocomitidienne ne porte que des tubercules ombilicaux

à la base des côtes principales et des clavi margino-ventraux à l'extrémité des côtes externes. Puis apparaît l'ornementation de type *radiatus*, dont le relief est toutefois un peu plus faible; l'amorce du stade sénile lisse se fait de la même façon et au même diamètre que chez *A. radiatus*. Enfin, les clavi présentent une orientation sensiblement plus longitudinale, d'un style léopoldien.

Relation avec *A. ottmeri* (NEUMAYR & UHLIG, 1881)

BAUMBERGER, créateur de l'espèce jurassienne, a dû penser que celle-ci était bien différente de l'espèce germanique, puisqu'il n'a pas estimé nécessaire de préciser leurs rapports; par contre, KILIAN & REBOUL (1915) puis GOGUEL (1940) ont admis leur synonymie.

L'appréciation des caractères d'*ottmeri* ne peut désormais se faire que sur les figures de NEUMAYR & UHLIG, puisque le matériel a été détruit durant la dernière guerre.

Au stade trituberculé, *A. pseudoradiatus* se distingue d'*ottmeri* par son ornementation moins vigoureuse et son ombilic un peu plus étroit, bien que des variations importantes puissent être notées à ce niveau de développement, lorsqu'on possède une population suffisante.

Mais les différences sont plus significatives pour le stade juvénile; le tour interne d'*ottmeri*, visible sur le spécimen de la planche XXXIV de NEUMAYR & UHLIG, présente une trifurcation exceptionnellement basse (péri-ombilicale) de la côte interne et si l'on admet la fidélité de cette reproduction, ce caractère est particulier à l'espèce germanique. C'est vraisemblablement pour cette fasciculation que NEUMAYR & UHLIG, rapportèrent l'échantillon de Kirchwehren (Basse-Saxe) de la planche XXXV aux tours internes d'*ottmeri*.

Nous pensons toutefois que ce spécimen, choisi par KILIAN (1895) pour type du nouveau taxon *frantzi*, pourrait être un représentant du genre boréal *Endemoceras*, particulièrement fréquent dans les mêmes niveaux.

Répartition géographique et stratigraphique. — La fréquence de cette espèce est voisine de celle d'*A. radiatus*. Elle est rare dans le bassin vocontien, mais bien connue sur la plate-forme provençale et dans le Jura (Cressier, Le Landeron).

Acanthodiscus pseudoradiatus débute dès la base de la Marne bleue, paraît particulièrement fréquente dans des niveaux peu élevés de la zone à *Radiatus* (niveau 6 à 9 de la coupe LP du Landeron) et sa disparition précède celle d'*A. radiatus*. Un exemplaire de cette espèce provenant du Landeron, existe dans la collection Pictet du Muséum de Genève; nous l'avons figuré Pl. 2, fig. 1. Il avait été antérieurement attribué à *Neocomites neocomiensiformis* (UHLIG).

5.1.3. *Acanthodiscus vaceki* (NEUMAYR et UHLIG, 1881) Pl.1, fig. 3

- 1881 — *Hoplites vaceki* NEUMAYR & UHLIG, p. 37-38, pl. LVI, fig. 2.
v 1906 — *Acanthodiscus vaceki* BAUMBERGER, p. 24-28, texte-fig. 91-93, pl. XIV, fig. 5 (= *A. baumbergeri* KILIAN, 1915, p. 259).
v 1907 — *Acanthodiscus vaceki* BAUMBERGER, p.1-10, texte-fig. 96, 99, pl. XX, fig. 1-2, pl. XIX, fig. 1-2, pl. XXIV, fig. 1.
v 1940 — *Acanthodiscus vaceki* GOGUEL, p. 20-23, texte-fig. 12-13.

Diagnose. — Le mode évolutif spécial de la costulation distingue parfaitement cette espèce; à chaque tubercule du bord ombilical correspond une côte principale possédant également un tubercule latéral placé haut sur le flanc et un tubercule marginal externe. Les côtes principales sont denses, flexueuses, proverbes du côté externe et leur tuberculation est tardive.

Des variations intraspécifiques se manifestent toutefois:

- dans la précocité du stade trituberculé; ainsi le morphotype «*baumbergeri*» KILIAN, 1915, peut être interprété comme une forme à stade tuberculé tardif;
- dans la largeur de la bande siphonale; l'échantillon décrit par BAUMBERGER sous le nom d'*A. «hystrix»* (pl. XXII, fig. 2) serait un morphotype à bande siphonale étroite et à tubercules siphonaux volumineux rappelant le mode ornamental du genre boréal *Distoloceras*.

Répartition géographique et stratigraphique. — Cette espèce dont le type est de Basse-Saxe, est commune dans l'Arc de Castellanne et dans le Jura (Le Landeron, Neuchâtel). Deux spécimens ont été récoltés dans la coupe FL du Landeron et leur patine faiblement ocree, qui traduit l'influence de l'imprégnation ferrugineuse due à l'altération du Calcaire roux, permet de les situer dans un niveau basal de la Marne bleue (niveau FL 6).

5.1.4. *Acanthodiscus rebouli* KILIAN, 1915

- v 1908 — *Hoplites euthymi* BAUMBERGER, p. 10-16, pl. XXI, fig. 1.
1915 — *Acanthodiscus rebouli* KILIAN, p. 259.
v 1965 — *Acanthodiscus twannensis* BUSNARDO & GUILLAUME, p. 130-134, texte-fig. 1, pl. I, fig. 2.

Diagnose. — Les caractères distinctifs de cette espèce sont les suivants :

- trituberculation précoce ;
- bifurcation régulière des côtes externes au niveau du tubercule latéral, si bien qu'elle possède jusqu'au diamètre de 120 mm exactement deux fois plus de clavi margino-ventraux que de tubercules latéraux ;
- relief moindre d'au moins une des deux côtes secondaires ;
- bande siphonale exceptionnellement large rappelant celle des *A. radiatus* allemands.

Répartition géographique et stratigraphique. — Deux individus récoltés dans la Combe de Cressier (J 14591, Bâle, BAUMBERGER, pl. XXI, fig. 2 et collection de Neuchâtel), indiquent nettement par leur composition marneuse bleuâtre leur appartenance à la Marne bleue de l'Hauterivien basal. Cette position stratigraphique est d'ailleurs confirmée par deux spécimens grenoblois, l'un découvert par THIEULOUY (1977, pl. 7, fig. 10) dans un gisement drômois, l'autre de la Martre (Var), tous deux de la zone à Radiatus.

5.1.5. Remarques phylogéniques

L'examen de l'abondante population d'*Acanthodiscus* jurassiens nous permet d'affiner le schéma évolutif proposé par THIEULOUY (1977, p. 120) pour les constituants habituels de la zone à Radiatus. Il est confirmé que les genres *Leopoldia* et *Acanthodiscus* sont deux groupes frères liés par la possession en commun d'un caractère apomorphe : la double rangée de clavi margino-ventraux. La souche pourrait être un Néocomitide à clavi peu étirés longitudinalement, à côtes principales peu différenciées et à côtes intercalaires assez longues et de relief comparable, issu du genre *Teschenites*. Un individu récolté au Landeron (LP 7) serait encore proche de ce type ancestral, qui dériverait aisément soit vers le groupe *leopoldina* par étirement spiralé des clavi et renforcement des côtes principales de plus en plus distantes (BAUMBERGER, pl. IV, fig. 2), soit vers le groupe *pseudoradiatus* comme l'illustre l'individu de Champ du Moulin (pl. XIV, fig. 4). *Acanthodiscus radiatus* résulte naturellement d'une trituberculation des côtes principales, gagnant peu à peu les tours internes selon un processus palingénétique. L'élargissement de la bande siphonale pourrait constituer une acquisition ultérieure, se manifestant d'ailleurs dans une autre lignée (*A. rebouli*).

5.1.6. Statistiques

Le nombre suffisamment élevé d'*Acanthodiscus* examiné (281) dont 261 formes déterminables spécifiquement autorise un examen statistique des espèces répertoriées. Le tableau ci-dessous est particulièrement instructif.

A. radiatus est largement dominante puisqu'elle représente les deux tiers de l'ensemble. Cette constatation conforte encore, s'il était nécessaire, le fait que cette espèce ait été choisie en tant qu'index zonal de la base de l'Hauterivien.

A. pseudoradiatus atteint presque le quart de la population.

A. vaceki et *A. rebouli* sont déjà rares.

Quant aux quatre dernières, leur originalité et leur unicité en font des formes exceptionnelles, voire des monstruosités de l'évolution.

Espèces	Collections antérieures	Nos récoltes	Total par espèces	% relatif des espèces
<i>A. radiatus</i>	160	14	174	66,66%
<i>A. pseudoradiatus</i>				
(+ «ottmeri»)	54	8	62	23,75%
<i>A. vaceki</i>	13	2	15	5,74%
<i>A. rebouli</i>	5	—	5	1,91%
<i>A. stenonotus</i>	2	—		
<i>A. wallrathi</i>	1	—		
<i>A. rollieri</i>	1	—	5	1,91%
<i>A. bernensis</i>	1	—		
Total	237	24	261	
<i>A. sp. ind. ou juv.</i>	8	12	20	

5.2. Genre *Breistrofferella* THIEULOY, 1971

Espèce-type: *Ammonites castellanensis* d'Orbigny, 1840, p. 109-110, pl. 25, fig. 3-4.

Cette espèce n'est pas fréquente dans les collections suisses (Genève, Lausanne, Neuchâtel et Bâle) et la dizaine d'individus déterminables provenaient d'Hauterive, de la Combe de Cressier et du Landeron; BAUMBERGER n'a d'ailleurs pas figuré d'échantillons jurassiens de cette forme, qu'il ne devait pas considérer comme communément représentative de l'Hauterivien neuchâtelois. Nos propres récoltes reflètent cette situation, puisqu'elles ne font état que d'un unique spécimen, appartenant d'ailleurs au type à costulation vigoureuse: *B. varappensis* (BAUMB., 1906) et recueilli dans le niveau 6 de la coupe LA (butte de tir au fusil du Landeron) quelques décimètres seulement sous la barre de calcaires jaunâtres (Zone marno-calcaire) qui annoncent la mise en place du faciès Pierre jaune.

Position stratigraphique. — En domaine vocontien (THIEULOY, 1977), où le genre est relativement bien représenté, tous les individus de *B. castellanensis* et *B. varappensis* ont été recueillis dans la zone à Radiatus et leur acrozone paraît débuter postérieurement à celles des *Acanthodiscus*. On pourrait donc en déduire que la partie sommitale des calcaires noduleux de la coupe du Landeron appartient encore à la zone à Radiatus, mais plus probablement à la zone à Loryi.

5.3. Genre *Leopoldia* MAYER-EYMAR, 1887

Espèce-type: *Ammonites leopoldinus* D'ORBIGNY, 1840, p. 104-105, pl. 22, fig. 1-3.

Ce genre est communément représenté aussi bien dans les collections anciennes, où 22 spécimens peuvent lui être attribués, que dans nos propres récoltes. Le domaine de la plate-forme jurassienne est l'une des régions, dont l'environnement paléoécologique et paléogéographique lui fut favorable. En 1906, BAUMBERGER débute son mémoire par l'étude de diverses formes du genre *Leopoldia* qu'il pense pouvoir distinguer essentiellement sur le degré de fragmentation de la ligne cloisonnaire et la dissymétrie du lobe latéral. D'autres sont séparées sur de faibles variations du galbe ou l'effacement plus ou moins précoce et total de la costulation. Mais en 1910, des compléments intéressants furent apportés, traduisant l'embarras de cet éminent paléontologue sur la définition des formes oxycones les plus évoluées et la distinction des genres *Leopoldia* et *Saynella*. Il est donc nécessaire de préciser l'acception que nous avons de la définition de ces deux genres. En outre, *Leopoldia renevieri* BAUMBERGER, 1905, par ses traits morphologiques et ornamentals, occupe une place si particulière dans cet ensemble qu'un statut subgénérique lui sera réservé.

5.3.1. Sous-genre *Leopoldia* MAYER-EYMAR, 1887

Diagnose subgénérique. — Coquille planulée à discoïde, taille moyenne à grande; O/D = 0,20 à 0,30; région ventrale subrectangulaire à arrondie.

Tours juvéniles ornés de côtes principales issues de tubercules ombilicaux et de côtes intercalaires courtes, se terminant toutes sur des clavi marginaux étirés longitudinalement.

Tours adultes lisses, perdant plus ou moins tôt leurs clavi marginaux et acquérant de ce fait une section ventrale arrondie.

Lobe latéral dissymétrique, très largement ouvert.

5.3.1.1. *Leopoldia leopoldina* D'ORBIGNY, 1840

- 1840 — *Ammonites leopoldinus* D'ORBIGNY, p. 104-105, pl. 22, fig. 1-3.
v 1906 — *Leopoldia leopoldi* BAUMBERGER, p. 28-32, pl. IV, fig. 1-2.
? 1907 — *Hoplites leopoldi* KARAKASCH, p. 76-80, pl. X, fig. 8, 21, pl. XII, fig. 7.
v 1910 — *Hoplites leopoldi* BAUMBERGER, p. 20-24, pl. XXXI, texte-fig. 157-159.
1960 — *Leopoldia leopoldi* DRUSHCHITS, p. 285, pl. XXVIII, fig. 3.
v 1977 — *Leopoldia leopoldina* THIEULOY, p. 114-115, pl. 7, fig. 2-3.

Diagnose. — Coquille discoïde à ombilic étroit ($O/D = 0,19$ à $0,25$), à section ovoïde élancée, à flancs faiblement mais régulièrement convexes.

Tours juvéniles de section subrectangulaire, ornés de côtes principales issues de nodules ombilicaux, tout d'abord denses, puis plus espacées et séparées par des côtes intercalaires (1 à 4) courtes, toutes s'achevant sur le bord ventral par des clavi marginaux étirés. Une bande ventrale peu bombée est ainsi nettement délimitée. Les figures 1 et 2 de la planche IV de BAUMBERGER (1906) sont de bonnes illustrations de ce stade ontogénique.

Tours externes de section ventrale régulièrement arrondie, lisses; seuls subsistent les clavi marginaux (jusqu'à $H = 55$ mm) et les nodules ombilicaux (jusqu'à $H = 75$ mm).

Lobe latéral dissymétrique plus large que haut, à incisions simples et peu profondes.

Position stratigraphique. — L'espèce est commune, sans toutefois atteindre la fréquence des *Acanthodiscus*, dans les coupes inventoriées au banc par banc de la marnière de Cressier et des environs du Landeron. La répartition des spécimens ne paraît pas très différente de celle des *A. radiatus*; on les rencontre en effet toujours associés dans la Marne bleue et les calcaires noduleux; on peut cependant noter que les niveaux les plus inférieurs de la Marne bleue (Cressier 2 à 4) n'en ont pas livré et cette absence rappelle celle constatée par THIEULOY (1977) dans la partie basale de la zone à Radiatus du domaine vocontien, où l'apparition et l'acmé de *L. leopoldina* se situent toujours une dizaine de mètres au-dessus de ceux des *Acanthodiscus*. Toutefois, cette espèce doit être considérée comme un élément majeur des peuplements de plate-forme, caractéristique de la zone à Radiatus.

5.3.1.2. *Leopoldia levigata* n. sp.

- v 1906 — *Hoplites aff. desmoceroides* BAUMBERGER, p. 2-4, pl. XIV, fig. 1-2.
v 1910 — *Hoplites cf. desmoceroides* BAUMBERGER, p. 17-20, pl. XXXII, fig. 4, pl. XXXIII, fig. 1.

Holotypus. — Le spécimen figuré par BAUMBERGER (1910) planche XXXII, fig. 4 ab, texte-fig. 154 (sous la dénomination aff. *desmoceroides*) et conservé à l'Institut de Géologie de l'Université de Neuchâtel (Suisse) sous le numéro M 18.

Locus typicus. — Hauterive, près de Neuchâtel.

Stratum typicum. — Marne bleue d'Hauterive: Hauterivien inférieur, zone à Radiatus.

Derivatio nominis. — Du latin *levigatus* (p. p. de *levigo*) = rendu lisse par effacement précoce de l'ornementation.

Diagnose. — *Leopoldia* caractérisée par une section épaisse ($E/H = 0,67$ à $0,74$), primitivement subrectangulaire, puis plus ovoïde et massive à flancs et ventre régulièrement arrondis, par le mur ombilical élevé et subvertical, par l'effacement précoce de la costulation latérale et par l'affaissement assez rapide des clavi marginaux ($D = 100$ à 120 mm), toujours de faible relief.

Ligne de suture à lobe latéral néocomitidien, faiblement asymétrique et finement découpé (BAUMBERGER, 1906, p. 3, texte-fig. 51-52 et 1910, pl. XXXII, fig. 4a).

Mensurations de quelques spécimens représentatifs

	Dmax	Dmes	H	E	E/H	O	O/D
Le Landeron (Suisse), coll. Biel, pl. XIV, fig. 1 <i>in BAUMBERGER</i>	108	—	50	37	0,74	24	0,22
Cressier (Suisse), coll. Wallrath, pl. XIV, fig. 2 <i>in BAUMBERGER</i>	112	—	47	34	0,72	22	0,20
Hauterive (Suisse), coll. de Montmollin, pl. XXXII, fig. 4 <i>in BAUMBERGER</i> = Holotype	124	—	57	41	0,71	26	0,21
Twann (Suisse), coll. Baumberger	164	—	70	49	0,70	41	0,25
Neuchâtel (Suisse), coll. Gressly, pl. XXXIII, fig. 1 <i>in BAUMBERGER</i>	175	—	73	51	0,69	50	0,29
Peyroules (Alpes-de-Haute-Provence), coll. Thieuloy	210	—	89	66	0,74	57	0,27
Peyroules (Alpes-de-Haute-Provence), coll. Thieuloy	220	160	68	47	0,69	44	0,27

Affinités. — *Leopoldia leopoldina*, qui possède un rapport E/H compris entre 0,65 et 0,60 pour une taille n'excédant pas 150 mm, une section encore plus élancée au stade adulte (0,55), une ornementation bien développée et un lobe latéral très dissymétrique et largement béant vers l'avant, se distingue nettement de notre nouvelle espèce.

L. remanei n. sp., de section assez voisine, en est également différente par la vigueur et la longévité de sa tuberculation.

Enfin, une mention toute particulière doit être accordée à *L. desmoceroides*, taxon créé par KARAKASCH (1905) pour trois spécimens de Biassala (Crimée) et auquel on rapporta généralement les représentants de cette nouvelle forme.

Les mesures fournies par l'auteur indiquent que l'espèce russe possède une section élevée à flancs peu convexes ($E/H = 0,51$ à 0,55) et une ornementation dont l'effacement est important et précoce. La présence de constrictions flexueuses sur les flancs, apparemment peu compatibles avec la définition du genre *Leopoldia*, lui confère en outre un aspect desmocératidien, d'ailleurs souligné par son créateur; mais la réalité des clavi margino-ventraux présents sur les tours juvéniles et le nombre (2) des lobes latéraux visibles sur les flancs (L et U2) confirment bien l'appartenance de cette espèce si particulière au plexus *leopoldina*. Un échantillon grenoblois (ID 57) de Louiqui près de Castellane (Alpes-de-Haute-Provence), adulte de 280 mm de diamètre, peut être attribué à *L. desmoceroides*; la section élancée, le rebord ombilical oblique et la présence de quelques sillons sigmoïdes, annonciateurs du péristome, y sont significatifs.

Notons enfin que l'espèce russe provient d'une couche de grès jaunâtres sus-jacente au calcaire brun conglomératique de Biassala, qui a livré *L. leopoldina* et *Karakaschiceras biassalense*.

Répartition géographique et stratigraphique. — La nouvelle espèce est commune dans les formations plus ou moins condensées de l'Hauterivien basal de l'Arc de Castellane (Peyroules, La Martre), mais toujours dans des gisements peu propices pour l'enregistrement d'un éventuel décalage temporel par rapport au groupe *leopoldina* — *remanei*.

Nous avons également reconnu cette forme au cours de l'inventaire des collections suisses; elle est présente à Neuchâtel, Hauterive, Cressier et Le Landeron. Ce sont toujours des échantillons constitués d'un calcaire marneux bleuâtre, qui témoigne nettement de leur origine stratigraphique: la Marne bleue d'Hauterive (Hauterivien inférieur: zone à Radiatus).

5.3.1.3. *Leopoldia remanei* n. sp.

- 1860 — *Ammonites leopoldinus* PICTET & CAMPICHE, p. 243, pl. XXXII, fig. 3.
v 1910 — Formenkreis des *Acanthodiscus ottmeri* BAUMBERGER, p. 11-15, pl. XXIX, fig. 1-2 (*sol*).
v 1915 — *Neocomites (Acanthodiscus?) frantzi* KILIAN & REBOUL, p. 267.

Remarques préliminaires sur le statut du taxon *frantzi*. — En 1895, le plus petit des syntypes (pl. XXXV, fig. 1) d'*Hoplites ottmeri* NEUMAYR & UHLIG (1881) est choisi par KILIAN (1895) pour support du nouveau taxon *frantzi*, que cet auteur voulait attribuer à de nombreux échantillons de Provence et notamment du gisement varois de La Martre.

Après examen de ce matériel, auquel peuvent être identifiés les deux spécimens figurés par BAUMBERGER, nous pouvons affirmer n'y avoir jamais observé la fasciculation si particulière des côtes internes du spécimen germanique. Une costulation de type *leopoldina*, d'ailleurs très atténuée latéralement, caractérise au contraire cette forme commune en Provence et dans le Jura, pour laquelle s'impose l'attribution d'une nouvelle dénomination.

Deux possibilités peuvent alors être envisagées pour le taxon *frantzi*.

- le spécimen de Kirchwehren (Basse-Saxe) représente bien, comme en étaient convaincus NEUMAYR & UHLIG, les tours internes d'*Acanthodiscus ottmeri* et le taxon disparaît alors par synonymie;
- le type germanique appartient, comme nous le pensons, au groupe boréal d'*amblygonium* et le taxon doit être traité au sein du genre *Endemoceras*. Toutefois, en raison de l'impossibilité matérielle de réexaminer ce spécimen détruit pendant la guerre, il nous paraît plus prudent d'abandonner le taxon *frantzi*.

Holotypus. — Le type désigné par BAUMBERGER (1910) planche XXIX, fig. 1ab et conservé à l'Institut de Géologie de l'Université de Neuchâtel (Suisse) sous le numéro M 15.

Locus typicus. — Neuchâtel (Suisse).

Stratum typicum. — Marne bleue d'Hauterive: Hauterivien inférieur, zone à Radiatus.

Derivatio nominis. — Espèce dédiée à M. J. REMANE, Professeur de Géologie à l'Université de Neuchâtel, animateur du groupe de révision de l'Hauterivien stratotypique.

Diagnose. — *Leopoldia* caractérisée par sa section subrectangulaire épaisse (E/H moyen = 0,68 à 0,73) à ventre plat tardivement arrondi (au-delà de D = 140 mm), par son ombilic relativement ouvert (O/D moyen = 0,25 à 0,28), par l'effacement précoce de la costulation latérale et par la vigueur exceptionnelle et la persistance des tubercules ombilicaux et des clavi marginaux, encore bien développés jusqu'à D = 150 mm. Ligne de suture à lobe latéral faiblement asymétrique (BAUMBERGER, 1910, p. 13, texte-fig. 152-153).

Affinités. — Ainsi définie, *L. remanei* se distingue de *L. leopoldina*, dont l'ombilic est plus étroit (O/D = 0,20 à 0,25), la section moins épaisse (E/H = 0,58 à 0,66) et plus précocement arrondie et dont l'ornementation est moins vigoureuse. En outre, les tours juvéniles de cette espèce et ceux d'*A. pseudoradiatus* sont assez comparables, mais celui-ci acquiert toujours une ornementation trituberculée au diamètre moyen de 65 mm.

Répartition géographique et stratigraphique. — Cette espèce paraît caractériser les faciès de plate-forme, puisqu'elle n'est jusqu'alors connue qu'en Provence et dans le Jura; dans ce dernier domaine, elle fut récoltée à Neuchâtel (coll. de Montmollin), à Cernier (coll. Schardt) et à Sainte-Croix (coll. Campiche), toujours en provenance de la formation de la Marne bleue d'Hauterive. *L. remanei* peut donc être considérée comme un nouvel élément faunique de la zone à Radiatus.

Mensurations

	Dmax	Dmes	H	E	E/H	O	O/D	Nombre de tuberc. ombilic.
Cernier (Suisse), coll. Schardt, pl. XXIX, fig. 2 <i>in BAUMBERGER</i>	80	—	32	24	0,66	19	0,23	—
Neuchâtel (Suisse), coll. de Montmollin, pl. XXIX, fig. 1 <i>in BAUMBERGER</i> = Holotype	90	—	41	28	0,68	20	0,22	13
La Martre (Var), coll. Thieuloy	109	91	40	32	0,80	24	0,26	13
La Martre (Var), coll. Thieuloy	117	92	42	32	0,76	23	0,25	16
La Martre (Var), coll. Guebhard, ID 46, Grenoble	125	100	48	35	0,73	28	0,28	16
La Martre (Var), coll. Thieuloy	113	—	57	42	0,73	38	0,28	—
La Martre (Var), coll. Thieuloy	160	—	65	—	—	48	0,30	20

5.3.1.4. *Leopoldia buxtorfi* BAUMBERGER, 1905. Pl. 2, fig. 3

1840 — *Ammonites leopoldinus* D'ORBIGNY, pl. 23, fig. 1-3.
v 1905 — *Leopoldia buxtorfi* BAUMBERGER, p. 33-36, pl. V, fig. 1, pl. VI, fig. 2-3, pl. VII, fig. 1, texte-fig. 8-12.

Lectotype. — Nous désignons comme lectotype de l'espèce, l'échantillon de l'Auberson, près Sainte-Croix (Suisse), figuré pl. V, fig. 1ab et conservé au Musée de Lausanne. Les syntypes des planches VI et VII sont cependant indispensables pour la définition de l'espèce, dont ils représentent les stades juvéniles.

Diagnose. — Coquille lenticulaire à ombilic étroit ($O/D = 0,13$ à $0,16$) et à mur ombilical subvertical. Section ovoïde, élancée ($E/H = 0,47$ à $0,50$) dont l'épaisseur maximale se situe au tiers interne des flancs. Région ventrale étroite, arrondie et sans méplat juvénile.

Ornementation très atténuée, constituée de nodules ombilicaux, visibles seulement sur les tours internes, et de côtes externes courtes, plates et proverses, terminées par de petits clavi marginaux. Côtes et clavi ne subsistent plus au-delà de 60 mm de diamètre.

Ligne de suture caractéristique: incisions profondes et grèles de la selle externe et du lobe latéral; grand développement de la branche externe de L provoquant un affaissement oblique du rameau interne de la selle externe et le rétrécissement de son implantation.

Remarques phylogéniques. — L'étroitesse et la convexité marquée du bord ventral ainsi que l'effacement précoce de l'ornementation, reconnus chez cette espèce, peuvent être interprétés comme des caractères évolués au sein du genre *Leopoldia*. Une accentuation de ces tendances pourrait conduire à un type plus oxycone à ornementation absente ou très fugitive qu'il illustre de façon très satisfaisante *Saynella neocomiensis* (BAUMBERGER).

L'analyse de la ligne cloisonnaire de cette forme confirme cette affinité phylogénique; s'y retrouvent en effet la compression de la selle externe, le développement d'une sellette médiane à l'intérieur du lobe latéral et la divergence des racines du lobe externe.

Répartition géographique et stratigraphique. — Cette espèce n'est pas particulièrement fréquente dans le domaine jurassien, puisqu'une dizaine de spécimens des collections anciennes ont pu lui être attribués; ils proviennent de Neuchâtel, Hauterive, Cressier, Le Landeron et Sainte-Croix (L'Auberson).

Les collections grenobloises témoignent également de sa présence sur la plate-forme provençale.

Enfin, un unique mais bien caractéristique individu a été récolté en place par nous-mêmes dans le niveau 6 de la butte de tir au fusil au Landeron, soit immédiatement sous les premières couches carbonatées annonçant le faciès Pierre jaune. On peut donc penser que cette espèce possède une position élevée dans la zone à Radiatus; mais elle se situe plus probablement dans la zone à Loryi.

5.3.2. Sous-genre *Renevierites* n. subgen.

Espèce-type: *Leopoldia renevieri* BAUMBERGER, 1905, p. 38-39, pl. VI, fig. 1a-b

Diagnose subgénérique. — *Leopoldia* caractérisée par le galbe sublosangique de la section, dont l'épaisseur maximale se situe au milieu des flancs à double pente ($E/H = 0,53$), par la longévité exceptionnelle d'une ornementation latérale très particulière, constituée de côtes internes rigides, faiblement proverses et renflées à leur extrémité supérieure en une ébauche de tubercules, évoquant ainsi la costulation interne des *Acanthodiscus*.

L. (Renevierites) cf. renevieri BAUMBERGER, 1905. Pl. 2, fig. 5a-b

Un spécimen, représenté par un demi-tour de 118 mm de diamètre et récolté par B. WALTER à Montlebon près de Morteau (Doubs), peut être aisément rapporté à cette espèce.

La section et le rapport E/H (0,55) y sont comparables; on y reconnaît également les clavi marginaux et les côtes internes renflées sur le milieu des flancs en un tubercule modéré; tout au plus, peut-on y noter la densité plus forte de cette costulation.

L'échantillon a été recueilli en éboulis au-dessus des marnes à Serpules et Bryozoaires représentant l'Hauterivien inférieur à *A. radiatus*, mais le lithofaciès (biocalcarénite rousse) indique clairement qu'il provient de la Pierre jaune susjacente et visible en affleurement.

On peut donc penser que ce type caractérise un niveau assez élevé de l'Hauterivien inférieur (zone à Loryi), comme paraît le confirmer la notation de BAUMBERGER accompagnant l'holotype (N° A46 de Neuchâtel) et le spécimen complémentaire de Villers-le-lac (N° A19 de Neuchâtel). La «Mergelkalkzone» de cet auteur représente en effet le faciès lithologique annonciateur de la Pierre jaune.

5.4. Genre *Saynella* KILIAN, 1910

Espèce-type: *Ammonites clypeiformis* D'ORBIGNY, 1841, p. 137-138, pl. 42, fig. 1-2

Diagnose générique. — Coquille discoïde à lenticulaire; section élancée (E/H moyen = 0,45) à flancs faiblement convexes et à région ventrale étroite arrondie à oxycone sans méplat juvénile. Ombilic étroit ($O/D = 0,14$ à $0,10$), infundibuliforme à rebord anguleux.

Ornementation juvénile constituée de côtes falciformes sans tubercules ombilicaux ni clavi siphonaux; tours moyens et adultes lisses.

Ligne cloisonnaire bien caractérisée par un lobe externe peu profond, une selle externe haute à ramifications grêles et par un lobe latéral large, très dissymétrique et à sellette médiane développée.

5.4.1. *Saynella neocomiensis* (BAUMBERGER, 1905)

v 1905 — *Leopoldia neocomensis*, BAUMBERGER, p. 44-47, pl. IX, fig. 1-2.

v 1910 — *Leopoldia neocomensis*, BAUMBERGER, p. 24-31, texte-fig. 162.

Lectotypus designatus. — Le spécimen figuré par BAUMBERGER (1905) planche IX, fig. 2 et conservé à l'Institut de Géologie de l'Université de Neuchâtel sous le numéro A 48.

Diagnose. — Coquille discoïde caractérisée par ses flancs faiblement bombés, mais régulièrement convexes ($E/H = 0,48$ à $0,42$), par sa région ventrale étroite et arrondie, par l'absence d'ornementation et par un lobe latéral à répartition subbifide de ses lobules subdivisés en ramifications grêles et profondes.

Mensurations

	Dmax	Dmes	H	E	E/H	O	O/D
Bargème (Alpes-Maritimes), coll. Guébhard, Grenoble, ID 9	93	74	38,5	18,5	0,48	—	—
Bargème (Alpes-Maritimes), coll. Guébhard, Grenoble, ID 10	132	127	71	32	0,45	12,5	0,10
Hauterive (Suisse), coll. Coulon, pl. IX, fig. 1 <i>in BAUMBERGER</i>	151	144	80	37	0,46	17	0,11
Mont-Dé, Morteau (Doubs), coll. Baumberger	159	155	83	35	0,42	18	0,12
Hauterive (Suisse), coll. Neuchâtel, pl. IX, fig. 2 <i>in BAUMBERGER</i> = Lectotype	163	157	83	37	0,45	20	0,12
Mont-Chamblon (Suisse), coll. Schardt	219	190	101	45	0,45	22	0,11

Affinités. — *S. mucronata*, que BAUMBERGER (1910) considérait comme synonyme de *S. clypeiformis* et qui peut être attribuée au genre *Saynella*, pour l'absence de clavi siphonaux et le tracé du lobe latéral, possède comme *S. neocomiensis* une région ventrale arrondie, mais sa section est plus massive (E/H souvent > à 0,50) et ses flancs sont plus convexes.

Elle présente en outre une costulation juvénile, qui s'étale sur toute la largeur des flancs.

Répartition géographique et stratigraphique. — Cette espèce est commune tant dans l'Arc de Castellane (Bargème, Castellane, Aiglon) que dans le Jura (Cressier, Hauterive, Neuchâtel, Le Landeron, Sainte-Croix, Mont-Chamblon et Mont-Dé près Morteau), mais c'est dans ces gisements septentrionaux que sa position stratigraphique peut être repérée avec le plus de précision.

Un premier lot d'échantillons, formés de calcaires marneux grisâtres, provient d'un niveau plutôt élevé de la Marne bleue d'Hauterive, comme l'indiquent les notations portées sur les étiquettes («Hauterivien II» ou «Knollenschichten»; c'est notamment le cas du lectotype A 48 d'Hauterive (coll. Neuchâtel), de l'individu N° 40938 de Mont-Chamblon (coll. Lausanne) ou de l'individu N° 21868 de Cressier (coll. Bâle). Les spécimens récoltés à Cressier dans les niveaux 12 et 14 et au Mont de Musiège sous le banc 48 appartiennent à cette catégorie et confirment la position de *S. neocomiensis* dans la partie sommitale de la Marne bleue d'Hauterive.

Un second lot, constitué d'individus formés de calcaires jaunâtres, provient des niveaux basaux de la Pierre jaune; c'est le cas du spécimen de Mont-Dé près Morteau et de l'individu N° 14508 du Landeron (texte-fig. N° 163), tous deux de la collection Baumberger (Bâle).

Les cinq exemplaires de cette espèce récoltés au Landeron (butte de tir au fusil, niveau LA 7) sont précisément dans cette situation stratigraphique (Zone marno-calcaire).

Cette espèce débute au sommet de la Marne bleue, personnifie vraisemblablement la zone à *Loryi* et se poursuit peut-être jusqu'à la base de la zone à *Nodosoplicatum*.

5.4.2. *Saynella clypeiformis* (D'ORBIGNY, 1841). Pl. 2, fig. 2 et texte-fig. 8abc et 9ab.

v 1841 — *Ammonites clypeiformis* D'ORBIGNY, p. 137-138, pl. 42, fig. 1-2.

v 1910 — *Saynella clypeiformis* BAUMBERGER, p. 24-31, pl. XXIX, fig. 5, pl. XXX, fig. 1.

v 1970 — *Saynella clypeiformis* BUSNARDO, p. 90-91, fig. 1.

Diagnose. — Coquille lenticulaire à bord siphonal tranchant, à flancs très faiblement convexes, présentant parfois jusqu'à un stade avancé (D = 150 mm) un pincement externe déterminant le galbe d'une carène; cependant les tours adultes de grande taille ont un bord siphonal émoussé (texte-fig. 8a à D = 320 mm).

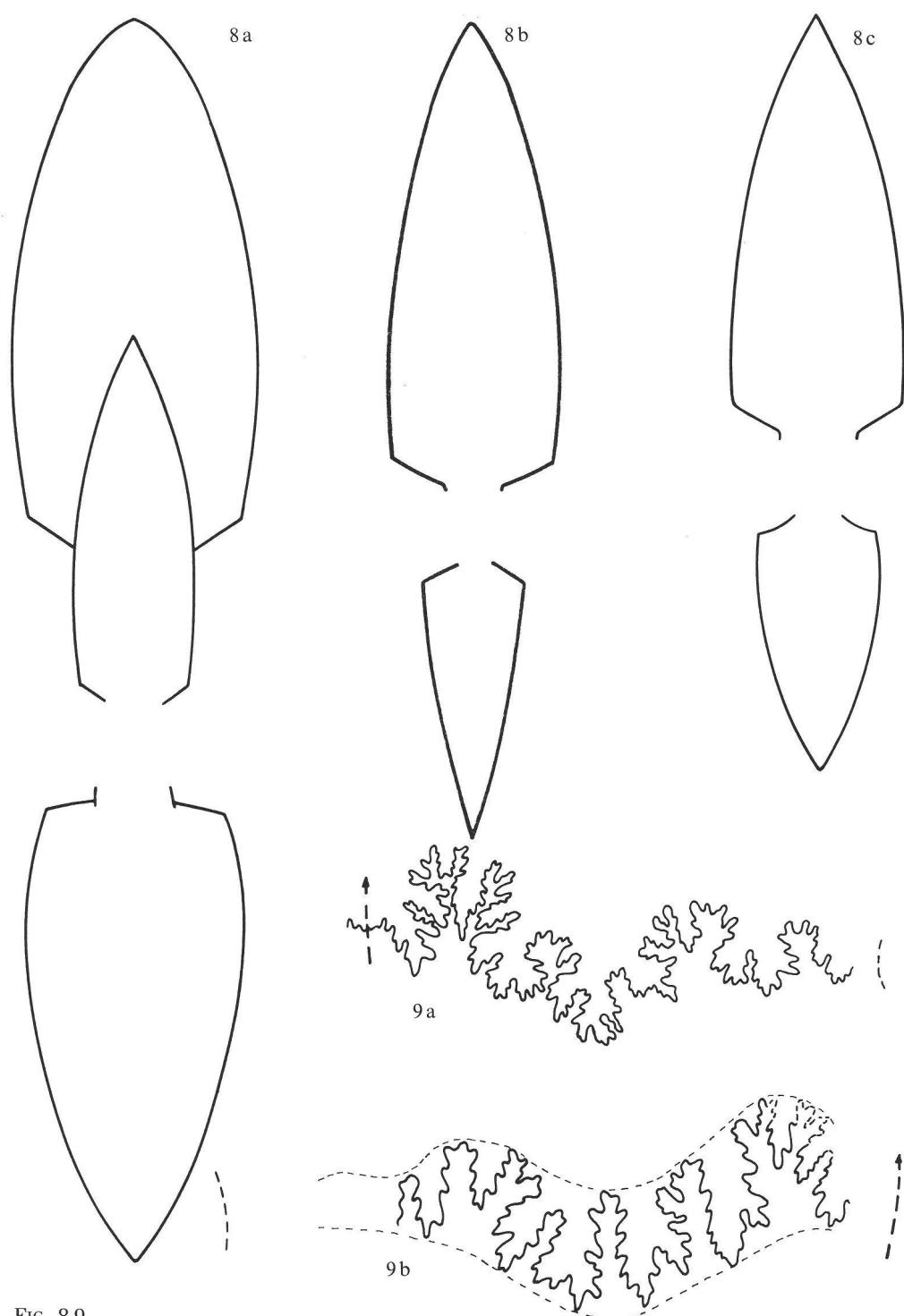


FIG. 8-9

Section particulièrement étroite ($E/H = 0,46$ à $0,30$). Costulation juvénile falciforme comportant des côtes principales et intercalaires pouvant être les unes et les autres bifurquées. Tours adultes lisses. Loge d'habitation longue d'un demi tour avec parfois des constrictions. Ligne cloisonnaire caractérisée par la largeur exceptionnelle du lobe latéral à 3 lobules, dont l'externe et le médian très étaisés sont séparés par une sellette de galbe primitivement quercifolié, puis spatulé à contour arrondi, et par l'espacement important des cloisons.

Mensurations

	Dmax	Dmes	H	E	E/H	O	O/D
La Martre (Var), coll. Thieuloy	70	68	35	16	0,46	—	—
Aiglun (Alpes-Maritimes), coll. Breistroffer, Grenoble, ID 1	73	—	41	18	0,44	7	0,10
Châteauneuf-de-Moustiers, les Allaves (Alpes-de-Haute-Provence), coll. Thieuloy	92	—	52	23	0,44	9,5	0,10
Châteauneuf-de-Moustiers, Issarpayes (Alpes-de-Haute-Provence), coll. Grenoble, ID 2	95	78	44	19	0,43	9	0,12
Cressier (Suisse), coll., Busnardo	96	—	51,5	22,5	0,44	—	—
Montbrun-les-Bains (Drôme), coll. Thieuloy	129	110	60	22	0,37	11	0,10
Cressier (Suisse), coll. Schardt pl. XXX, fig. 2 in BAUMBERGER	142	123	66	30	0,45	16	0,13
La Loubière (Ardèche), coll. Busnardo	160	—	90	33	0,36	16	0,10
Rougon (Alpes-de-Haute-Provence), coll. Jaubert, Grenoble, ID 4, pl. XXX, fig. 1 in BAUMBERGER	171	170	88	39	0,44	23	0,14
Salève (Haute-Savoie), coll. Favre Genève, texte-fig. 161 in BAUMBERGER	191	—	105	32	0,30	22	0,11
Escragnolles (Alpes-Maritimes), coll. d'Orbigny, pl. 42, fig. 1-2 in D'ORBIGNY = Holotype	330	—	180	50	0,28	—	—
Sampzon (Ardèche), coll. Clavel	320	—	138	60	0,43	66	0,20

Affinités. — BAUMBERGER a souvent comparé *S. hoplitoides* (BAUMBERGER, 1905, p. 47, texte-fig. 29, pl. IX, fig. 3) et *S. clypeiformis*; l'étiquette manuscrite de l'holotype d'Hauterive (coll. Neuchâtel) témoigne même d'une subordination spécifique; toutefois, *S. hoplitoides* possède une région ventrale plus arrondie, une

◀ FIG. 8-9. — *Saynella clypeiformis* (D'ORB).

FIG. 8a. — Section ($\times 0,71$) d'un grand exemplaire adulte, à $D = 320$ mm. Hauterivien inférieur, zone à *Nodosoplicatum*, Sampzon (Ardèche). Coll. B. Clavel, Université de Lyon.

FIG. 8b. — Section ($\times 1$) de l'exemplaire de la Loubière (Ardèche). Coll. R. Busnardo, Université de Lyon.

FIG. 8c. — Section ($\times 1,43$) de l'exemplaire de Cressier, niveau 12. Hauterivien inférieur, zone à *Loryi*. Coll. R. Busnardo, FSL 109686.

FIG. 9a. — Suture cloisonnaire ($\times 1,8$) de l'exemplaire de Cressier, à $H = 50$ mm.

FIG. 9b. — Suture cloisonnaire usée ($\times 1,15$) de l'exemplaire de Sampzon, à $H = 105$ mm.

section plus épaisse ($E/H = 0,52$) et une ornementation faite de côtes devenant de plus en plus larges et aplatis. Pour ces traits bien particuliers, *S. hoplitoides* mérite d'être distinguée spécifiquement de *S. clypeiformis*.

Répartition géographique et stratigraphique. — La présence de *S. clypeiformis* est commune dans plusieurs régions du Sud-Est français (Baronnies, Ardèche, Gard, Arc-de-Castellane), y compris dans les gisements du domaine vocontien ; on la rencontre au sein de séries normalement stratifiées, où sa position stratigraphique peut être connue avec exactitude ; ainsi, à Montbrun-les-Bains (Drôme), aux Allaves et au Pont-de-Carajuan (Alpes-de-Haute-Provence), à Vernassal (Gard) et à Sampzon (Ardèche), elle est associée aux ammonites de la zone à *Nodosoplicatum*. En fait, là où les documents sont les plus nombreux (Ardèche), *S. clypeiformis* apparaît avant le début de la zone à *Nodosoplicatum* et disparaît avant la fin de celle-ci.

Cette espèce est également bien représentée dans le Jura ; elle est citée de Cressier (J 21865, coll. Bâle), du Landeron (J 14603, coll. Bâle), du Mont-Salève (coll. Genève et Lausanne), de Villers-le-Lac (N° 866, coll. Genève) et du Mont-Chamblon (coll. Lausanne).

Certains de ces échantillons sont constitués d'un calcaire marneux grisâtre (J 21865) et proviennent d'un niveau élevé de la Marne bleue d'Hauterive, situation confirmée par l'individu récolté par nous-mêmes dans le niveau 12 de la marnière de Cressier ; mais le lithofaciès jaunâtre des autres (Salève, Villers-le-Lac) indique que leur gisement devrait se situer dans la Pierre jaune.

Enfin, les indications accompagnant trois fragments carénés du Mont-Chamblon (coll. Paris, Lausanne) suggèrent qu'ils proviennent de l'horizon des Marnes d'Uttins.

Ainsi, *S. clypeiformis* est présente dans la partie supérieure de la zone à *Loryi* et à la base de la zone à *Nodosoplicatum*.

5.5. Genre *Lyticoceras* HYATT, 1900

Espèce-type : *Ammonites cryptoceras* D'ORBIGNY, 1840, p. 106-108, pl. 24.

Cinq échantillons ont pu être rapportés à ce genre évolué de Néocomitide, dont la position stratigraphique est parfaitement repérée dans les séries vocontiennes, cévenoles et provençales du Sud-Est de la France ; trois ont été trouvés en collections anciennes et deux autres ont été récoltés en place au cours de l'année 1980.

5.5.1 *Lyticoceras* sp. inc. Pl. 3, fig. 3

Ce spécimen N° 1887 de la collection PICTET (Genève) est une coquille presque complète ($D = 198$, $H = 45$, $E/H = 0,70$, $O/D = 0,38$) possédant un large ombilic, une section massive à ventre arrondi et présentant sur l'ultime quart du dernier tour conservé, correspondant d'ailleurs au début de la loge d'habitation, quelques nodosités margino-ventrales, significatives de sa position systématique.

L'étiquette manuscrite, qui l'accompagne, porte la détermination « *Ammonites (Hoplites) cryptoceras* D'ORB. » ; elle est en partie justifiée, mais on peut toutefois émettre une réserve sur l'attribution spécifique, compte tenu de la médiocre conservation.

Il provient du Landeron et il est constitué d'un calcaire jaunâtre, indiquant que son point de récolte doit se situer au sein de la Pierre jaune.

5.5.2. *Lyticoceras* aff. *salevense* (KILIAN, 1895)

Le spécimen N° 62 (musée de Lausanne) appartient à un lot de fossiles récoltés « au Nord-Est du Mont-Chamblon dans une couche de marnes », ainsi que le précise la lettre du collecteur M. A. COURVOISIER adressée à M. RENEVIER et datée du 11 mai 1903. Il provient donc, selon toute vraisemblance de l'horizon des Marnes d'Uttins et le lithofaciès de marnes jaunes, dont il est formé, ne contredit pas cette hypothèse.

5.5.3. *Lyticoceras* sp. inc.
Texte-fig. 10

Il s'agit d'un fragment d'ammonite cassée obliquement. Il est donc difficile d'en restituer correctement la section. La hauteur du fragment atteint 42 mm, mais la hauteur réelle est un peu supérieure à cette valeur. Le bord ventral n'est pas aigu, ainsi qu'on peut le percevoir faiblement dans le tour interne; la section semble assez épaisse avec un rapport E/H de l'ordre de 0,48. On ne distingue pas de costulation. Par contre, la suture cloisonnaire bien visible (fig. 10) montre un lobe latéral large et dissymétrique rappelant celui des *Lyticoceras*.

Cette ammonite a été trouvée par A. MOUTY au sommet de la Pierre jaune à Confort (Ain).

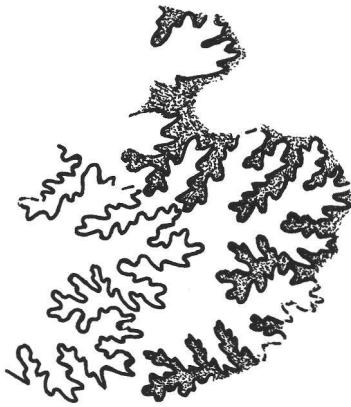


FIG. 10. — Suture de *Lyticoceras* sp. ($\times 3$); Confort, sommet de la Pierre Jaune. Coll. Mouty.

5.5.4. *Lyticoceras* sp. juv. gr. *cryptoceras* (D'ORBIGNY)
Pl. 2, fig. 4

Un demi-tour d'un individu juvénile (Université de Lyon, FSL 109893) de 25 mm de diamètre a été récolté en juin 1980 dans un niveau de marnes jaunes (= horizon 4 de JORDI, 1955), situé presque au milieu de la séquence des Marnes d'Uttins (= «Marnes à *Eudesia*» des anciens auteurs suisses), visibles en affleurement dans la carrière ouverte à l'extrémité orientale du Mont-Chamblon. Sa costulation est bien celle d'un Néocomitide évolué présentant dès ce stade les chevrons ventraux et les petites nodosités margino-ventrales, si caractéristiques du genre *Lyticoceras*.

Attribution stratigraphique. — Le genre *Lyticoceras* est l'élément significatif majeur de la faune d'une unité biostratigraphique élevée de l'Hauterivien inférieur: la zone à *Nodosoplicatum*; ce matériel permet ainsi d'attribuer à l'Hauterivien inférieur et plus précisément à la zone à *Nodosoplicatum* toute la partie inférieure de la formation de la Pierre jaune de Neuchâtel, y compris l'horizon marneux des Marnes d'Uttins de la région d'Yverdon.

5.5.5. *Lyticoceras claveli* n. sp.
Pl. 3, fig. 1-2 et texte-fig. 11ab.

v 1915 — *Leopoldia dubisiensis* var. *bargemensis* KIL., 1910. KILIAN & REBOUL (*pro parte*), pp. 244-246.

Holotypus. — Le spécimen représenté planche 3, fig. 1-2, récolté en 1980 par B. CLAVEL (Genève) et conservé dans les collections du laboratoire de Géologie de l'Université de Lyon.

Locus typicus. — Mont de Musièges, canton de Frangy (Haute-Savoie, France).

Stratum typicum. — Niveau 38 de la formation Pierre jaune de Neuchâtel, situé au-dessus d'un horizon marneux, qui est l'homologue des Marnes d'Uttins. Hauterivien inférieur, zone à *Nodosoplicatum* (CHAROLLAIS et al., 1983, p. 238).

Diagnose. — *Lyticoceras* caractérisé par le renflement exceptionnel des côtes internes en cordons rétroverses et par la quasi continuité des convexités ventrales, étroitement interrompues sur la ligne siphonale.

Mensurations de l'holotype

Dmax	Dmes	H	E	E/H	O	O/D	Nombre côtes internes	Nombre côtes externes
226	—	72,5	48?	0,66	102	0,45	30	58
	170	56	44	0,78	79	0,46	—	—

Description. — C'est un spécimen, constitué d'un calcaire oobioclastique de teinte ocree, entièrement cloisonné, partiellement déformé en quelques points et dont les tours internes ne sont pas visibles; l'ornementation n'est ainsi observable que sur le dernier tour conservé.

Coquille discoïde et largement ombiliquée ($O/D = 0,45$); section du tour ovoïde, à flancs faiblement convexes et convergents sur une région ventrale présentant des épaulements modérés au début du dernier tour, puis régulièrement arrondie; épaisseur maximale atteinte au tiers interne des flancs; paroi ombilicale peu élevée, presque verticale et raccordée aux flancs par un rebord arrondi (fig. 11b).

Ornementation constituée de côtes internes épaissies en cordons boursouflés, régulièrement bifurquées sur le milieu des flancs et de côtes externes de relief plus modéré et plus irrégulier. Quelques côtes intercalaires simples complètent la costulation principale; elles prennent naissance soit sur le rebord ombilical, soit sur le milieu des flancs (fig. 11a).

Les côtes internes présentent une nette tendance à la rétroversion, tandis que le tracé des côtes externes s'infléchit vers l'ouverture, de telle sorte que celles-ci dessinent sur la région ventrale des convexités de relief notable, étroitement interrompues sur la ligne siphonale.

Enfin, une nodosité est apparente sur quelques côtes externes, au stade où l'épaulement margino-ventral, probablement mieux marqué sur les tours internes, est encore perceptible, c'est-à-dire au début du dernier tour conservé.

La ligne cloisonnaire n'est pas analysable en raison de la texture grossière de la roche.

Affinités. — C'est avec «*Acanthodiscus (Neocomites) paludensis*» KILIAN & REBOUL, 1915 qu'il faut tout d'abord comparer ce type nouveau; le spécimen de la Bégude (synclinal de Châteauneuf-de-Moustiers, Alpes-de-Haute-Provence), bien que présentant des côtes trituberculées sur les tours internes, n'est pas un *Acanthodiscus*, mais appartient au plexus *Lyticoceras*. Sur l'ultime quart du dernier tour conservé, correspondant au début de l'observation sur le type de *claveli*, l'agencement des côtes, leur bifurcation et leur rétroversion sont assez comparables; toutefois le renforcement du relief de la côte interne ne s'y fait pas sentir, alors que sur le tour interne, ce phénomène est plus notable; on peut même admettre que l'évolution ultérieure de la costulation ne se traduira pas par un gonflement des côtes internes. En outre, la section à flancs subparallèles de *paludensis* est plus caractéristique des *Lyticoceras* classiques du groupe *cryptoceras*. Comment peut-on dans l'attente de la découverte d'un spécimen plus complet de *L. claveli*, se représenter les tours internes de cette espèce? Nous pensons qu'ils pourraient être ceux d'une forme non figurée par KILIAN & REBOUL, mais contenue dans la population hétérogène, qu'ils avaient dénommée «*Leopoldia dubisiensis*» var. *bargemensis*, et provenant du gisement de La Bégude (zone à *Nodosoplicatum*); on y observe en effet le gonflement des côtes internes, la rétroversion générale de la costulation, la bifurcation élevée des côtes principales et le développement de forts tubercules margino-ventraux.

L'évolution d'un tel motif ornemental nous paraît tout à fait compatible avec celui de *claveli*.

Cette nouvelle espèce doit être considérée comme représentative d'un stade élevé de l'évolution du plexus *Lyticoceras*, où se manifestent déjà quelques traits du genre *Cruasiceras*: le galbe de la section, le faible

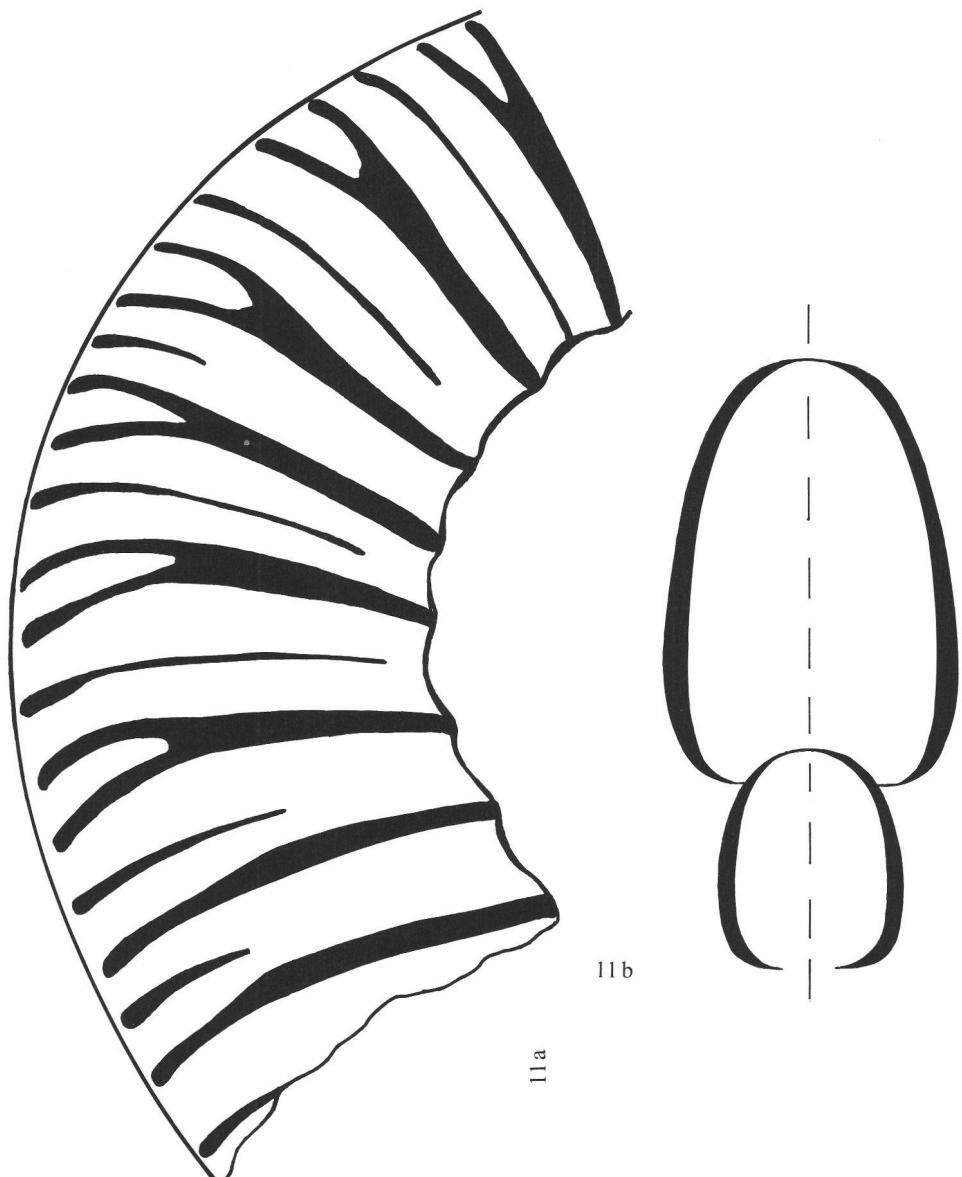


FIG. 11. — *Lyticoceras claveli* n. sp.

FIG. 11a. — Aspect de la costulation sur la partie terminale du dernier tour ($\times 1$). Université de Lyon. Holotype (pl. III, fig. 1-2).

FIG. 11b. — Section de l'exemplaire précédent ($\times 1$).

recouvrement des tours et la costulation ventrale tendant à la continuité de son tracé. Cette interprétation évolutive paraît confirmée par le gisement du spécimen holotypique dans le membre supérieur de la Pierre jaune de Neuchâtel, situation donc susjacente au niveau des Marnes d'Uttins où fut découvert un individu juvénile de *Lyticoceras* classique. Enfin, un spécimen pratiquement conspécifique a été récolté dans le massif de la Grande Chartreuse (THIEULOUY et al., 1983) quelques mètres sous le niveau particulièrement riche en *Cruasiceras cruasense*, en confirmant ainsi la position de cette nouvelle forme au tout sommet de la zone *Nodosoplicatum*.

5.6. Genre *Teschenites* THIEULOY, 1971

Espèce-type: *Hoplites neocomiensiformis* UHLIG, 1901, p. 54, pl. 3, fig. 2.

Ce taxon fut créé pour un ensemble de Néocomitides évolués, particulièrement abondants en province vocontienne et dont les différentes espèces sont réparties du Valanginien sommital (zone à *Callidiscus*) à l'Hauterivien basal (zone à *Radiatus*).

Nous avons également rencontré ces formes en domaine jurassien, mais leur fréquence s'y révèle très inférieur à celle constatée en faciès pélagique.

5.6.1. *Teschenites* cf. *pachydicranus* (THIEULOY, 1977)

Deux spécimens peuvent être rapportés à cette espèce typiquement variocostulée.

L'un a été récolté dans le niveau 2 de la marnière de Cressier, soit 1 m au-dessus du toit du Calcaire roux. La costulation fine et dense sur le début du dernier tour devient rapidement plus grossière vers la fin de ce même tour, en dessinant des chevrons ventraux très profonds.

L'autre a été trouvé dans les collections de Bâle et provient aussi de Cressier.

Ainsi, l'espèce vocontienne, dont l'épibole se situe dans l'Hauterivien basal, est donc également représentée à ce niveau dans la Marne bleue d'Hauterive jurassienne.

5.6.2. *Teschenites* sp. inc.

Quelques autres individus sont aussi des *Teschenites*, sans qu'il soit possible de les attribuer à une espèce précise.

Les uns sont valanginiens; ce sont ceux récoltés à Sainte-Croix (ravin du Colas) dans les niveaux 1 (1080) = «marnes à Bryozoaires» et dans les niveaux 2 (1081) et 3 (1082) associés alors à des *Dichotomites* du Valanginien supérieur.

Les autres (Hauterive: N° 870, coll. de Genève; Le Landeron: N° 887, coll. de Genève et Tr 3, coupe FL) présentent une costulation homogène fine et dense et proviennent des premiers niveaux de la Marne bleue d'Hauterive.

Enfin, il faut souligner un fait fondamental pour les corrélations biostratigraphiques entre les domaines boréal et jurassien; alors que durant le Valanginien supérieur les conditions paléogéographiques étaient favorables au transfert des formes boréales (*Dichotomites*) vers la plate-forme jurassienne et même jusqu'au domaine vocontien, à l'Hauterivien inférieur les migrations cessent et la plate-forme jurassienne n'accueille plus d'Ammonites boréales, bien que le transit des *Acanthodiscus* se réalise dans le sens opposé et que les Foraminifères et les Dinoflagellés de l'Hauterivien inférieur jurassien soient en majorité ceux du bassin boréal.

En effet, nos recherches sur le terrain et l'inventaire des collections de Genève, Lausanne, Neuchâtel et Bâle sont restés négatifs et nous pouvons affirmer que le genre *Endemoceras*, dont les représentants constituent les indices de la zonéographie hauterivienne boréale, est totalement absent dans le domaine jurassien, interdisant ainsi la comparaison directe des biozonations.

6. CONCLUSIONS

6.1. Conclusions paléontologiques

Parmi les résultats obtenus, nous retiendrons:

- la répartition assez homogène des ammonites dans la Marne bleue et leur représentation encore notable dans la partie basale de la Zone marno-calcaire;
- la suprématie constante de deux phylons *Acanthodiscus* et *Leopoldia*, prolifiques quantitativement et diversifiés spécifiquement, suggérant un endémisme relatif de la plate-forme jurassienne à l'Hauterivien et contrastant avec l'absence quasi totale de familles entières (Holcodiscides: aucun représentant et Criocératides: un unique spécimen) ou la rareté relative du stock des Olcostéphanides;

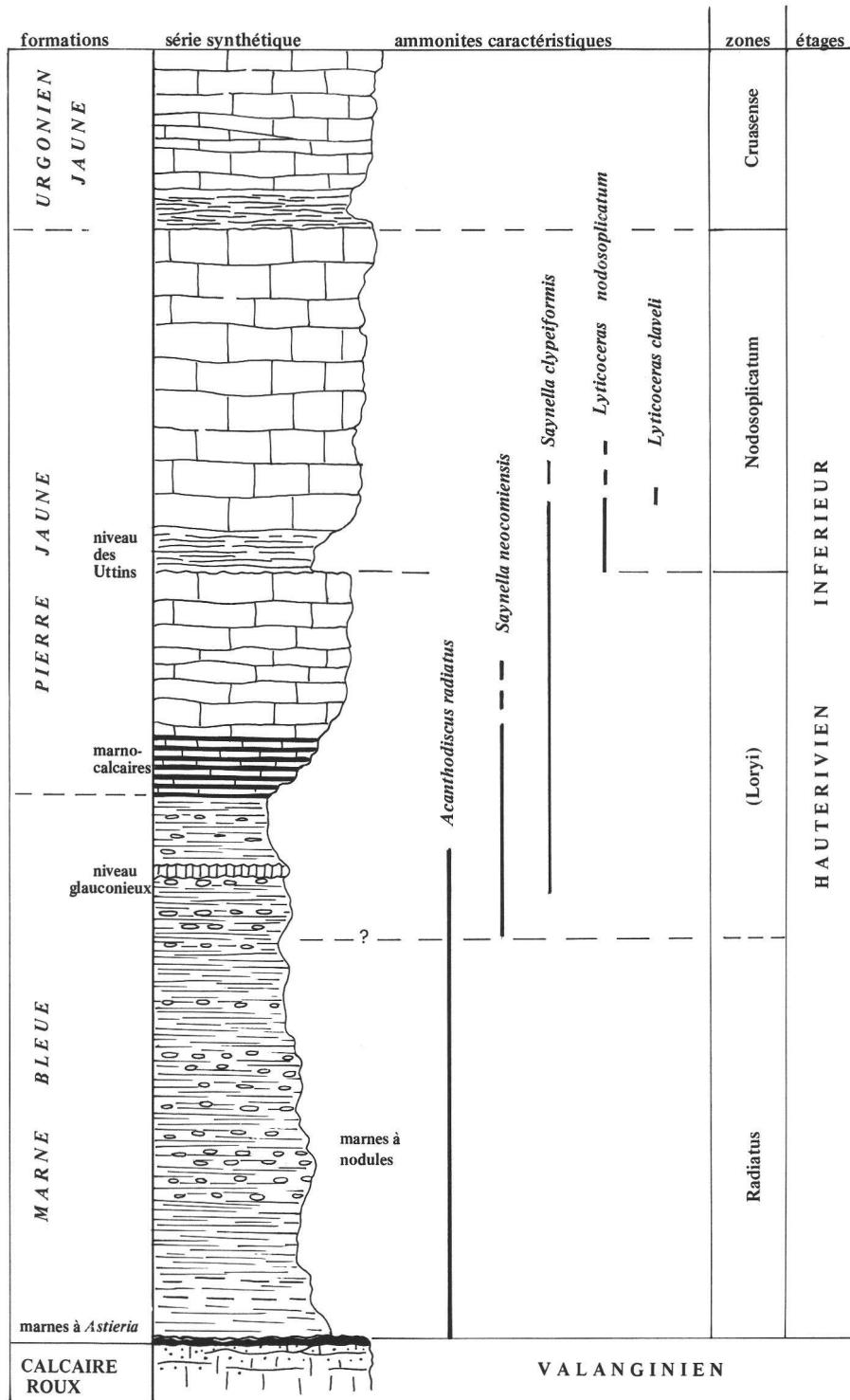


FIG. 12. — Série synthétique de l'Hauterivien de la région de Neuchâtel. Répartition des ammonites significatives dans les formations lithologiques principales et leur correspondance biostratigraphique.

- l'épanouissement quasi simultané des différentes espèces du genre *Acanthodiscus* dont la phylogénie est de ce fait difficile à préciser, phénomène habituel constaté dès lors que l'on dispose de populations abondantes;
- l'évolution confirmée du phylon *Leopoldia* produisant des formes à région ventrale de plus en plus mince et arrondie et produisant le rameau latéral *Saynella*;
- la présence vérifiée d'éléments boréaux dans les formations valanginiennes sous-jacentes : *Platylenticeras gevriili* (D'ORB.) à Valangin (toit du Calcaire roux) et *Dichotomites gr. bidichotomoides* KEMPER, à Sainte-Croix («*Astieria*» zone = Bryozoën- und Spongienfacies» in BAUMBERGER, 1903, p. 45), démontrant l'existence de larges communications entre le domaine jurassien et le bassin d'Allemagne du Nord tout au cours du Valanginien;
- enfin, l'absence totale de migrants boréaux (*Endemoceras*, *Distoloceras*) dans l'Hauterivien jurassien, témoignant de modifications paléogéographiques profondes (variations de l'épaisseur de la trame d'eau ou du régime des courants, relief plus marqué de seuils, ...).

6.2. Interprétation statigraphique

L'examen des données ammonitologiques, arguments de base pour une interprétation biostratigraphique de l'Hauterivien stratotypique (fig. 12), conduit à formuler les remarques suivantes :

- il n'existe pas d'indices paléontologiques pour étayer un retour à la définition historique de RENEVIER (1874) de l'étape Hauterivien. La Marne jaune de Morteau à *Ammonites astierianus* ou son homologue lithologique (*Astieriamergel*) lorsqu'elle a pu être reconnue et échantillonnée (Valangin, Sainte-Croix), ne fournit pas de fossiles hauteriviens au sens de KILIAN (1895), qui adopta pour la première fois *A. radiatus* comme indice de la base de l'étage Hauterivien. Les seules ammonites que nous y avons récoltées (*Olcostephanus atherstoni* à Valangin, *Dichotomites gr. bidichotomoides*, *Karakaschiceras cf. biassalense*, *Teschenites* sp. inc. à Sainte-Croix appartiennent au Valanginien supérieur.
- La Marne bleue paraît entièrement comprise dans la Zone à *Radiatus*, puisque les deux espèces significatives *A. radiatus* et *L. leopoldina* sont présentes de la base au sommet de cette formation; toutefois, la range-zone de l'espèce-indice pourrait être surdéveloppée dans ce contexte paléogéographique particulièrement favorable, en s'étendant sur des strates, qui seraient déjà caractérisées par *Crioceratites loryi* en province vocontienne. La présence toute vraisemblable du Criocère de Vauseyon (SCHARDT, 1907) du groupe *loryi* dans la Marne bleue et celle de *S. clypeiformis* à Cressier dans la partie sommitale de cette formation sont deux arguments en faveur de cette hypothèse.
- La Zone marno-calcaire pourrait donc représenter la zone à *Loryi* qui s'étendrait jusqu'à l'horizon des Marnes d'Uttins, en recouvrant ainsi une partie importante de la formation de la Pierre jaune de Neuchâtel.
- Les Marnes d'Uttins et le reste de la Pierre jaune appartiennent à la zone à *Nodosoplicatum*.
- Aucune ammonite d'âge Hauterivien supérieur n'a été récoltée en un point quelconque de l'Hauterivien neuchâtelois, si bien que sa subdivision de valeur chronostratigraphique en Hauterivien inférieur (Marne bleue et Zone marno-calcaire) et Hauterivien supérieur (Pierre jaune de Neuchâtel) ne repose sur aucune argumentation paléontologique et doit donc être abandonnée.

7. BIBLIOGRAPHIE

- ATROPS, F. — (1967). Etude de quelques genres de la sous-famille des *Neocomitinae*. Dipl. Etudes sup. Univ. Grenoble (inédit).
- BAUMBERGER, E. — (1903-1910). Fauna der Unterkreide im Westschweizerischen Jura. part I-IV. *Mém. Soc. paléont. suisse*, 30-36: pl. 1-33 Zürich.
- BREISTROFFER, M. — (1936). Révision de la faune hauterivienne du Néron en Chartreuse. *Trav. Lab. Géol. Fac. Sci. (Univ.) Grenoble* 18: 131-155.
- BUSNARDO, R. — (1970). *Torcapella*, nouveau genre d'Ammonites du Barrémien inférieur. *Docum. Lab. Géol. Fac. sci. (Univ.) Lyon* 37: 85-131, 2 pl.
- BUSNARDO, R. & GUILLAUME, S. — (1965). Sur quelques Ammonites néocomiennes du Jura suisse. *Trav. Lab. Géol. Fac. Sci. (Univ.) Lyon* [n. s.] 12: 129-136, pl. 1.

- BUSNARDO, R., THIEULOUY, J.-P., MOULLADE, M., et al. — (1979). Hypostratotype mésogénien de l'étage Valanginien (Sud-Est de la France). *Les Stratotypes français* 6: 143 p., 11 pl., Ed. C.N.R.S., Paris.
- CLAVEL, B. — (1989). Les échinides du Crétacé inférieur jurassien: stratigraphie, paléoécologie, paléontologie. *Mém. Soc. neuchât. Hist. nat.* 11: 149-182.
- COTILLON, P. — (1971). Le Crétacé inférieur de l'Arc subalpin de Castellane entre l'Asse et le Var. Stratigraphie et Sédimentologie. *Mém. Bur. Rech. géol. min.* 68: 313 p., 8 pl.
- DRUSCHCHITS, V. V. — (1960). Atlas de la faune du Crétacé inférieur du Caucase septentrional et de la Crimée (en russe). *Trudy vsesoj. naucn.- issled. geol. Inst.*, Moscou: 249-309, 47 pl.
- GOGUEL, J. — (1940). Contribution à l'étude du groupe de l'*Acanthodiscus radiatus*. *Ann. Paléont.* 28: 1-27, 3 pl., Paris.
- KARAKASCH, N. — (1905). Sur quelques Ammonites remarquables de la Crimée (en russe). *Trav. Soc. imp. Natur. St-Petersbourg* 36: 12 p.
- KARAKASCH, N. — (1907). Le Crétacé inférieur de la Crimée et sa faune. *Trav. soc. imp. natur. St-Petersbourg* 32: 482 pp., 28 pl.
- KEMPER, E., RAWSON, P. F. & THIEULOUY, J.-P. — (1981). Ammonites of Tethyan Ancestry in the Early Lower Cretaceous of North-West Europe. *Palaeontology*, 24: 251-311, pl. 34-47, London.
- KILIAN, W. — (1895). Réunion extraordinaire de la Société géologique de France dans la Montagne de Lure et les environs de Sisteron. *Bull. Soc. géol. France* [3]: 659-803, Paris.
- KILIAN, W. — (1907-1910). *Lethaea geognostica*, Teil II, Bd 3, Kreide. *Stuttgart*.
- KILIAN, W. — (1910). Un nouvel exemple de phénomènes de convergence chez les Ammonitidés. Sur les origines du groupe de l'*Ammonites bicurvatus* MICH. (s. g. *Saynella* Kil.). *C. R. Acad. Sci. (Paris)* 150: 150-153.
- KILIAN, W. & LEENHARDT, F. — (1895). Sur le Néocomien des environs de Moustiers-Ste-Marie (Basses-Alpes). *Bull. Soc. géol. France* [3] 23: 970-981, Paris.
- KILIAN, W. & REBOUL, P. — (1915). Contribution à l'étude des faunes paléocrétaçées du Sud-Est de la France: Sur quelques Ammonites de l'Hauterivien de la Bégude (Basses-Alpes). *Mém. Explic. Carte géol. France*, 14: 225-288, pl. 10-15, Paris.
- LORIOL, P. DE — (1861). Description des animaux invertébrés fossiles contenus dans l'étage Néocomien moyen du Mont-Salève. *Genève*.
- NEUMAYR, M. & UHLIG, V. — (1881) Über Ammonitiden aus den Hilsbildungen Norddeutschlands. *Palaeontographica*, 27: 79 p., pl. 15-56, Kassel.
- ORBIGNY, A. d' — (1840-1842). Paléontologie française, Terrains crétacés, 1-662, pl. 1-148.
- PAQUIER, V. — (1900). Recherches géologiques dans le Diois et les Baronnies orientales. *Grenoble*.
- PICTET, F. J. & CAMPICHE, G. — (1858-1860). Description des fossiles des terrains crétacés de Sainte-Croix (Suisse). *Matér. Paléontologie Suisse* [2^e s.]: 1-380, pl. 1-43.
- QUENSEL, P. — (1988). Die Ammonitenfauna im Valangin-Hauterive Grenzbereich vom Mittellandkanal bei Pollhagen. *Berliner geowiss. Abh. (A)*: 94, 15-71, 6 pl., Berlin.
- REMANE, J., BUSNARDO, R., CHAROLLAIS, J., CLAVEL, B. & THIEULOUY, J.-P. — (1989). Description de profils dans l'Hauterivien de la région neuchâteloise, du Mont du Chamblon et des environs de Sainte-Croix (Cantons de Neuchâtel et de Vaud, Suisse). *Mém. Soc. neuchât. Hist. nat.* Neuchâtel 11: 19-48.
- ROMAN, F. — (1933). Sur quelques formes de Céphalopodes de l'Hauterivien de l'Yonne et des régions voisines. *Trav. Lab. Géol. Fac. Sci. (Univ.) Lyon* 22: 22 p., 4 pl.
- THIEULOUY, J.-P. — (1977). La zone à *Callidiscus* du Valanginien supérieur vocontien (Sud-Est de la France). *Géol. alpine* 53: 83-143, 7 pl., Grenoble.
- THIEULOUY, J.-P., BOISSEAU, T., FABRE, P. & GIDON, M. — (1983). Sur la position stratigraphique de *Lyticoceras claveli* BUSNARDO & THIEULOUY, 1983 dans le massif de la Grande-Chartreuse (Dauphiné, France). *Géol. alpine* 59: 61-64, 1 pl., Grenoble.
- WALTER, B. — (1972). Les Bryozoaires néocomiens du Jura suisse et français. *Geobios* 5/4: 277-354, 10 fig., pl. 20-26, Lyon.
- WALTER, B. — (1985). Les «Mésentéripores» (Bryozoaires cyclostomes). *Geobios* 18/1: 5-27, 4 fig., 9 pl., Lyon.
- WALTER, B. — (1986). Les *Diastopora* (Bryozoaires cyclostomes) néocomiens du Jura suisse et français. *Geobios* 19/2: 143-162, 8 fig., 7 pl., Lyon.

PLANCHE I

FIG. 1 et 2 — *Acanthodiscus radiatus* (BRUGUIÈRE)

Morphotype B — Cressier, niveau 14, Collections Université de Neuchâtel, Cl — Grandeur naturelle.

FIG. 3 — *Acanthodiscus vaceki* (NEUMAYR & UHLIG)

Le Landeron, niveau FL6, Collections Université de Neuchâtel Tr2 — Grandeur naturelle.

PLANCHE II

FIG. 1. — *Acanthodiscus pseudoradiatus*, BAUMBERGER

Le Landeron, Coll. Pictet, Muséum de Genève (déterminée antérieurement sous le nom de *Neocomites neocomiensisformis* UHLIG) — Grandeur naturelle.

FIG. 2. — *Saynella clypeiformis* (D'ORBIGNY)

Cressier, niveau 12, Coll. Université de Lyon FSL 109686. Grandeur naturelle.

FIG. 3. — *Leopoldia buxtorfi* BAUMBERGER

Le Landeron, niveau LA6, Coll. Université de Lyon. Grandeur naturelle.

FIG. 4. — *Lyticoceras* sp. juv. gr. *cryptoceras* D'ORB.

Le Chamblon, marnes des Uttins \times 2. Université de Lyon, FSL 109893.

FIG. 5a-b — *Leopoldia (Renevierites)* cf. *renevieri* BAUMBERGER

Hauterivien inférieur, zone à Loryi. Montlebon près de Morteau (Doubs). Collection Walter, \times 1.

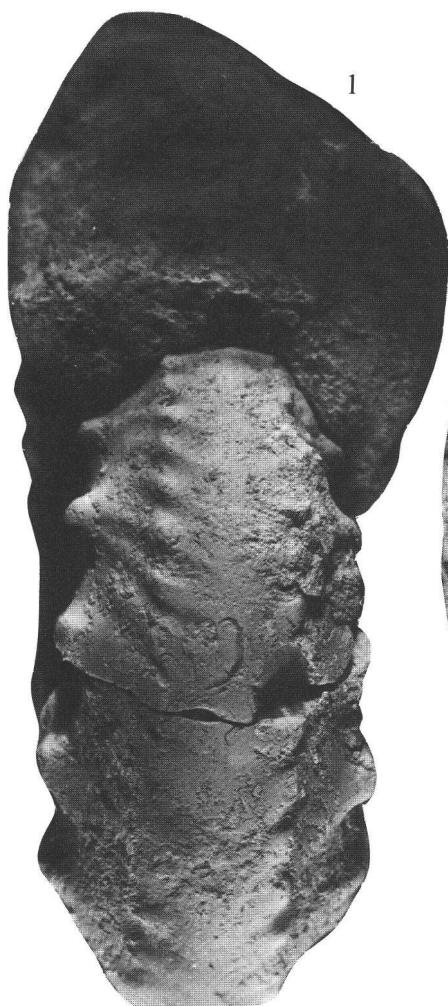
PLANCHE III

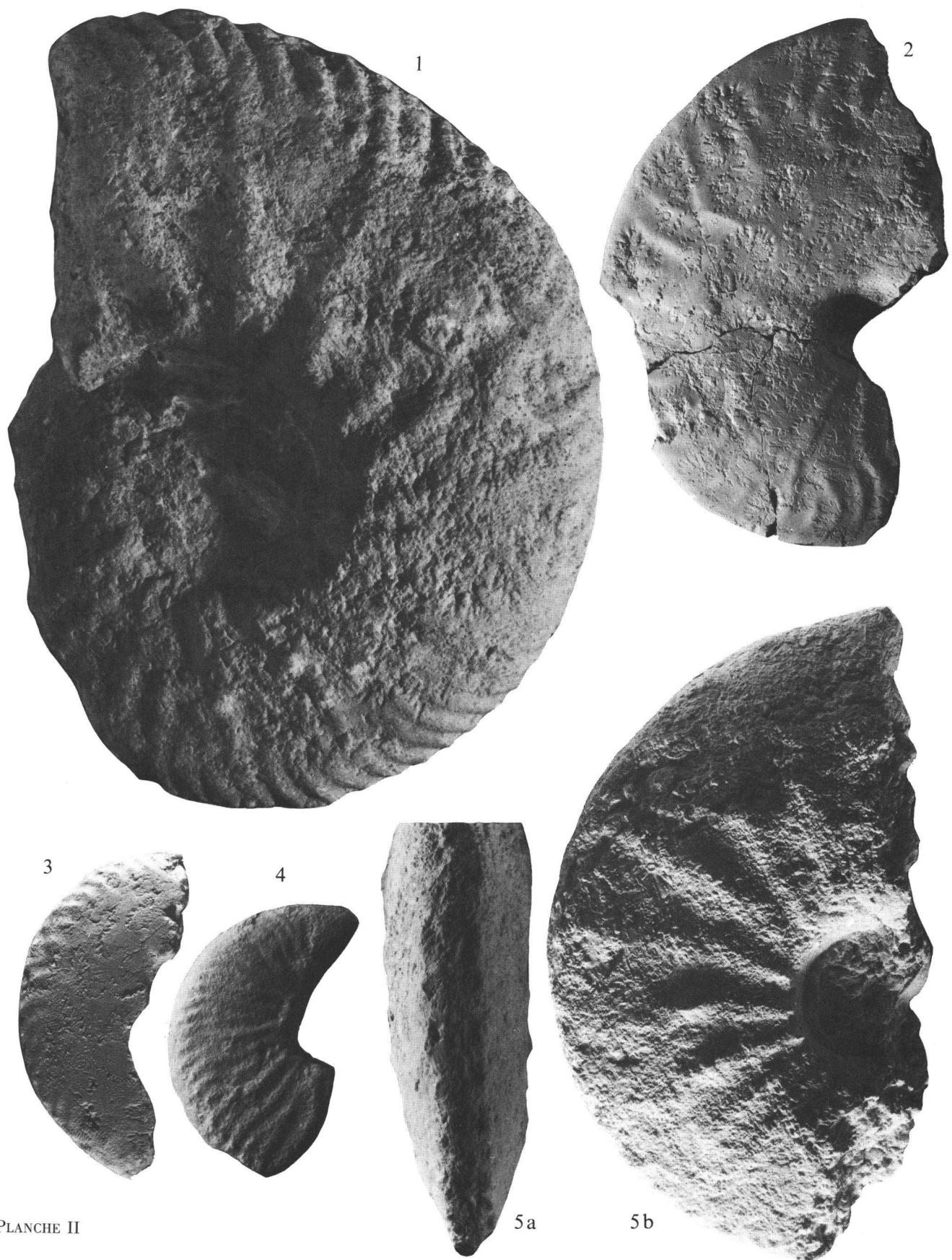
FIG. 1 et 2 — *Lyticoceras claveli* n. sp.

Hauterivien inférieur, zone à Nodosoplicatum — Musièges niveau 38 — Coll. B. CLAVEL, Université de Lyon, — \times 0,68

FIG. 3 — *Lyticoceras* sp. ind.

Le Landeron, Coll. Pictet, Muséum de Genève (antérieurement déterminée sous le nom de *Ammonites (Hoplites) cryptoceras* D'ORB.). Vue oblique.





1



2



3



PLANCHE III

Mémoires de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles	Tome XI	p. 149-182, 12 fig., 3 tabl., 1 pl.	Neuchâtel, 1989
--	---------	-------------------------------------	-----------------

ÉCHINIDES DU CRÉTACÉ INFÉRIEUR JURASSIEN: STRATIGRAPHIE, PALÉOÉCOLOGIE, PALÉONTOLOGIE

par

Bernard CLAVEL

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

ABSTRACT.—The echinids collected in the French and Swiss Jura, in particular during the revision of the historical stratotypes of Valangin and Hauterive, have been studied from a stratigraphical, paleoecological and paleontological point of view. Some of them—*Tetrapromania*, *Holaster*, *Toxaster*—show in anatomical structures such as interambulacrum 5 or apical system, (which cannot lead to a subjective interpretation), an evolutive trend of real biostratigraphical value. In the same time, a precise biostratigraphical attribution has been established for all the echinids historically described or quoted from the lower Cretaceous of Jura.

ZUSAMMENFASSUNG. — Die v. a. im Rahmen der Revision der historischen Stratotypen des Valanginien und Hauterivien im Französischen und im Schweizer Jura aufgesammelten Echiniden wurden paläontologisch, stratigraphisch und paläökologisch untersucht. Bei einigen Formen — *Tetrapromania*, *Holaster*, *Toxaster* — lassen sich anhand der Evolution des Interambulacrum 5 und des Apikalapparats Arten objektiv definieren, die einen realen biostratigraphischen Wert haben. Daneben konnten alle früher aus der Unterkreide des Jura beschriebenen Echiniden biostratigraphisch präzise eingeordnet werden.

RÉSUMÉ. — Les échinides collectés dans le Jura franco-suisse, notamment lors de la révision des stratotypes historiques du Valanginien et de l'Hauterivien, ont fait l'objet d'une étude stratigraphique, paléoécologique et paléontologique. Chez certains d'entre eux — *Tetrapromania*, *Holaster*, *Toxaster* —, l'évolution de structures anatomiques telles que l'interambulacre 5 et l'appareil apical, non susceptibles d'une interprétation subjective, permet de définir des espèces qui témoignent d'une réelle valeur biostratigraphique. Parallèlement, une attribution biostratigraphique précise a pu être établie pour l'ensemble des échinides historiquement décrits ou cités dans le Crétacé inférieur du Jura.

SOMMAIRE

	Pages
1. INTRODUCTION	151
2. COLLECTES NOUVELLES	151
2.1. Valangin	151
2.2. Sainte-Croix	152
2.3. Cressier	155
2.4. Le Landeron	155
2.5. Mont-de-Chamblon	155
2.6. Carrière de la Brunette	155
2.7. Gorges de l'Orbe	157
2.8. Vaulion	158
3. STRATIGRAPHIE	158
3.1. Séries hémpélagiques	158
3.2. Séries bioclastiques	158
4. ÉVOLUTION DES MILIEUX	159
4.1. Valanginien supérieur — Hauterivien inférieur	159
4.2. Hauterivien inférieur — Barrémien	161
5. EXTENSION STRATIGRAPHIQUE DES ESPÈCES CONNUES DANS LE JURA	161
5.1. Taxonomie	162
5.2. Stratigraphie	162
6. PALÉONTOLOGIE	167
6.1. Généralités	167
6.2. Cidaridae	168
6.3. Holectypidae	168
6.4. Collyritidae	169
6.5. Holasteridae	171
6.6. Toxasteridae	172
7. BIBLIOGRAPHIE	179

1. INTRODUCTION

Un grand nombre des échinides du Crétacé inférieur européen a été décrit dans la seconde moitié du siècle dernier par L. AGASSIZ, G. COTTEAU, E. DESOR, P. DE LORIOL, A. D'ORBIGNY, à partir d'exemplaires collectés dans le Jura suisse (Valangin, Cressier, Sainte-Croix...) et la région française voisine (Villers-le-Lac, Censeau...). Capital sur le plan paléontologique, le travail de ces auteurs n'est plus d'actualité sur le plan stratigraphique: les exemplaires décrits, généralement collectés peu rigoureusement, et rarement par les auteurs des diagnoses, y ont des localisations et des attributions stratigraphiques vagues, reflets des conceptions de l'époque. Dans les descriptions, les indications stratigraphiques correspondent le plus souvent à des formations et ne donnent pas d'extension plus précise que celle de l'étage. Cette imprécision explique le peu de valeur stratigraphique accordée jusqu'à présent aux échinides du Crétacé inférieur.

La révision des stratotypes historiques du Jura neuchâtelois a permis de placer dans le cadre biostratigraphique moderne les différents niveaux ou formations distingués par les anciens auteurs (BUSNARDO & THIEULOY, ce vol.). A cette occasion, de nombreux échinides, rigoureusement repérés, ont été collectés, tant dans le nord du Jura que dans le sud où de nouvelles datations ont également été obtenues (CLAVEL & CHAROLLAIS, ce vol.). Les coupes levées ont par ailleurs permis de tester la valeur biostratigraphique qui pouvait déjà être allouée aux échinides dans d'autres régions.

Bien entendu, pour les échinides comme pour les ammonites, toutes les formes ne présentent pas le même intérêt. Mais certaines d'entre elles, membres de groupes évoluant rapidement durant le Crétacé inférieur, marquent des coupures qui se concilient remarquablement avec certaines des limites définies par les ammonites.

2. COLLECTES NOUVELLES

L'abondance des échinides collectés dans la région stratotypique est très inégale selon les coupes étudiées, certaines d'entre elles (Cressier, Le Landeron, Mont-de-Chamblon) étant régulièrement visitées par les collectionneurs. Toutes les espèces historiquement connues n'ont donc pas été retrouvées.

La répartition précise des exemplaires nouvellement récoltés est notamment illustrée dans les fig. 1 à 4. Ceux-ci sont déposés dans les collections du Département des Sciences de la Terre de l'Université de Lyon, sous les numéros FSL 196100 à 196542.

Par coupe et par niveaux, cette répartition se résume ainsi:

2.1. Valangin (fig. 1)

- Calcaires noduleux (Zones à Pertransiens — Campylotoxum — Verrucosum condensées): *Hemicidaris acinum*, *Pygurus buchii*.
[En raison de l'affleurement extrêmement réduit qui a pu être échantillonné, nous rappellerons la faune citée de ce niveau par BAUMBERGER & MOULIN (1898: 168): *Cidaris muricata*, *Rhabdocidaris tuberosa*, *Spaniocyphus tenuis*, *Pygopyrina incisa*, *Pygurus rostratus*, *Pygurus buchii*, *Phyllobrissus cf. gresslyi*, *Tetrapromania jaccardi*, *Toxaster granosus* [= *kilianni*].]
- Marnes jaunes (Zones à Trinodosum — Callidiscus): *Rhabdocidaris tuberosa* (radiole), *Tetrapromania jaccardi*, *Toxaster kilianni*.
- Marnes bleues (Zone à Radiatus): *Toxaster lorioli*, *Toxaster remanei* (extrême base), *Rhabdocidaris tuberosa* (rad.), *Toxaster crassisulcatus*.

Collectés 3 m plus haut, sous les calcaires bioclastiques représentant le sommet de la séquence 1*, *Trochotriara rotularis*, *Phyllobrissus neocomiensis*, *Toxaster retusus* ne sont pas mentionnés dans la fig. 1.

* Les séquences et les discontinuités sédimentaires observées dans les formations comprises entre le Valanginien supérieur et le Barrémien sont décrites par CLAVEL & CHAROLLAIS (ce vol.).

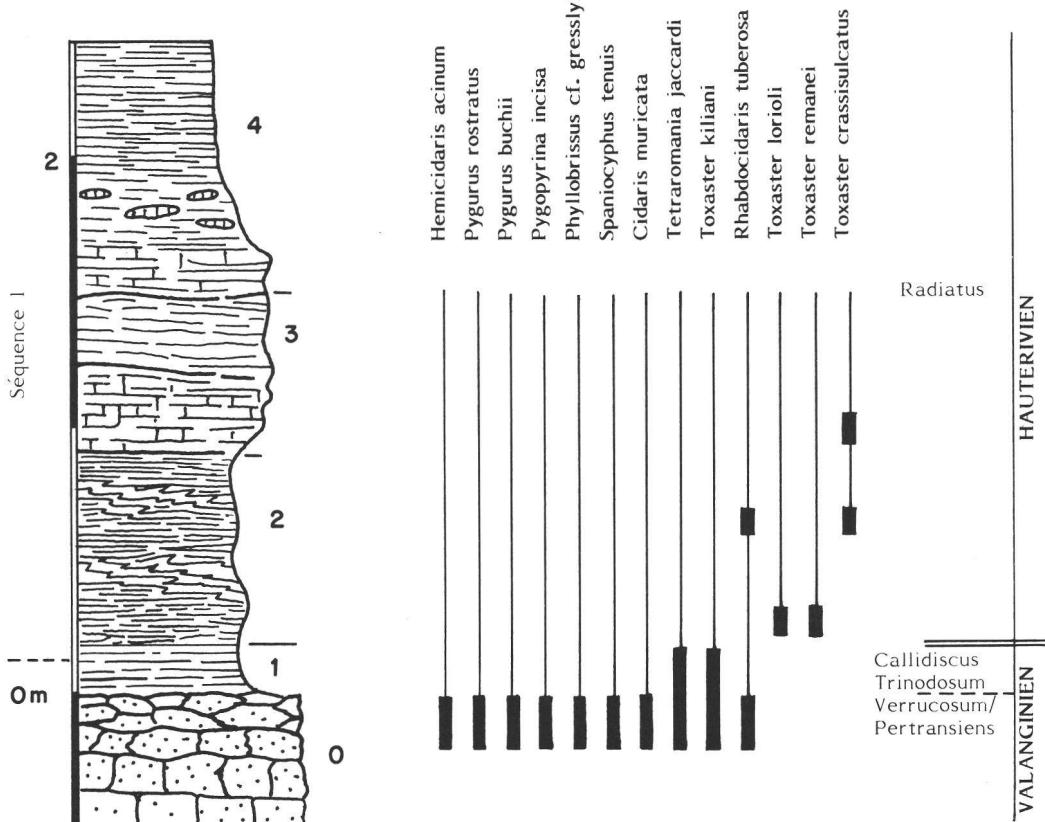


FIG. 1. — Répartition stratigraphique des échinides au passage Valanginien-Hauterivien dans la coupe de Valangin (NE).

Il convient de remarquer que les calcaires noduleux, très altérés, qui ont fourni des ammonites caractéristiques des Zones à Pertransiens et Verrucosum, contiennent un mélange d'échinides respectivement typiques des milieux infralittoral et circalittoral.

2.2. Sainte-Croix: Ravin du Colas (fig. 2)

Les marnes du Valanginien supérieur sont très riches en échinides, généralement de petite taille et la plupart du temps mal conservés.

- Marnes à bryozoaires (niveau 2 base = Zone à Trinodosum): *Cidaris muricata*, *Phyllacanthus sanctae-crucis*, *Hyposalenia stellulata*, *Trochotriara* sp., *Pygopyrina incisa*, *Tetrapromania jaccardi*, *Holaster valanginiensis*, *Toxaster kilianni*. Les calcaires roux sous-jacents, en contact par faille, avaient fourni à PICTET (1858) une ammonite caractéristique de la Zone à *Campylotoxum* (*Busnardoites desori*).
- Marne bleue:
- niveau 2 sommet — 3 (Zone à Trinodosum): *Cidaris muricata*, *Phyllacanthus sanctae-crucis*, *Hyposalenia stellulata*, *Trochotriara rotularis*, *Pygopyrina incisa*, *Tetrapromania jaccardi*, *Holaster valanginiensis*, *Toxaster kilianni*;
- niveau 4 (Zone à Trinodosum): *Holectypus macropygus*, *Phyllobriuss neocomiensis*, *Tetrapromania jaccardi*, *Holaster valanginiensis*, *Toxaster kilianni*;
- niveau 5 (Zone à Callidiscus): *Holaster valanginiensis*, *Toxaster cf. kilianni*, *Toxaster lorioli*;

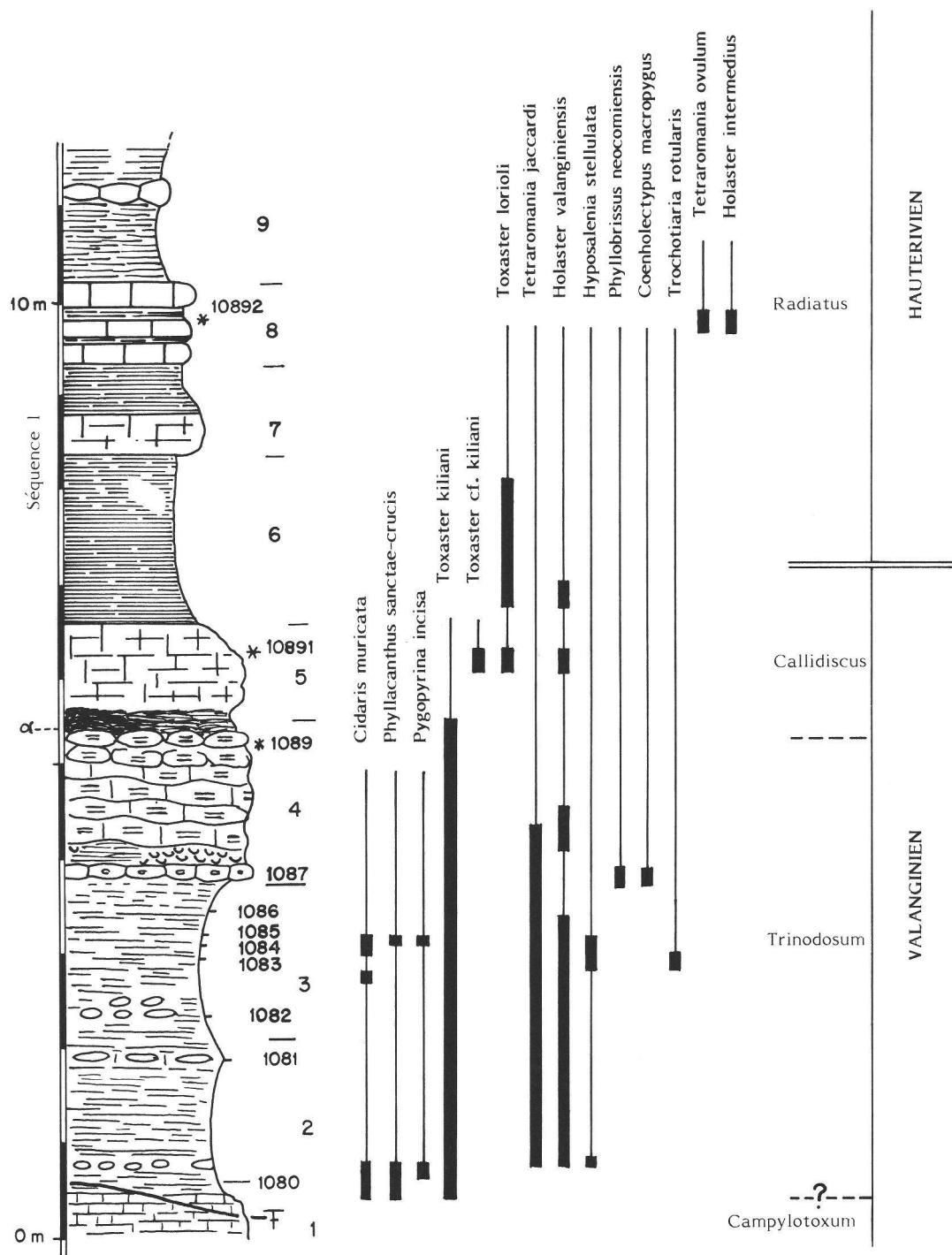


FIG. 2. — Répartition stratigraphique des échinides dans la coupe du Ravin du Colas, près de Sainte-Croix (VD).

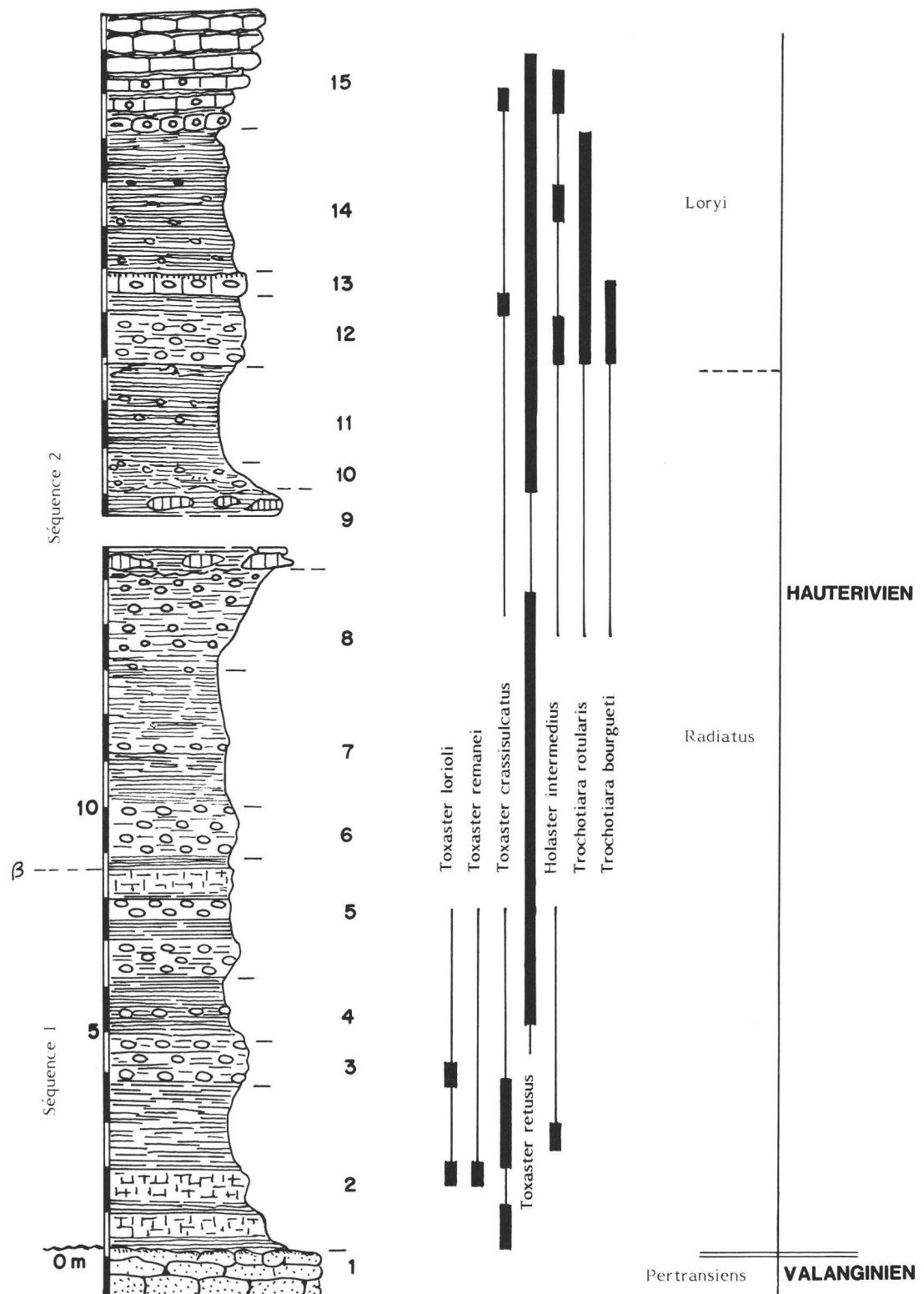


FIG. 3. — Répartition stratigraphique des échinides dans la marnière de Cressier (NE).

- niveau 6 (Zones à *Callidiscus* — *Radiatus*): *Holaster valanginiensis*, *Toxaster lorioli*. La limite Valanginien — Hauterivien peut être fixée à la partie moyenne de ce niveau, au-dessus de *H. valanginiensis*, en conformité avec le schéma séquentiel défini par ailleurs (CLAVEL & CHAROLLAIS, ce vol.);
- niveau 8 (Zone à *Radiatus*): *Tetrapromania ovulum*, *Holaster intermedius*.

Au-dessus, les échinides sont très rares (*Plagiochiasma olfersii*, *Holaster intermedius*, *Toxaster retusus*). La dilatation inhabituelle de la série peut en rendre compte.

Deux autres gisements de la même localité ont fourni des échinides:

- au Col des Etroits, les «Marnes blanches à Bryozoaires» contiennent *Cidaris muricata* (représentant la quasi-totalité de la faune), en compagnie de *Phyllacanthus sanctae-crucis* et *Hyposalenia stellulata* (Coll. B. WALTER). Ces niveaux ont été datés de la Zone à *Trinodosum* par P. DONZE (communication orale 1984), grâce aux associations d'ostrocodes;
- le talus de la route de L'Auberson (Zone à *Loryi*) a également fourni *Clypeopygus subquadratus* et *Holaster intermedius*.

2.3. Cressier (fig. 3)

L'ensemble de la marnière se situe dans les Zones à *Radiatus* et *Loryi*.

10 cm au-dessus du Calcaire roux [attribué à la Zone à *Pertransiens* par comparaison avec les coupes voisines de Valangin (à l'ouest) et du Landeron (à l'est)], la présence de *Toxaster crassisulcatus* indique que l'ensemble des marnes du Valanginien supérieur a été abrasé.

Dans les 5 m suivants (niveaux 1 à 3 = base de la Zone à *Radiatus*), *Toxaster lorioli*, *Toxaster remanei*, *Toxaster crassisulcatus* se rencontrent en compagnie d'*Holaster intermedius*.

Dès le niveau 5, *Toxaster retusus* constitue la grande majorité de la faune, accompagné, à partir du niveau 12 (Zone à *Loryi*), de *Trochotiara bourgueti*, *Trochotiara rotularis*, *Holaster intermedius* et *Toxaster crassisulcatus* (2 ex.).

2.4. Le Landeron (fig. 4)

Les quelques centimètres de marnes jaunes qui représentent les Zones à *Trinodosum* — *Callidiscus*, au-dessus des calcaires noduleux altérés, ont fourni *Toxaster kilianni*. Dans ces mêmes marnes jaunes, la présence de *Toxaster lorioli*, *Toxaster remanei* et *Toxaster crassisulcatus* marque la base de la Zone à *Radiatus*.

Toxaster lorioli et *Toxaster crassisulcatus* sont les seuls échinides qui aient été collectés dans les marnes du «Tir au pistolet» (Zone à *Radiatus*).

La coupe du «Tir au fusil», sous les faciès bioclastiques de la partie supérieure de la Zone à *Loryi*, a par contre fourni: *Trochotiara rotularis*, *Plagiochiasma olfersii*, *Toxaster retusus*.

2.5. Mont-de-Chamblon (voir fig. 12 dans REMANE et al., ce vol.)

- Marnes et marno-calcaires du plancher de la carrière (Zones à *Radiatus* — *Loryi*): *Phymosoma peroni*, *Trochotiara bourgueti*, *Plagiochiasma olfersii*, *Holaster intermedius* et *Toxaster retusus*.
- Marnes d'Uttins (Zone à *Nodosoplicatum*): *Hyposalenia stellulata*, *Trochotiara rotularis*, *Trochotiara bourgueti*, *Phymosoma peroni*, *Pyrina pygaea*, *Holaster intermedius*, *Toxaster retusus*.

2.6. Carrière de la Brunette à Serrières (voir fig. 13 dans REMANE et al. ce vol.)

- Vire marneuse basale: *Pseudocidaris clunifera* (radioles).
- Vire marneuse située à la partie moyenne: *Pseudocidaris clunifera* (radioles), *Pseudodiadema jaccardi*.

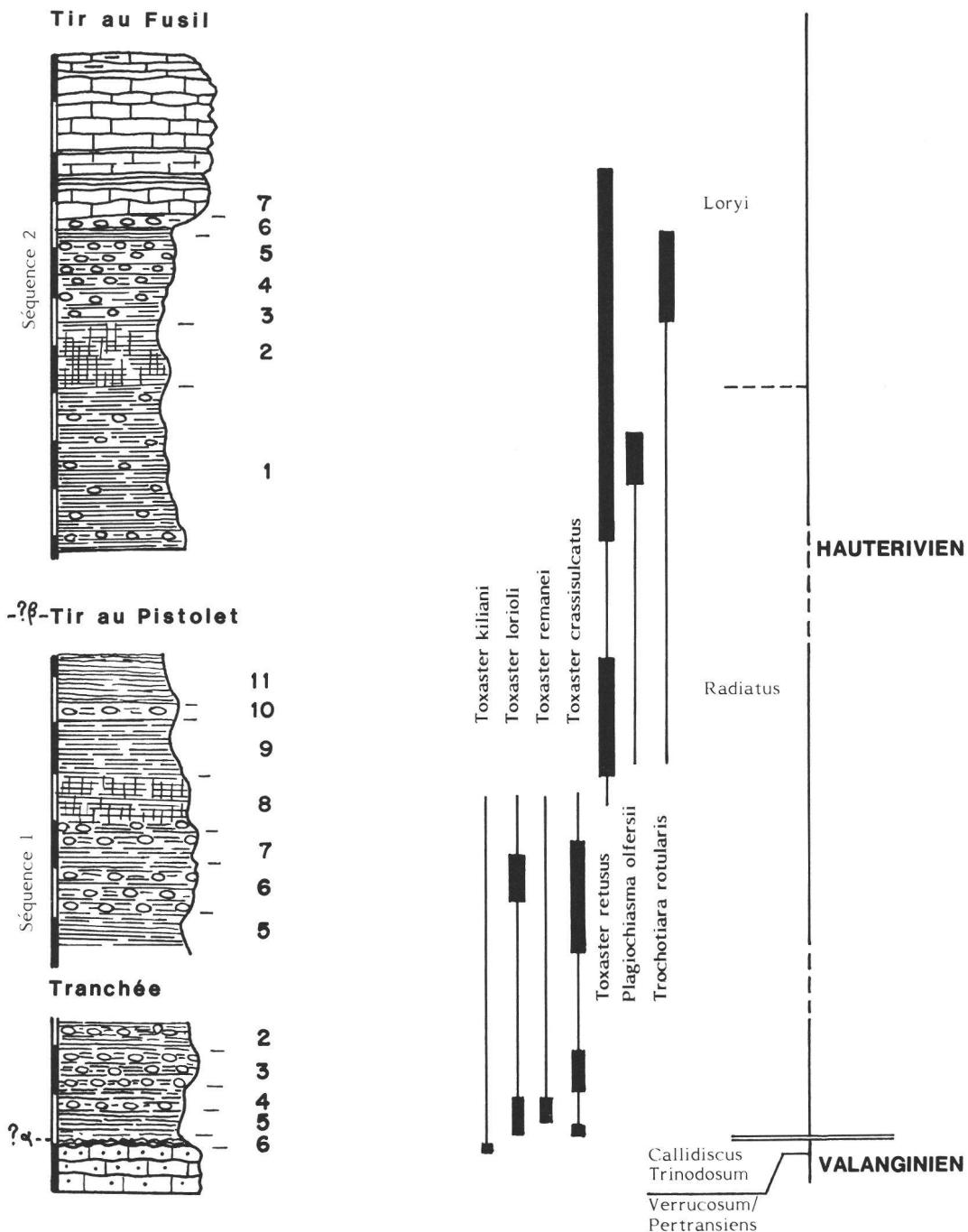


FIG. 4. — Répartition stratigraphique des échinides dans les différents affleurements de la Marne bleue au nord du Landeron (NE).

2.7. Gorges de l'Orbe

- Base de «l'Urgonien jaune» (Zone à Cruasense): *Cidaris lardyi*, *Pseudocidaris clunifera*, *Goniopygus peltatus*.
- Calcaires marneux de la partie supérieure de «l'Urgonien jaune» (Zones à Cruasense — Sayni): *Heteraster couloni*, *Goniopygus peltatus*.

2.8. Vaulion

- Marnes grises sises à la base de la séquence 5 (Zone à Sayni): *Cidaris lardyi*, *Pseudocidaris clunifera*, *Hyposalenia stellulata*, *Codiopsis jaccardi*, *Goniopygus peltatus*, *Astrolampas productus*.
- Calcaires à coraux sus-jacents: *Pseudocidaris clunifera*, *Astrolampas productus*.

D'autres collectes ont été effectuées, dans l'ensemble du Jura, en diverses coupes non détaillées ici: elles ont fourni des faunes identiques à celles du Jura neuchâtelois. Seule diffère leur position stratigraphique dans la série, en raison des variations de faciès. Cet aspect particulier, et les conclusions qu'il suggère, seront abordés au paragraphe suivant.

Les collections des Musées de Lyon, Genève et Lausanne, des Universités de Neuchâtel et Lyon (France), ainsi que celles de l'Ecole des Mines (France), ont été également visitées*. De très rares types ou figurés ont pu y être retrouvés, principalement dans la collection DE LORIOL (Genève). Les types de la collection CAMPICHE (Lausanne) semblent par contre avoir disparu. Ils avaient été décrits par D'ORBIGNY, mais n'ont pu être non plus retrouvés dans les collections de ce dernier, au Museum National d'Histoire Naturelle de Paris*. Il n'a pas été rencontré, dans ces collections anciennes, d'éléments en contradiction avec les faits observés lors de nos collectes personnelles.

La position stratigraphique actuellement admise de l'ensemble des espèces connues dans le Jura (formellement décrites, citées ou déterminées dans les collections examinées) est illustrée dans les tableaux 1 et 2 du paragraphe 5.

3. STRATIGRAPHIE

Dans l'ensemble des coupes étudiées (voir carte de situation CLAVEL & CHAROLLAIS, ce vol.), les échinides sont beaucoup plus nombreux que les ammonites, rares ou généralement limitées à quelques niveaux précis dans les faciès marneux, rarissimes dans les faciès bioclastiques. De ce fait, à l'intérieur du cadre général défini par les ammonites, ils ont pu apporter d'intéressantes précisions, sur la limite Valanginien - Hauterivien notamment. Celles-ci reposent, entre autres, sur l'identification des stades évolutifs de trois genres évoluant rapidement entre le Valanginien et l'Hauterivien: *Tetrapromania*, *Holaster*, *Toxaster*. Ces divers stades sont précisés au paragraphe 6 (Paléontologie).

3.1. Séries hémipélagiques

3.1.1. Valanginien supérieur

La succession des *Toxaster* indique que la limite Valanginien - Hauterivien se situe au passage marnes jaunes-marnes bleues à Valangin, à l'intérieur des marnes jaunes au Landeron, à l'intérieur des marnes bleues à Nozeroy: il est ainsi démontré que le faciès de marnes jaunes caractérisant les Marnes à Astieria n'a pas de valeur chronologique. Sa couleur est sans doute due à la limonite provenant de l'altération des calcaires roux sous-jacents. Son épaisseur est très variable localement (de 15 à 50 cm), selon le rythme de la sédimentation et l'importance de l'imprégnation limonitique.

* Nous tenons à remercier de leur amicale collaboration E. LANTERNO (Genève), M. WEIDMANN (Lausanne), J. REMANE (Neuchâtel), M. PHILIPPE (Lyon), A. PRIEUR (Lyon) et J. ROMAN (Paris).

A Sainte-Croix comme dans la série identique de Censeau, *Toxaster*, *Tetrapromanía* et *Holaster* définissent la limite Valanginien-Hauterivien avec précision, à l'intérieur de l'intervalle déterminé par les ammonites collectées. Par contre, aucun des échinides ne permet l'identification des biozones du Valanginien supérieur. Celles-ci ont donc été placées (fig. 2) en fonction du schéma général établi pour le Valanginien supérieur du Jura (CLAVEL, DONZE & WALTER, étude en cours).

Il en est de même dans le sud du Jura, où la succession des *Toxaster* et *Holaster* a permis de placer la limite Valanginien-Hauterivien dans la partie inférieure des Marnes bleues, généralement considérées comme hauteriviennes. En certaines coupes (Salève, Vuache, Cluse de Chailles, Hauteville), des ammonites ont confirmé cette interprétation.

3.1.2. Hauterivien

Tous les épisodes hémpélagiques attribuables à l'Hauterivien dans le Jura abritent une faune identique, essentiellement composée de *Toxaster*. La base de la Zone à *Radiatus* recèle partout *T. remanei* et *T. crassisulcatus*. Apparaissant légèrement plus tard, *T. retusus* ne disparaît qu'avec l'installation des faciès de plate-forme. L'ensemble des échinides collectés ne permet pas pour l'instant une identification des biozones basées sur les échinides.

Par contre, le sommet de l'Hauterivien inférieur est marqué dans le Jura méridional par l'apparition d'une forme primitive d'*Heteraster couloni*, accompagnée de *T. retusus* dans les derniers niveaux hémpélagiques, à la base de la falaise urgonienne. Il est d'autre part à noter qu'en dehors du Landeron, les faciès Pierre jaune de Neuchâtel n'ont fourni que quelques fragments de radioles indéterminables.

3.2. Séries bioclastiques

Nous regroupons sous cette appellation les ensembles bioclastiques infralittoraux caractérisant le Valanginien supérieur du Jura sud (Calcaires à *Alectryonia*) et l'Hauterivien supérieur de l'ensemble du Jura («Urgonian»). Les échinides n'y présentent pas un grand intérêt biostratigraphique. Ceux d'entre eux qui paraissent avoir une extension limitée sont trop rares pour prétendre à une signification réelle. Les plus abondants, qui constituent la majorité de toute collecte, forment des associations essentiellement liées aux faciès, ne donnant d'indications biostratigraphiques précises que très localement.

3.2.1. Valanginien supérieur

Cidaris muricata et *Pygopyrina incisa*, qui existent dans les Marnes à bryozoaires de Sainte-Croix et Censeau, forment l'essentiel de la faune des Calcaires à *Alectryonia* du Jura sud. Dans la région de Saint-Claude, ils persistent jusqu'au sommet des calcaires marneux bioclastiques qui remplacent ici les classiques Marnes d'Hauterive.

3.2.2. Hauterivien

Il en est de même pour les échinides des faciès urgoniens : ils apparaissent aussitôt que s'installent les faciès de plate-forme, et demeurent dès lors identiques. Les plus communs sont *Cidaris lardyi*, *Pseudocidaris clunifera* et *Goniopygus peltatus*. On peut, à leur propos, parler d'association caractéristique de l'Urgonian, car l'assemblage de ses principales espèces est classiquement reconnu, dans l'Urgonian du domaine mésogénien, jusqu'au sommet du Barrémien supérieur.

3.3. Conclusions

Nous résumerons en remarquant que les échinides se sont révélés extrêmement utiles pour cerner la limite Valanginien-Hauterivien, mais que par contre, ils ne semblent pas pouvoir être actuellement d'une utilité réelle dans la définition des biozones entourant cette limite. A part *T. remanei* et *T. crassisulcatus*, excellents

marqueurs de la base de la Zone à *Radiatus* dans le Jura, toutes les autres espèces sont constituées en associations liées à des milieux particuliers, et leur apparition/disparition suit fidèlement l'évolution de ces milieux.

Ainsi l'association *C. muricata* / *P. incisa* disparaît dans le Jura neuchâtelois avec l'arrivée du milieu circalittoral, dans la partie inférieure de la Zone à *Trinodosum*, mais elle persiste dans le Jura central («haut-fond de Saint-Claude») jusque dans les Zones à *Radiatus*-*Loryi*.

L'association *T. retusus* / *H. intermedius*, caractéristique du milieu circalittoral, est connue dans le Jura genevois et méridional jusqu'à l'Hauterivien supérieur, alors qu'elle est remplacée dans le Jura neuchâtelois, dans la partie supérieure de l'Hauterivien inférieur, par l'association infralittorale à *Ps. clunifera* / *G. peltatus*.

La recherche de faits d'évolution à signification biostratigraphique ne pouvant se faire qu'à l'intérieur de milieux comparables, elle est limitée dans le Jura à l'intervalle Valanginien supérieur-Hauterivien inférieur. Durant cette période, le fait le plus remarquable est le remplacement de *T. kiliani* (Valanginien), par *T. remanei* et *T. crassisulcatus*, puis *T. retusus* (Hauterivien); d'*H. valanginiensis* (Valanginien) par *H. intermedius* (Hauterivien); de *Te. jaccardi* (Valanginien) par *Te. ovulum* (Hauterivien).

4. ÉVOLUTION DES MILIEUX

L'apport des échinides à la connaissance du Néocomien jurassien ne se limite pas au domaine purement biostratigraphique. Présentant des associations différentes, et très typées, selon leurs diverses contraintes écologiques, ces formes benthiques, fossilisées sur leurs lieux de vie dans la grande majorité des cas, autorisent également des conclusions sur l'évolution des milieux qui les abritent.

Du toit du Calcaire roux (Valanginien inférieur) à «l'Urgonien» (Hauterivien supérieur), elles mettent en évidence, à l'intérieur de la plate-forme jurassienne, la diversité géographique et chronologique des conditions de sédimentation. Cette diversité est synthétisée dans la fig. 5, qui illustre la répartition biostratigraphique des faunes circalittorales à *Toxaster* et des associations infralittorales (*C. muricata* / *P. incisa* d'une part, *Ps. clunifera* / *G. peltatus* d'autre part. Elle repose sur l'échantillonnage de nombreuses coupes où les biozones d'ammonites ont été clairement reconnues, réparties dans les cinq régions suivantes, du nord au sud (voir fig. 1, CLAVEL & CHAROLLAIS, ce vol.):

- Jura neuchâtelois (Neuchâtel, Morteau, Villers-le-Lac, Nozeroy...)
- Jura vaudois (Sainte-Croix, La Sarraz, Vaulion, Censeau...)
- Jura central (Lamoura, La Senède, Crozet...)
- Jura genevois (Salève, Vuache, Farges...)
- Jura méridional (Hauteville, Cessens, Col du Chat, Cluse de Chailles...).

4.1. Valanginien supérieur - Hauterivien inférieur (*Nodosoplicatum*)

Au-dessus du Calcaire roux commun à l'ensemble du domaine jurassien, le Valanginien supérieur présente une première différenciation des milieux.

Au nord (Jura neuchâtelois et vaudois), jusqu'à la partie inférieure de la Zone à *Trinodosum*, les marnes abritent des faunes circalittorales aussi bien qu'infralittorales. L'extrême condensation de ces niveaux ne permet pas d'affirmer que les divers échinides collectés aient été rigoureusement contemporains. Peut-être témoignent-ils seulement de l'alternance répétée de petits phénomènes transgressifs et régressifs sur la plate-forme héritée du Valanginien inférieur. Il demeure néanmoins que la présence simultanée de *Toxaster*, *Tetrapomaria*, *Holaster* et de *C. muricata*, *P. incisa*, *Pygurus rostratus* indique nettement un milieu oscillant entre la partie inférieure du domaine infralittoral et la partie supérieure du domaine circalittoral. Les niveaux sus-jacents ne contiennent plus qu'une faune circalittorale, qui se maintiendra à l'Hauterivien inférieur. On observe donc un approfondissement du milieu, événement que l'étude des ammonites de Sainte-Croix a d'ailleurs également suggéré à BUSNARDO & THIEULOY (ce vol.).

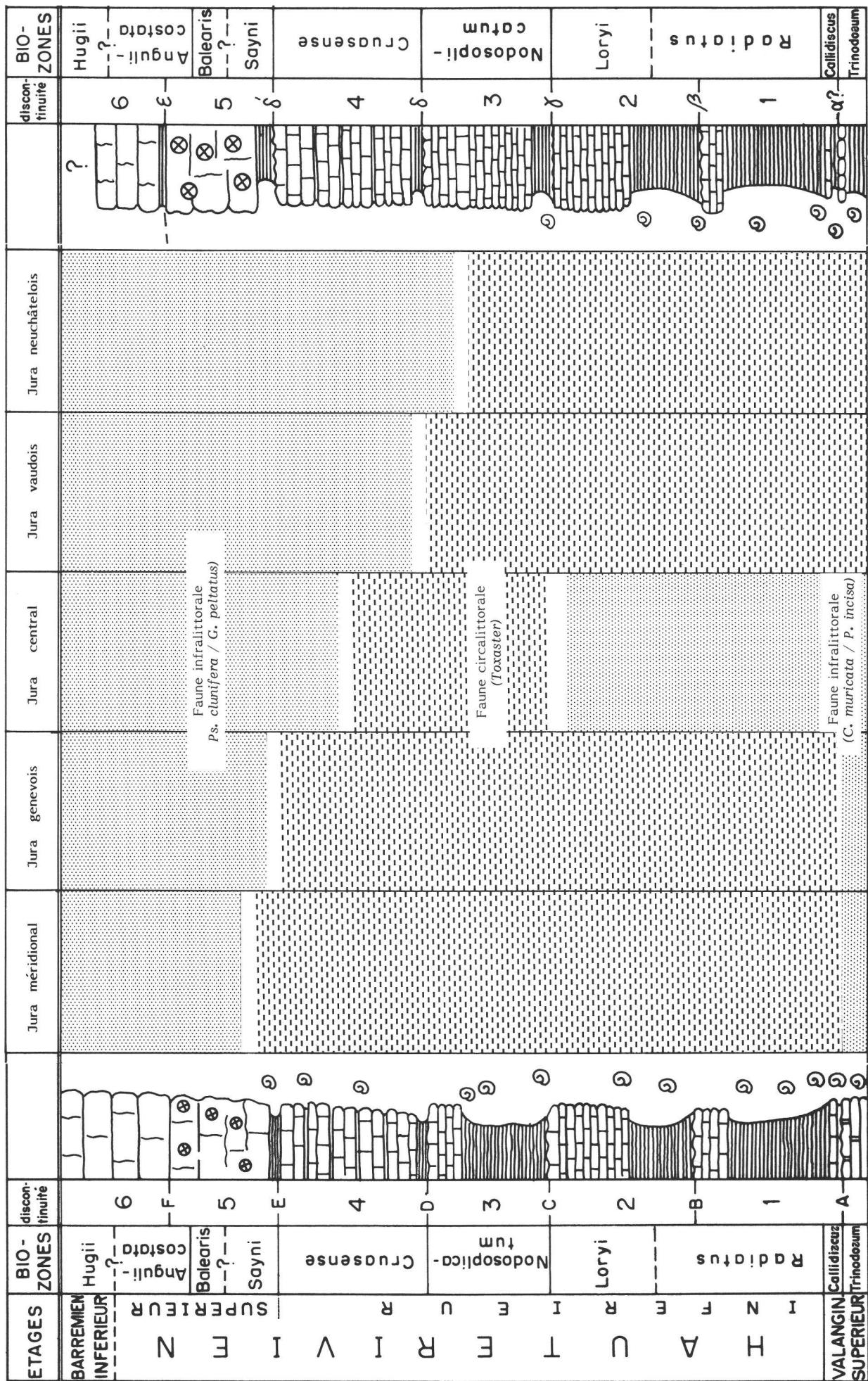


FIG. 5. — Progradation des faciès de plate-forme, du nord au sud du Jura.

Dans les régions plus méridionales par contre, les Calcaires à *Alectryonia* (Zone à *Trinodosum*) ne contiennent que des faunes infralittorales. Les *Toxaster* apparaissent dans les Marnes bleues, autrefois réputées hauteriviennes, de la Zone à *Callidiscus*, et deviennent extrêmement abondants dans l'Hauterivien inférieur du Jura genevois et méridional.

L'évolution du milieu est alors différente dans le Jura central: les faciès bioclastiques se poursuivent jusque dans la Zone à *Loryi*, et recèlent toujours l'association *C. muricata* / *P. incisa*, témoin de la persistance d'un haut-fond dans cette région. De très rares *T. lorioli* ont été collectés au sommet du Valanginien et à l'extrême base de l'Hauterivien, dans de minces intercalations marneuses qui ne présentent jamais le développement des classiques Marnes bleues.

Après la lacune documentaire représentée par le faciès Pierre jaune de Neuchâtel (partie supérieure de la Zone à *Loryi*), on retrouve la faune à *Toxaster*, dans le Jura central, dès les marnes basales de la Zone à *Nodosoplicatum*.

A ce moment, l'ensemble du domaine jurassien est constitué de milieux circalittoraux.

4.2. Hauterivien inférieur (*Nodosoplicatum*) - Barrémien

L'événement majeur que constitue l'installation de la plate-forme urgonienne amène le remplacement définitif des faunes circalittorales par les faunes infralittorales. Cette installation n'est pas synchrone, du nord au sud du Jura. La position stratigraphique des échinides de l'association *P. clunifera* / *G. peltatus* permet de la dater avec précision dans les différentes régions.

- Jura neuchâtelois et vaudois: les plus anciens *P. clunifera* cités dans le Jura l'ont été par DE LORIOL et GILLIÉRON (1869: 100) au Landeron, dans la partie supérieure de la Pierre jaune de Neuchâtel, quelques mètres au-dessus des derniers *T. retusus*, mais toujours dans la Zone à *Nodosoplicatum*. Nous n'avons pu rééchantillonner ce niveau, sis dans une partie de la coupe maintenant recouverte par des constructions. Par contre nous avons pu constater, à l'instar des anciens auteurs, que les radioles de cette espèce, extrêmement caractéristiques, abondent dans tous les niveaux marneux, dès la base de «l'Urgonien jaune» (base de la séquence 4). Ils y sont généralement accompagnés de *C. lardy* et *G. peltatus*, la faune s'enrichissant localement d'autres espèces (La Russille, Vaulion...).
- Jura central: *T. retusus* disparaît dans la partie moyenne de la Zone à *Cruasense*. La mauvaise qualité des affleurements ne nous a pas permis de collecter des échinides dans les faciès urgoniens immédiatement sus-jacents, sinon en des niveaux non repérés dans la série.
- Jura genevois: La faune circalittorale à *Toxaster* existe encore dans les niveaux marneux immédiatement au contact de la falaise urgonienne (base de la Zone à *Sayni*). Les premiers radioles de *P. clunifera* s'observent, en section dans les calcaires, quelques mètres au-dessus.
- Jura méridional: *T. retusus* persiste légèrement plus haut, en compagnie de nombreux Nautilles (*Eucymatoceras plicatum* primitif — détermination H. TINTANT), dans les premiers mètres de calcaires à petits bioclastes de la barre urgonienne (partie moyenne de la Zone à *Sayni*).

On voit donc que les faciès bioclastiques de plate-forme, installés dès l'Hauterivien inférieur (partie supérieure de la Zone à *Nodosoplicatum*) dans le nord du Jura, c'est-à-dire dans son domaine le plus interne, progradent en direction du bassin subalpin dont ils atteignent la bordure (Jura genevois et méridional) au début de l'Hauterivien supérieur (Zone à *Sayni*). Nous avons démontré (CLAVEL et al. 1986a) que cette progradation, d'axe général NE-SW, se poursuivait logiquement dans ce bassin de l'Hauterivien supérieur à la base du Barrémien.

5. EXTENSION STRATIGRAPHIQUE DES ESPÈCES CONNUES DANS LE JURA

En raison des importants résultats stratigraphiques nouveaux obtenus tant lors de la présente révision qu'à l'occasion de travaux récents dans le Crétacé inférieur du domaine jurassien (CLAVEL et al. 1986b), il est maintenant possible de placer dans le cadre biostratigraphique actuel la plupart des gisements cités dans les descriptions originales.

5.1. Taxonomie

Une révision des très nombreuses espèces décrites en provenance du Jura neuchâtelois et vaudois n'entrant pas dans le cadre de ce travail. La synonymie de bon nombre d'entre elles était déjà reconnue du vivant de leur auteur. D'autre part, les premières descriptions d'AGASSIZ & DESOR, généralement sans figuration, avaient paru dans des publications à faible diffusion. C'est pourquoi nous avons choisi comme références les monographies où ces auteurs ont repris leurs descriptions antérieures. Les mises en synonymie retenues ont été celles de l'Echinologie helvétique (DE LORIOL 1873), dernier ouvrage monographique complet sur les échinides du Crétacé helvétique. Contemporain des auteurs qui l'avaient précédé, DE LORIOL avait de ce fait accès direct à leurs collections et pouvait donc débattre avec eux des mises en synonymie proposées. Les espèces du Jura genevois décrites dans l'Echinologie helvétique ont été également incluses dans le tableau, ainsi que celles créées par SAVIN & LAMBERT pour le Valanginien du Jura méridional.

Le tableau 1 ne présente donc que les espèces actuellement reconnues valables, en l'absence des révisions paléontologiques qui restent à faire, notamment pour les *Cassiduloida* dont les différentes formes décrites sont extrêmement difficiles à apprécier, même sur le plan purement typologique.

Le tableau 2 rassemble les autres espèces citées ou collectées dans le Jura.

Les noms de genres retenus sont ceux publiés dans le Treatise on Invertebrate Paleontology — Part U — (MOORE 1966) à l'exception de *Pyrina* (= *Globator* in Treatise) pour lequel les incertitudes du départ ne doivent pas, à notre sens, modifier un usage reconnu de plus d'un siècle.

5.2. Stratigraphie

Il n'a été tenu compte que des types provenant de niveaux actuellement attribuables au Berriasien, au Valanginien et à l'Hauterivien.

L'essentiel des premières collectes provenait des marnières ou des niveaux marneux des carrières alors exploitées. Parfaitement identifiables encore actuellement, ces gisements ont pu être biostratigraphiquement datés, à une zone près. L'attribution stratigraphique des types en provenance peut donc être considérée comme correcte.

Le problème est tout autre avec la multitude de fossiles (échinides, gastéropodes, lamellibranches, bryozoaires...) fournis à D'ORBIGNY, DESOR, DE LORIOL par le Dr CAMPICHE. En effet, lors de la publication d'une partie des fossiles crétacés de Sainte-Croix, CAMPICHE & DE TRIBOLET (1858), auteurs de la description géologique très succincte précédant la partie paléontologique, s'étaient abstenus de donner une liste des faunes des divers niveaux, se réservant de la publier dans un résumé qui ne vit jamais le jour. Les seules indications fournies pour les échinides étaient «néocomien», «néocomien inférieur», «néocomien moyen», etc. Il ne s'agissait en fait que des estimations du Dr CAMPICHE quant à la situation stratigraphique des divers gisements qu'il faisait exploiter, dont un grand nombre ne se situait pas dans des coupes continues, ou quant à l'origine des fossiles que lui fournissaient, contre solide rétribution, les habitants de la région.

JACCARD (1893), qui avait connu et parfois accompagné sur le terrain le Dr CAMPICHE, notait que ce dernier «n'indiquait pas volontiers la provenance des échantillons de sa collection» et que ceux-ci portaient tous, indistinctement, l'indication «Sainte-Croix» alors même qu'ils provenaient de nombreuses localités. Quelques années plus tard, RITTENER (1902) écrivait dans son introduction: «D'autre part, il s'est avéré que le Dr CAMPICHE fut plus collectionneur que géologue; il accumula les récoltes faites par des chercheurs ignorants ou peu soucieux de distinguer les niveaux fossilifères, et confondit même sous le nom collectif de Sainte-Croix divers gisements dont certains sont certainement étrangers à cette localité. De sorte qu'au point de vue stratigraphique, sa collection présente quelques tares irréductibles.»

La totale incertitude des indications stratigraphiques du Dr CAMPICHE permet sans doute d'expliquer que certaines espèces soient citées à Sainte-Croix dans des niveaux beaucoup plus élevés que ceux où elles sont connues partout ailleurs dans le Jura (in DE LORIOL 1873 notamment).

Pour tous les types originaires de la collection CAMPICHE — principalement les espèces créées par DESOR & D'ORBIGNY —, on a donc essentiellement tenu compte des niveaux dans lesquels ces espèces ont été retrouvées par les géologues modernes, dans le cadre de coupes précises. Pour celles qui n'ont jamais été

		BERRIASIEN		VALANGINIFN		HAUTERIVIEN		BARREM.	Hugii
		inf.	moy.	sup.	inf.	sup.	inf.		
	: position stratigraphique du type.								
	: extension stratigraphique connue dans le domaine mésogén.								
()	: dénomination générique originale.								
<u>L. AGASSIZ 1838</u>									
Hypsalenia stellulata	(Salenia)								
<u>L. AGASSIZ 1839 - 1840</u>									
Acrosalenia patella	(Hemicidaris)								
Pseudocidaris clunifera	(Cidaris)								
Acrocidaris minor									
Trochotriara bourgueti	(Diadema)								
Trochotriara rotularis	(Diadema)								
Goniopygus peltatus									
Magnosia pilos	(Arbacia)								
Pygopyrina incisa	(Nucleopygus)								
Pyrina pygaea	(Galerites)								
Coenohlectypus macropygus	(Discoidea)								
Pygurus montmollini									
Pygurus rostratus									
Astrolampas productus	(Pygurus)								
Pygorhynchus obovatus									
Phyllobrissus alpina	(Catopygus)								
Phyllobrissus gresslyi	(Catopygus)								
Phyllobrissus neocomiensis	(Catopygus)								
Phyllobrissus renaudi	(Catopygus)								
Plagiochasma olfersii	(Nucleolites)								
Clypeopygus subquadratus	(Nucleolites)								
Heteraster couloni	(Holaster)								
<u>E. DESOR 1842</u>									
Tetrapromania ovulum	(Dysaster)								
<u>L. AGASSIZ 1847</u>									
Phyllobrissus nicoleti	(Nucleolites)								
<u>A. d'ORBIGNY 1853 - 1856</u>									
Pygorhynchus campicheanus	(Botriopygus)								
Nucleolites bourguignati	(Echinobrissus)								
Collyrites oblonga									
Taphraster campicheanus	(Holaster)								
Toxaster granosus	(Echinospatagus)								
		=	Cardiopelta capistrata		GOLDFIJS	-	Oxfordien supérieur		
		=	Crétacé supérieur ?						

TABLEAU 1. — Extension stratigraphique des espèces dont les types proviennent du Jura.

TABLEAU I. — (Suite).

BARREM.	Hugii			Hauterivien		
	Angulicostata			Sayni		
	BERRIASIEN	VALANGINIEN		inf.	sup.	
	inf.	moy.	sup.	inf.	sup.	
G. COTTEAU 1861 - 1867						
Cidaris problematica						
Phyllacanthus sanctae-crucis	(Rhabdocidaris)					
Pseudodiadema guirandi						
Pseudodiadema jaccardi						
Codiopsis jaccardi						
P. de LORIOL 1873						
Cidaris campichei						
Rhabdocidaris pavementatus						
Pseudodiadema gemmeum						
Trochotiera caroli	(Pseudodiadema)					
Pseudodiadema (?) verruculatum						
Psammechinus salevensis						
Glyptechinus rochati						
Pygorhynchus valdensis	(Botriopygus)					
Phyllobrissus gillieroni						
Phyllobrissus parviporus						
Pygurus salevensis						
Hyposalenia cottaldina	(Peltastes)					
Nucleolites salevensis	(Echinobrissus)					
J. LAMBERT et L. SAVIN 1907						
Acrosalenia sabaudiensis						
Pseudodiadema revili						
J. LAMBERT 1916a						
Trochotiera pusilla						
J. LAMBERT 1916b						
Holaster valanginiensis						
ESPECES DECrites DANS CE VOLUME						
Toxaster remanei						
Toxaster crassisulcatus						

TABLEAU 1. — (Suite).

TABLEAU 2. — Extension stratigraphique des autres espèces connues dans le Jura.

retrouvées, on a porté attention au lithofaciès des terrains de Sainte-Croix pour déterminer quelle était l'origine la plus vraisemblable du type en question: les travaux de JACCARD, SCHARDT, RITTENER ont été précieux. Le problème se pose d'ailleurs essentiellement pour le Valanginien, dans lequel était compris l'actuel Berriasiens.

La combinaison des différentes approches a permis une attribution stratigraphique crédible des types de la collection CAMPICHE: seule demeure une totale énigme le cas de *Taphraster campicheanus* D'ORBIGNY, évoqué au paragraphe 6.

6. PALÉONTOLOGIE

Il n'entrant dans le propos des travaux présentés ici ni une révision des formes connues, ni une étude systématique approfondie des espèces nouvellement récoltées. Les commentaires qui suivent sont donc à considérer comme une brève approche des échinides du Crétacé inférieur jurassien. Ils sont limités à quelques formes posant un problème paléontologique important (*Cid. muricata*, *Ph. sanctaecrucis*, *Coll. oblonga*, *Taphraster*) ou présentant un réel intérêt biostratigraphique (*TetraRomania*, *Holaster*, *Toxaster*, *Heteraster*).

6.1. Généralités

L'étude des échinides collectés confirme ce que nous avions déjà observé en d'autres régions: les critères purement morphologiques et typologiques qui ont servi de base aux diverses diagnoses définissent avec une certaine fidélité les caractères généraux des populations, lors des périodes de stabilité, mais ne permettent pas une détermination sûre des exemplaires collectés à l'occasion de travaux de stratigraphie. La plupart du temps peu nombreux, ceux-ci sont rarement en parfait état de conservation. De plus, lors des périodes de crise évolutive marquées par le renouvellement des espèces, ces caractères, par ailleurs susceptibles d'une grande variabilité, revêtent souvent l'aspect de «formes de passage», intermédiaires entre les morphologies anciennes et nouvelles.

En de telles circonstances (le passage Valanginien - Hauterivien en est une), la détermination d'un exemplaire particulier collecté en un niveau précis ne saurait être qu'affaire d'intime conviction. On ne peut cependant pas proposer des arguments stratigraphiques crédibles à partir de déterminations subjectives reposant sur des concepts flous.

Les différentes espèces doivent donc être redéfinies, en fonction des critères les plus objectifs possible, comme représentant divers stades évolutifs du schéma de base formant le genre. Cette approche passe par l'identification prioritaire de ces stades dans les structures anatomiques du test, beaucoup plus significatives d'une modification physiologique que la courbure des ambulacres ou la disposition des tubercules.

L'étude en est en cours pour les échinides irréguliers du Jurassique et du Crétacé: ses premiers résultats ne sauraient être détaillés en quelques pages.

L'attention sera portée ici sur l'évolution de deux structures particulières:

- L'interambulacre 5, qui est la structure la plus importante pour la compréhension des échinides irréguliers. De sa croissance différentielle dépend en effet l'acquisition de la symétrie bilatérale par l'imago à symétrie pentaradiée. Le nombre de préanales, qui se réduit lors de l'évolution, témoigne d'une sortie de plus en plus précoce du péripore hors de l'appareil apical. D'abord indifférenciées de leurs homologues des autres interambulacres, chez les formes du Jurassique moyen, ses premières plaques coronales acquièrent peu à peu une individualité très marquée: labrum résultant de la soudure des trois premières; sternales qui s'allongent de plus en plus et dont la suture avec le labrum se modifie, selon le même processus, pour réaliser les types méridostérne (sternales superposées) et «amphisterne» (sternales côté à côté); épisternales qui diminuent de taille jusqu'à ne pas se différencier des préanales.
- L'appareil apical, qui demeure intercalaire et allongé chez les *Holasteridae*, mais passe progressivement, dès le Berriasiens, à un état de plus en plus compact chez *TetraRomania* (soudure ocellaires-génitales) et chez les *Spatangoida* (exertion des ocellaires II et IV, développement de la génitale 2 jusqu'au stade ethmolytique).

Il est important de noter que, chez les échinides, l'ontogénie rappelle remarquablement la phylogénie. Une forme jeune d'une espèce quelconque est difficilement distinguable des espèces qui l'ont précédée. La méconnaissance de ce fait peut conduire à des erreurs, tant en paléontologie qu'en stratigraphie. Les caractères utilisés ou décrits ici seront donc ceux de formes adultes pleinement développées, au test non usé.

6.2. *Cidaridae* GRAY

Cidaris muricata ROEMER - *Phyllacanthus sanctae-crucis* COTTEAU

- 1836 *Cidaris muricata* ROEMER, p. 26, pl. 1, fig. 22.
- 1862 *Rhabdocidaris sanctae-crucis* COTTEAU, p. 340, pl. 1080, fig. 1-4.

Les radioles de *C. muricata* sont très abondants dans les faciès infralittoraux du Valanginien supérieur. On rencontre en leur compagnie, beaucoup plus rarement, des plaques isolées de *Ph. sanctae-crucis*. Nous avons collecté à Sainte-Croix (niv. 2), un fragment composé d'un ambulacre et d'un interambulacre complets, le plus important connu à ce jour. Il correspond en tous points à la description de COTTEAU. A la suite de HUPE (1862), cet auteur avait signalé, sans toutefois l'affirmer formellement, que les radioles nommés *C. muricata* dans le Bassin parisien pourraient appartenir au test de *Phyllacanthus salviensis* (très proche de *Ph. sanctae-crucis*).

Bien que n'ayant pas rencontré de radiole adhérant à un test, nous pensons que l'hypothèse de COTTEAU doit être acceptée et les radioles de *C. muricata* du Jura attribuées au *Ph. sanctae-crucis*. En effet, ces deux formes ont une répartition stratigraphique rigoureusement identique et coexistent dans les mêmes milieux. De plus, la morphologie de ces radioles est typiquement celle des *Rhabdocidarinae*, mais n'a pas grands rapports avec celle des *Cidarinae*.

LAMBERT (1927: 372), au terme d'une argumentation peu convaincante, avait conclu que ces deux formes du Jura devaient en fait être dénommés *C. hirsuta* MARCOU (espèce décrite en quelques lignes, mais non figurée par son auteur et sans type connu).

Sans préjuger des résultats d'une étude approfondie de la question, nous avons conservé ici la dénomination *C. muricata*, utilisée par tous les auteurs l'ayant citée dans le Jura depuis plus de cent ans.

6.3. *Holectypidae* LAMBERT

Holectypus macropygus AGASSIZ

- 1836 *Discoidea macropyga* AGASSIZ, p. 137, pl. XIV, fig. 7-9.
- 1920 *Holectypus minutus* GAUTHIER in LAMBERT, p. 4-5.
- 1966 *Holectypus almeidae* REY, p. 296, pl. 2, fig. 1-9.

Cette espèce à très grande longévité (Berriasien moyen-Bédoulien), a été communément attribuée, depuis POMEL, au genre *Coenholectypus*, censé de différencier d'*Holectypus* par l'existence d'une plaque génitale 5 (= «impaire») perforée, alors qu'elle est imperforée chez *Holectypus*. Des auteurs récents — WAGNER et DURHAM in MOORE 1966, REY 1966, ZAGHBIB-TURKI 1987 — continuent d'attribuer le nom de génitale à la plaque 5 de l'appareil apical des *Holectypoida*, tout comme le faisaient POMEL et ses contemporains. L'étude de l'ontogénie des échinides irréguliers montre qu'il s'agit en fait d'une plaque complémentaire remplaçant la génitale 5 qui est emmenée par le périprocte lors de sa migration hors de l'appareil apical. Cette génitale 5, devenue de ce fait non fonctionnelle, est incorporée aux plaques périproctales, comme chez les Spatangoida. La plupart du temps caduque, elle est responsable de la forme traditionnellement «acuminée» de la base du périprocte. Du fait de la symétrie apparemment pentaradiée d'*Holectypus*, cette plaque complémentaire prend la plupart du temps une forme identique à celle des véritables génitales. Mais elle ne peut en aucun cas avoir la fonction d'une véritable génitale, ce qui équivaudrait à un cas de réversibilité de l'évolution. D'autre part, l'ouverture de pores supplémentaires dans une quelconque plaque génitale ou coronale est connue chez des représentants de diverses espèces, dès la base du Crétacé.

Le caractère invoqué par POMEL pour différencier *Coenholectypus d'Holectypus* ne peut être retenu comme d'importance générique : les deux genres sont synonymes.

Cette conclusion est confirmée par l'examen des exemplaires collectés dans l'Hauterivien inférieur du Jura (région et niveau stratotypiques). La quasi totalité des « *Coenholectypus* » récoltés à l'occasion du présent travail présentent tous les caractères morphologiques de l'espèce *macropygus*, mais ne possèdent que quatre pores génitaux. Quelques autres, de taille généralement plus grande, en ont cinq. AGASSIZ et DESOR ne mentionnent pas ce caractère, et les figurations de DESOR ne montrent également que quatre pores. DE LORIOL indique expressément l'existence d'un cinquième pore génital, mais l'examen des collections qu'il eut à sa disposition au Musée de Genève (la sienne et celle de PICTET) montre que sur vingt-six exemplaires provenant du Crétacé inférieur du Jura, douze ont un appareil apical inobservables, dix ont quatre pores, quatre ont cinq pores (cette répartition étant indépendante de la taille des exemplaires). Par contre, les *H. macropygus* de l'Hauterivien du Bassin parisien, communiqués par Cotteau et Saemann, présentent cinq pores, comme les exemplaires décrits par Cotteau.

Il est donc quasi certain qu'il s'agit là d'un caractère individuel, localement généralisé ou non. Des collectes effectuées dans le Crétacé inférieur du Maroc occidental ont fourni des individus parfaitement caractérisés mais ne possédant que quatre pores. Dans le Berriasien moyen de Tunisie centrale, nous avons récolté un *H. macropygus* typique, dont la complémentaire est marquée d'une excavation identique à un pore, mais qui ne traverse pas le test.

6.4. *Collyritidae* D'ORBIGNY

6.4.1. *Collyrites oblonga* D'ORBIGNY

— 1853 *Collyrites oblonga* D'ORBIGNY, p. 57, pl. 834.

Le type de cette espèce, communiqué par MARCOU et censé provenir du Valanginien supérieur de Censeau, a été retrouvé parmi les *Disaster subelongatus* de la collection D'ORBIGNY, dans la même boîte et sous le même numéro (B. 14778) que des échinides du Néocomien de La Martre (Var), reçus par le présent auteur à l'occasion de la réédition critique de la Paléontologie Française entreprise par le Muséum d'Histoire Naturelle de Paris.

Il n'était pas mentionné dans le catalogue de la collection, rédigé en 1873, et les recherches effectuées par J. ROMAN s'étaient avérées vaines.

L'identification du type, dont le faciès — test et sédiment de couleur brun foncé —, n'a jamais été rencontré parmi la multitude d'échinides collectés dans le Crétacé inférieur jurassien, n'est pas sujette à caution : Il s'agit d'un exemplaire comprimé latéralement et déformé, mais sa longueur, son appareil apical, les ambulacres visibles du péristome à l'apex (alors que la majorité des échinides de la collection D'ORBIGNY ne sont pas nettoyés), la place du péristome déporté vers le centre par l'écrasement, correspondent parfaitement à la description et à la figuration, (reconstituée comme il était d'usage à l'époque), de la Paléontologie française.

L'examen du type montre, aussi clairement que sa figuration et sa description le laissaient deviner, qu'il s'agit d'un exemplaire de *Cardiopelta capistrata* GOLDFUSS, espèce caractéristique de l'Oxfordien supérieur, abondante dans le Jura. Cette appartenance au genre *Cardiopelta* avait déjà été reconnue par BEURLEN (1934: 97) et MINTZ (1966: 117), sans toutefois que soit mise en doute son attribution au Crétacé inférieur. Le représentant le plus récent du genre — *C. trigonalis* DESOR — n'est connu que du Kimméridgien inférieur. Il possède des caractères plus évolués, notamment un bivium beaucoup plus près du trivium et un sillon antérieur fortement marqué.

DE LORIOL (1873: 296) cite deux exemplaires de *C. oblonga* provenant également du Jura. Un seul (fig. 11 de l'Echinologie Helvétique) a pu être retrouvé au Musée de Genève. Dans l'état où DE LORIOL l'avait décrit, il s'agissait d'un exemplaire de très petite taille (10 mm), complètement empâté : quelques millimètres carrés

N. B. Dans la fig. 2, *Coenholectypus macropygus* AGASSIZ et *Holectypus minutus* GAUTHIER doivent être réunis sous le nom d'*Holectypus macropygus* AGASSIZ.

de test visibles permettaient seulement de savoir qu'il s'agissait d'un échinide. Une fois correctement dégagé, il s'est révélé être un individu juvénile d'*Holaster*, attribuable à l'espèce *valanginiensis* en raison de sa provenance (Valanginien supérieur).

La figuration du second exemplaire (fig. 12) ne permet pas plus que son moulage en plâtre de conclusions précises, sinon qu'il s'agit également d'un *Holaster* juvénile, et qu'il n'a certainement rien de commun avec le type de D'ORBIGNY.

Il faut donc admettre que la création de *C. oblonga* est manifestement le résultat d'une confusion d'origine entre le Valanginien de Censeau et l'Oxfordien supérieur qui affleure sur de grandes étendues dans tout l'ouest du Jura.

Cette conclusion est confortée par le fait de l'épisode laguno-saumâtre du Purbeckien qui a éliminé pour un temps tous les échinides de la mer jurassienne : le repeuplement du Berriasien moyen n'a pu se faire qu'à partir d'espèces déjà présentes dans les bassins environnants.

6.4.2. *Tetrapromania jaccardi* DESOR — *Tetrapromania ovulum* DESOR

- 1842 *Dysaster ovulum* DESOR, p. 22, pl. 3, fig. 5-8.
- 1869 *Collyrites jaccardi* DESOR in JACCARD, p. 158.

Récemment créé par SOLOVIEV (1972: 64), le genre *Tetrapromania* comprend tous les anciens *Collyropsis* autres que *C. carinata* et *C. trigonalis*, dont il se distingue par un appareil apical où les génitales 1 et 4, et les ocellaires II et IV sont respectivement soudées l'une à l'autre pour ne former plus qu'une seule plaque. Dans les définitions classiques, *Te. jaccardi* était censé se différencier de *Te. ovulum* par une forme plus basse, plus acuminée, et par un sillon plus prononcé. Ces caractères morphologiques n'ont pas grande valeur : si la majorité des formes valanginiennes est effectivement plus acuminée et plus basse que la majorité des formes hauteriviennes, il se rencontre également dans les populations de *Te. jaccardi* des exemplaires qui présentent la morphologie de *Te. ovulum*, et vice-versa. Ceci explique les citations de l'une et l'autre espèce dans les deux étages.

Par contre, l'examen de l'interambulacre 5 montre que les *Tetrapromania* du Berriasien et du Valanginien possèdent un plastron de type haplosterne à protoméridostérne (fig. 6), tandis que les formes hauteriviennes ont un plastron méridostérne (fig. 7). Le changement se fait au passage Valanginien-Hauterivien. Il marque une évolution clairement identifiable, utilisable en stratigraphie.

Les autres caractères — hauteur plus grande, sillon plus accusé... chez *Te. ovulum* — sont d'un intérêt bien moindre et susceptibles d'autant de variations individuelles que d'interprétations personnelles.

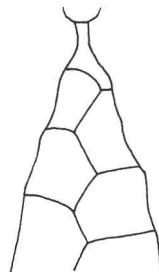


Fig. 6

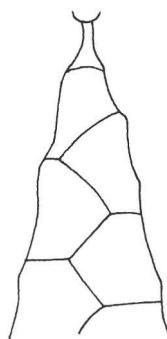


Fig. 7

FIG. 6. — Plastron haplosterne de *Te. jaccardi* FSL 196126. Valanginien sup. Morteau. (25,0 mm). ($\times 1,8$).

FIG. 7. — Plastron méridostérne de *Te. ovulum*. Coll. D'ORBIGNY, N° B15219. Hauterivien inf. Censeau (22,2 mm). ($\times 1,9$).

6.5. *Holasteridae* PICTET

6.5.1. *Holaster valanginiensis* LAMBERT — *Holaster intermedius* MUNSTER

- 1829 *Spatangus intermedius* MUNSTER, p. 149, pl. 46, fig. 1.
- 1916 *Holaster valanginiensis* LAMBERT, p. 9, fig. in DE LORIOL 1873, pl. 26, fig. 1-2.

La principale différence objective entre *H. valanginiensis* (Valanginien) et *H. intermedius* (Hauterivien) réside dans l'état d'évolution du plastron, protoméridosterne chez le premier (fig. 8), méridosterne chez le second (fig. 9).

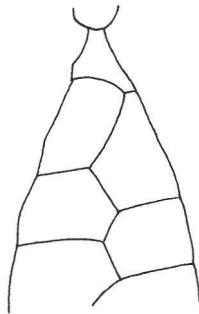


Fig. 8

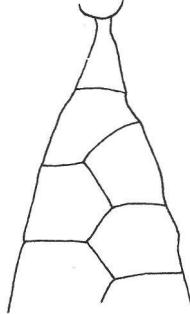


Fig. 9

FIG. 8. — Plastron protoméridosterne de *H. valanginiensis*. Valanginien sup. FSL 196127. Morteau. (28,5 mm). ($\times 2,3$).

FIG. 9. — Plastron méridosterne de *H. intermedius*. FSL 196128 Hauterivien inf. Sainte-Croix. (35,0 mm). ($\times 1,7$).

Les caractères morphologiques tels que forme basse, pourtour peu renflé, sillon antérieur profond et caréné, troncature postérieure abrupte chez *H. intermedius*, correspondent bien, là encore, à la définition de l'espèce, mais ne sont pas significatifs de tous les individus. (Nous avons par exemple collecté dans la Zone à *Trinodosum* du Ravin du Colas un *Holaster* protoméridosterne à sillon profond et nettement caréné). Ils ne peuvent donc pas être utilisés en stratigraphie si on ne dispose pas d'importantes populations provenant du même niveau, ce qui est rarissime.

6.5.2. *Taphraster campicheanus* D'ORBIGNY

- 1853 *Holaster campicheanus* D'ORBIGNY, p. 79, pl. 811, fig. 5-11.

On est là en présence d'un genre représenté par une seule espèce, elle-même représentée par un unique individu qui a été perdu, dont on ne connaît pas la provenance précise, et dont aucun semblable n'a jamais été retrouvé. La description et la figuration de la Paléontologie française en dessinent enfin une morphologie qui rappelle certaines formes du Crétacé supérieur ou du Tertiaire mais ne présente pas la moindre analogie avec les *Holasteridae* du Crétacé inférieur.

Nettement réniforme, le péristome témoigne d'un stade évolutif qui n'apparaît qu'au Crétacé moyen, chez quelques *Holasteridae* et chez les *Hemiasteridae*. Sa situation, en position presque centrale, n'est connue que chez des *Holasteridae* actuels ou tertiaires.

Ni D'ORBIGNY ni DE LORIOL ne décrivent la structure de l'appareil apical, inobservable selon eux. Et la figuration, (pour autant qu'elle soit fidèle), avec les origines des ambulacres écartées latéralement mais rapprochés longitudinalement, suggère beaucoup plus un appareil apical de *Spatangoida* (génitales jointives) que celui, intercalaire, des *Holasteridae*.

Les pores ambulacraires punctiformes ne sont pas caractéristiques des *Holasteridae*; la longueur et la flexuosité des ambulacres postérieurs rappellent certains *Micrasterinae* et *Asterostomatinae*. Il serait vain de poursuivre ainsi l'exégèse du texte et des figures de la Paléontologie française. Il suffira de noter que le D^r CAMPICHE, qui envoya des fossiles à tous les paléontologistes de son époque, en reçut également d'eux.

Enorme, sa collection ne fut diminuée d'une façon apparente ni par l'envoi à AGASSIZ de 6000 échantillons du Néocomien moyen ni par la vente au Museum de Cambridge (USA), de 25 000 fossiles (JACCARD 1871). Il est plus que vraisemblable que le médecin de Sainte-Croix, confronté à une telle masse de documents, commit des erreurs d'étiquetage.

Nous tenons donc pour quasi certain, en fonction des éléments connus, que *Taphraster campicheanus* n'appartient pas au Crétacé inférieur jurassien.

6.6. *Toxasteridae* AGASSIZ

Par leur abondance, leur vaste extension géographique et la succession rapide de formes la plupart du temps aisément identifiables, les *Toxaster* constituent, parmi les échinides du Crétacé inférieur, le groupe le plus apte à une utilisation biostratigraphique. La distribution des diverses espèces, dans le cadre défini par les biozones d'ammonites, a été étudiée aussi bien dans le domaine subalpin que dans le Jura : elle est identique dans les deux régions.

Le tableau 3 présente, sous une forme condensée, les principaux éléments qui permettent de distinguer les espèces jurassiennes les unes des autres. Nous accordons plus d'importance à l'évolution des structures anatomiques qu'à celle des caractères morphologiques, mais ces derniers ne sauraient évidemment être totalement négligés.

6.6.1. *Toxaster granosus* D'ORBIGNY

— 1853 *Echinospatagus granosus* D'ORBIGNY, p. 153, pl. 839.

Les récents résultats biostratigraphiques obtenus dans le Crétacé basal du Jura (CLAVEL et al. 1986b) ont mis en lumière l'équivoque dont s'entoure cette espèce, depuis sa création. Sous des morphologies diverses — *granosus*, *kilianii*, *holasteroides* —, érigées en espèces ou sous-espèces selon les auteurs, elle était considérée jusqu'à présent comme caractéristique du Valanginien (incluant le Berriasiens de la plate-forme jurassienne). Le type provient du Berriasiens moyen de Sainte-Croix. Il n'a pu être pour l'instant retrouvé dans la collection D'ORBIGNY. Mais nous avons collecté de nombreux *Toxaster* correspondant à sa diagnose dans le Berriasiens moyen (Zone à Occitanica) et supérieur (Zone à Boissieri) du Jura. Par leurs caractères très primitifs — quatre préanales, plaston haplosterne à protoamphisterne, épisternales beaucoup plus hautes que les préanales, appareil apical très allongé à contact le plus souvent minime ou absent entre génitales 2 et 4, péristome subcirculaire, ambulacres à pétales droits atteignant l'ambitus, sillon échancrant à peine l'ambitus et se traduisant par un simple méplat à la face supérieure —, ils sont très voisins, sinon identiques, de *T. africanus* COQUAND du Berriasiens moyen et supérieur de l'Afrique du Nord.

Ils sont par contre très différents des *T. «granosus»* traditionnellement cités dans le Valanginien supérieur du Jura et dans le Valanginien du S-E de la France (Arc de Castellane).

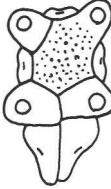
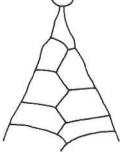
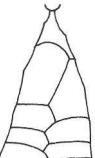
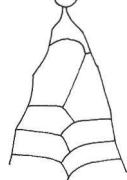
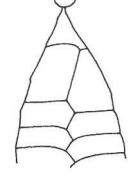
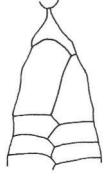
6.6.2. *Toxaster kilianii* LAMBERT

— 1900 *Toxaster kilianii* LAMBERT in litt., fig. in SAVIN 1902, pl. 1, fig. 19-20, pl. 2, fig. 1-6.

Parmi les *T. «granosus»* du Valanginien, on rencontre des formes de gibbosité variable. Dans le Valanginien supérieur de l'Arc de Castellane, où les formes hautes dominent, LAMBERT avait distingué ces dernières sous les nom de *T. granosus kilianii*. DAVID (1979) utilisa la même dénomination, et son étude biométrique, basée sur des caractères morphologiques, conclut à une nette différenciation des deux sous-espèces.

La même région nous a fourni, de la Zone à Pertransiens à la Zone à Trinodosum, un très grand nombre de ces *Toxaster* : la forme à forte gibbosité est la plus commune, mais la forme plus basse est également présente à tous les niveaux. Leurs structures anatomiques sont identiques, et témoignent du même stade évolutif : appareil apical aussi large que long à ocellaire IV le plus souvent inserte ; plastron protoamphisterne à épisternales nettement différencierées des sternales, toujours plus hautes que les préanales, elles-mêmes au nombre de trois ; péristome subcirculaire à subpentagonal.

TABLEAU 3. — TOXASTER: caractères distinctifs des espèces jurassiennes.

	<i>granosus</i> d'ORBIGNY	<i>kilianni</i> LAMBERT	<i>lorioli</i> LAMBERT	<i>remanei</i> n. sp.	<i>crassisulcatus</i> n. sp.	<i>retusus</i> LAMARCK
APPAREIL APICAL x 7 env.						
Numéro FSL	196100	196104	196117	196106	196109	196121
Longueur (mm)	30.8	36.6	29.0	35.9	36.1	40.7
Ocellaire IV (en grisé)	toujours inserte	le plus souvent inserte	le plus souvent exerte	exerte	inserte	exerte
INTERAMBULACRE 5 Plastron x 0.8 env.						
Numéro FSL	196103	id.	196118	id.	id.	id.
Longueur (mm)	38.1		29.1			
Préanales (nombre)	4	3	3	3	2	3
SYSTÈME AMBULACRAIRE						
Structure porifère	homogène	homogène	homogène	développée	homogène	homogène
Aire pétaoïde (en blanc)						
AMBULACRE IMPAIR (III)						
Pores	allongés, internes plus courts	allongés, égaux, alignés ou en légers chevrons	allongés, égaux, alignés ou en légers chevrons	punctiformes en chevrons	allongés, égaux en chevrons	allongés, égaux, alignés
Profil du sillon:						
- ambitus						
- milieu de la face supérieure						
AMBULACRES PAIRS ANTÉRIEURS (II et IV)	droits	droits	légerement flexueux	légerement flexueux	légerement flexueux	flexueux
PERISTOME	subcirculaire	subcirculaire/ subpentagonal	subcirculaire/ subpentagonal	subcirculaire/ subpentagonal	subpentagonal/ pentagonal	pentagonal
RÉPARTITION STRATIGRAPHIQUE	Berrias. moy. (Occitanica) Valangin. inf. (Otopeta)	Valanginien (Pertransiens - Callidiscus)	Valangin. sup. (Callidiscus) - Hauteriv. inf. (nodosoplicatum)	Hauteriv. inf. (Radiatus base)	Hauteriv. inf. (Radiatus - Loryi)	Hauterivien (Radiatus - Angulicostata)

Les *Toxaster* du Valanginien supérieur du Jura correspondent en tous points à cette définition. Mais les formes basses à représentent la quasi totalité de la faune. Seuls quatre exemplaires (Sainte-Croix, Valangin, Morteau), en diffèrent par leur forte gibbosité: ils ne sauraient être considérés comme appartenant à une espèce différente. La coexistence de deux morphologies, en rapport variable selon la région et le niveau stratigraphique, n'est que l'expression d'une variabilité sans doute induite par les conditions écologiques locales. Nous estimons donc que les *Toxaster* présents dans le Valanginien franco-suisse dès la Zone à Pertransiens appartiennent tous à l'espèce *kilianni* LAMBERT.

6.6.3. *Toxaster lorioli* LAMBERT

— 1895 *Toxaster lorioli* LAMBERT p. 974, fig. de l'auteur 1920, pl. 3, fig. 3.

Le type provient d'un niveau non précisé des couches de passage Valanginien - Hauterivien de Moustiers (Arc de Castellane). Dans cette région, *T. lorioli* est aisément identifiable: ses caractères morphologiques l'opposent clairement aux *T. kilianni* qui le précédent.

Il en va tout autrement dans le Jura: les différences morphologiques qui le séparent de *T. kilianni* (forme basse) semblent extrêmement ténues et sont d'autant plus difficiles à interpréter que les échinides collectés sont très rarement bien conservés.

Après examen du type de LAMBERT, nous avons retenu les caractères spécifiques suivants, qui indiquent une certaine évolution par rapport à *T. kilianni*:

- appareil apical à ocellaire IV le plus souvent exerce;
- plastron mésamphisterne (les sutures entre labrum et sternales tendent à être à la même hauteur au contact des ambulacres I et V), épisternales sensiblement de même hauteur que les préanales;
- sillon échançrant faiblement l'ambitus, mais nettement marqué à la face supérieure;
- ambulacres antérieurs pairs légèrement flexueux.

La répartition stratigraphique dans le Jura de *T. lorioli* ainsi compris est identique à celle observée dans le domaine subalpin septentrional: partie supérieure de la Zone à *Callidiscus* — partie basale de la Zone à *Radiatus*, mais est moins étendue que celle connue dans l'Arc de Castellane: partie supérieure de la Zone à *Callidiscus* — Zone à *Nodosoplicatum*. C'est vraisemblablement l'absence de *T. retusus* dans l'Hauterivien inférieur de cette dernière région qui a permis un plus large développement de *T. lorioli*.

Etant donné l'extrême condensation des faciès circalittoraux du Valanginien supérieur dans le Jura, il ne nous a pas été possible de déterminer si *T. lorioli* et *T. kilianni* cohabitaient dans la Zone à *Callidiscus*. Celle-ci est identifiable sur plus d'un mètre dans de rares coupes, dont deux seulement nous ont fourni des échinides:

- à Sainte-Croix, le sommet du niveau 5 recèle, à côté d'indiscutables *T. lorioli*, des échinides très mal conservés déterminés comme *cf. kilianni* uniquement en raison d'un sillon apparemment moins accusé. Ils n'ont évidemment aucune valeur stratigraphique;
- à Hauteville (Jura méridional), les niveaux sommitaux du Valanginien, seuls visibles, ne contiennent que *T. lorioli*.

Dans l'Arc de Castellane, *T. kilianni* ne semble pas exister dans les marnes du Valanginien sommital qui fournissent *T. lorioli* (DAVID 1979). Mais la barre de calcaires bioclastiques sous-jacente interdit dans cette région tout échantillonnage continu de la Zone à *Callidiscus*.

Nous constaterons donc ici que la coexistence de ces deux espèces, bien que vraisemblable pour le court laps de temps pendant lequel se fixent les structures nouvelles, n'est pas formellement établie.

6.6.4. *Toxaster remanei* n. sp. (fig. 10a-l, pl. I, fig. 1a, b, c)

Gisement du type: Montlebon (Doubs).

Niveau du type: base de la Zone à *Radiatus*.

Origine du nom: espèce dédiée à J. REMANE, professeur de géologie à l'Université de Neuchâtel, animateur du groupe de révision de l'Hauterivien stratotypique.

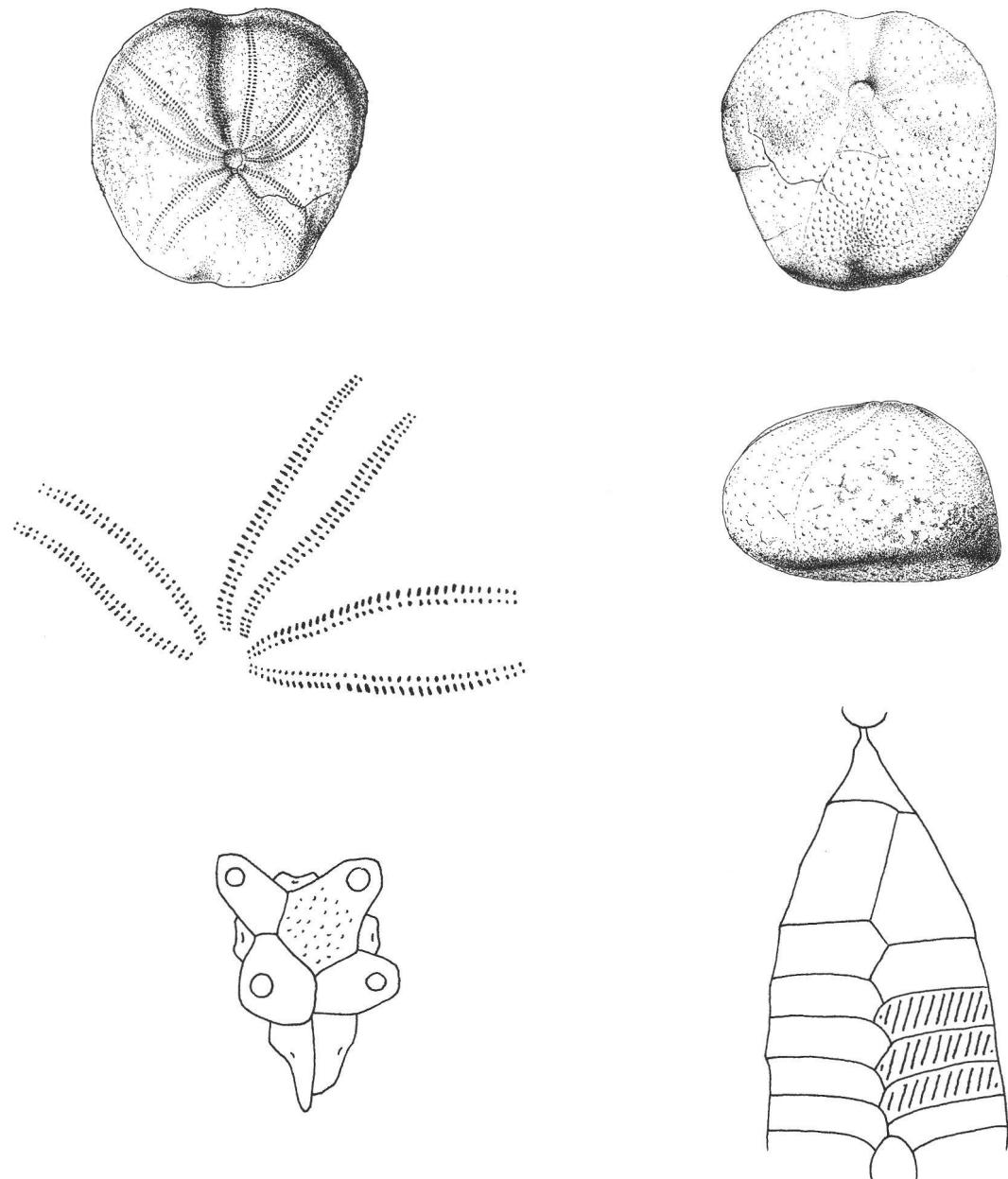


FIG. 10. — *Toxaster remanei* n. sp., holotype (FSL 196106). a: face supérieure ($\times 1$); b: face inférieure ($\times 1$); c: vue de profil ($\times 1$); d: partie pétaloïde du système ambulacraire ($\times 2$); e: appareil apical ($\times 9$); f: interambulacre 5 ($\times 1.7$), en grisé, plaques préanales. — Dessin Pascal Rerat.

Holotype: déposé dans les collections de la Faculté des sciences de Lyon N° FSL 196106.

Paratypes: N° FSL 196107 (Le Landeron - Neuchâtel); FSL 196108 (Montlebon - Doubs); FSL 196122 (Cressier - Neuchâtel); FSL 196123 (Valangin - Neuchâtel).

Mensurations (en millimètres):

N° FSL	L	I	H	$\frac{2H}{L+1}$
196106	35.5	(35.5)	22.8	0.64
196107	34.0	32.0	21.4	0.65
196108	27.8	26.6	18.0	0.66

Déformés, les exemplaires 196122 et 196123 ne sont pas mesurables.

Cette espèce est essentiellement caractérisée par la différenciation du système ambulacraire: les pores de l'ambulacre impair sont punctiformes (les externes très légèrement allongés chez les adultes de grande taille), disposés en chevrons. Cette morphologie traduit la spécialisation des podia en une fonction principalement sensorielle. Connue également chez *T. casterasi* (REY 1972: 439) du Valanginien terminal portugais, une telle spécialisation ne réapparaîtra qu'au Bédoulien supérieur, avec les premiers *Epiaster*.

Les autres caractères sont les suivants:

- appareil apical central, aussi large que long, à ocellaire IV exerte;
- plastron très large, mésamphisterne à sternales peu allongées ($H/L: 1,25$), épisternales légèrement plus hautes que les préanales qui sont au nombre de trois;
- péristome subcirculaire à subpentagonal;
- sillon échancrant peu l'ambitus, profond à la face supérieure;
- ambulacres pairs antérieurs légèrement flexueux.

Strictement limitée à l'extrême base de la Zone à Radiatus, cette forme a été collectée aussi bien dans le Nord du Jura (Montlebon, Villers-le-Lac, Valangin, Cressier, Le Landeron) que dans le Sud (Mont-de-Musièges, Mont-Clergeon).

6.6.5. *Toxaster crassisulcatus* n. sp. (fig. 11, pl. I.2)

- *Toxaster retusus* (pro parte) auct.
- 1979 *Toxaster neocomiensis* DAVID (non D'ORBIGNY) p. 121, fig. 107.

Gisement du type: Le Landeron (Neuchâtel).

Niveau du type: base de la Zone à Radiatus.

Origine du nom: espèce ainsi dénommée en raison de son sillon antérieur large et profond.

Holotype: déposé dans les collections de la Faculté des sciences de Lyon N° FSL 196109.

Paratypes: N° FSL 196114 (Le Landeron - Neuchâtel); FSL 196115 (Les Clées - Vaud); FSL 196116 (Valangin - Neuchâtel); FSL 196124 (Cressier - Neuchâtel); FSL 196125 (Mont de Musièges - Haute Savoie).

Mensurations en millimètres):

N° FSL	L	I	H	$\frac{2H}{L+1}$
196109	35.7	34.8	21.2	0.60
196114	30.9	29.1	20.4	0.68
196115	35.9	35.2	21.0	0.59
196116	29.1	28.7	16.8	0.58
196124	26.9	25.4	15.8	0.60

Déformé, l'exemplaire 196125 n'est pas mesurable.

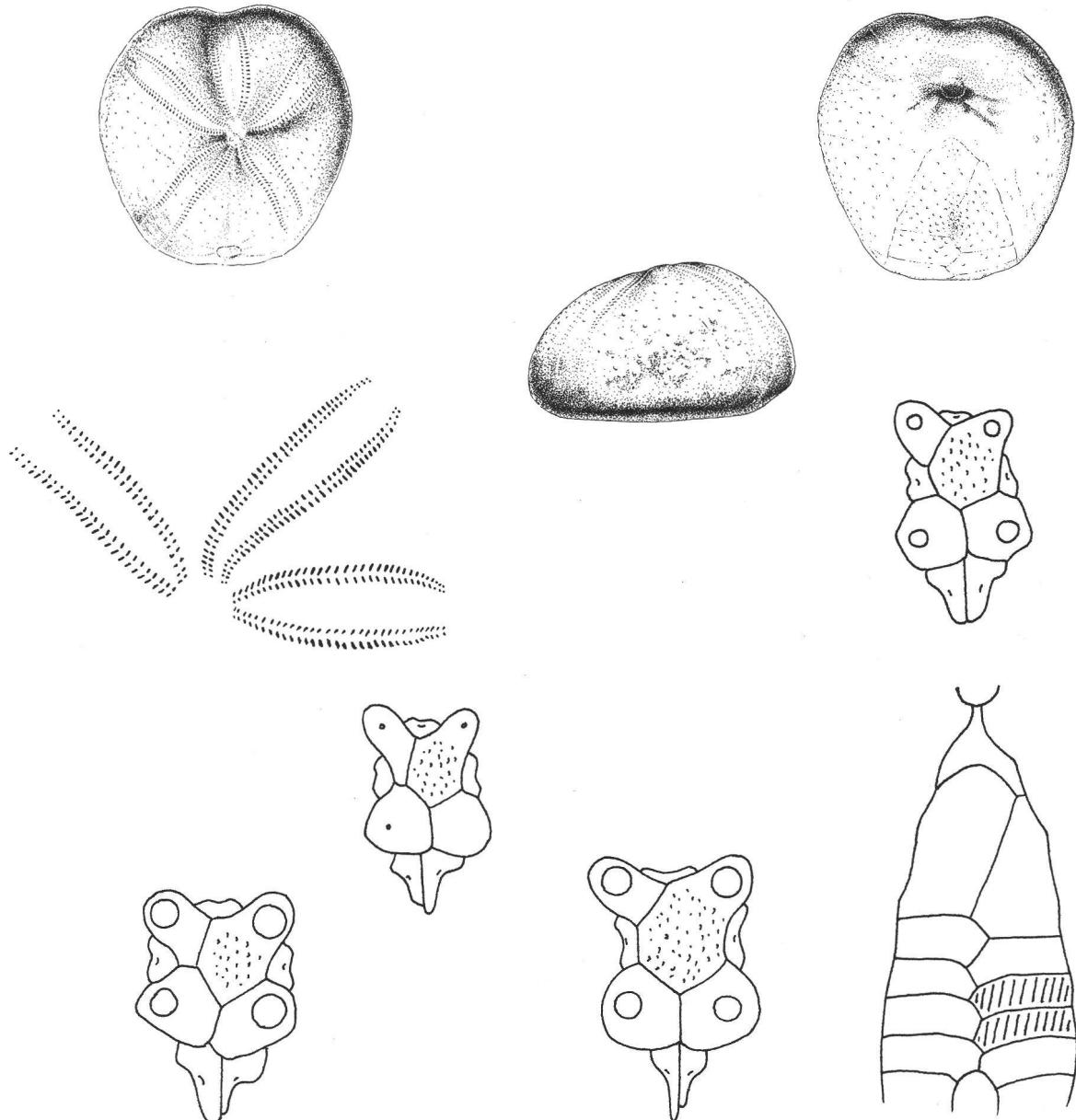


FIG. 11. — *Toxaster crassisulcatus* n. sp., a-f: holotype (FSL 196109); paratypes: (FSL 196116), h (FSL 196114), (FSL 196159).
a: face supérieure ($\times 1$); b: face inférieure ($\times 1$); c: vue de profil ($\times 1$); d: partie pectaloïde du système ambulacraire ($\times 2$);
e: appareil apical ($\times 9$); f: interambulacre 5 ($\times 1,7$), en grisé, plaques préanales; g, h: appareil apical à ocellaire IV exserte
($\times 9$). — Dessin Pascal Rerat.

Cette espèce se caractérise morphologiquement par un sillon antérieur généralement large et profond, mais surtout par l'état évolué de son interambulacre 5, qui ne possède que deux préanales. Il s'agit là de la première apparition, momentanée, d'un caractère évolutif qui se fixera à l'Hauterivien supérieur (avec *T. gibbus*, pour autant que cette espèce ne soit pas plus ancienne), et deviendra la règle chez les *Toxaster* barrémiens et bédouliens.

Les autres caractères sont les suivants :

- appareil apical central, aussi large que long, à ocellaire IV inserte;
- plastron mésamphisterne à sternales allongées ($H/L: 1,70$), épisternales sensiblement de même taille que les préanales;
- péristome subpentagonal à pentagonal;
- sillon échancrant peu l'ambitus, très large et profond, à bords souvent abrupts à la face supérieure. Ce caractère, très accusé chez les premiers exemplaires rencontrés (dans le Jura méridional), est atténué chez les individus du Jura neuchâtelois. Déjà publiée (CHAROLLAIS et al. 1983), cette dénomination ne pouvait cependant être modifiée.

T. crassisulcatus est abondant à la base de la Zone à Radiatus dans l'ensemble du Jura : Valangin, Cressier, Le Landeron (Neuchâtel), Censeau (Jura), Menthières, Hauteville (Ain), Mont-de-Musièges, Salève (Haute-Savoie). Il existe également, de façon beaucoup plus discrète, jusqu'à la partie inférieure de la Zone à Loryi. Il est identique à la forme nommée *T. neocomiensis* dans les Zones à Radiatus et Loryi de l'Arc de Castellane (DAVID 1979). A son propos, cet auteur signale que tous les exemplaires examinés par lui possèdent une ocellaire IV exerce. Cette structure est manifestement due à la petite taille de la population (maximum : 25 mm), qui témoigne d'un certain nanisme. En effet, chez les exemplaires jurassiens, l'ocellaire IV ne devient inserte qu'au-dessus d'une taille de 32 mm.

6.6.6. *Toxaster retusus* LAMARCK

- 1816 *Spatangus retusus* LAMARCK, p. 33.
- 1847 *Toxaster complanatus* var. *ampla* AGASSIZ & DESOR, p. 131.

Il était jusqu'à présent commun de considérer que *T. retusus* caractérisait les régions nordiques (Jura, Bassin parisien), tandis que *T. amplus* était la forme méditerranéenne, de plus grande taille, plus basse. LAMBERT (1903) avait même précisé que ce dernier se reconnaissait aux pores de ses ambulacres pairs séparés par un intervalle de plusieurs granules au lieu d'un seul chez *T. retusus*.

L'étude des *Toxaster* collectés dans le Jura montre que cette distinction est sans valeur. S'il est vrai que deux exemplaires caractéristiques de l'une et l'autre forme semblent présenter de très nettes différences, ils possèdent des structures anatomiques rigoureusement identiques : plastron mésamphisterne à sternales très hautes ($H/L: 2,00$) ; épisternales de même taille que les préanales qui sont au nombre de trois ; appareil apical légèrement postérieur à ocellaire IV exerce ; péristome pentagonal ; sillon échancrant fortement l'ambitus et la face supérieure...

Dans les faciès de bassin du domaine subalpin bordant la plate-forme jurassienne, où pullulent les *Toxaster*, il est rarissime de trouver des exemplaires de petite taille, à morphologie *retusus*. Par contre, sur la bordure externe du Jura (Cléron, Vuache, Salève, gorges de l'Orbe), on rencontre indifféremment l'une et l'autre forme. Dans le Jura interne (Neuchâtel, Censeau), les *Toxaster* de grande taille sont exceptionnels, mais ils présentent toujours la morphologie *amplus*, qui apparaît au-dessus d'une taille d'environ 32 mm.

Il est clair que *T. amplus*, qui ne montre qu'une accentuation ontogénétique des caractères morphologiques de *T. retusus*, n'est que la forme adulte pleinement développée de ce dernier.

La prédominance des formes de petite taille (juvéniles et jeunes adultes) dans le Jura interne et leur disparition quasi totale dans le bassin subalpin est difficile à expliquer par le seul fait que les jeunes échinides ne vivent généralement pas sur les mêmes sites que leurs adultes, en raison de contraintes écologiques différentes (granulométrie du sédiment en particulier). On peut penser que le milieu était plus favorable à un plein développement dans les faciès plus externes.

Des lavages de marnes nous ont fourni une multitude d'échinides juvéniles, d'une taille de 0,7 à 10 mm, dans la région neuchâteloise, mais aucun dans le Jura externe : peut-être ce phénomène n'est-il dû qu'à l'importante condensation des sédiments dans la zone interne.

Cette espèce fait son apparition dans la partie non basale de la Zone à Radiatus. Dans le Jura, elle disparaît dans la partie inférieure de la Zone à Sayni, mais elle persiste dans le domaine subalpin jusqu'au quart supérieur de la Zone à Angulicostata, où elle est remplacée par *T. seynensis*. Elle n'est connue dans l'Arc de Castellane que dans la Zone à Angulicostata.

6.6.7. *Heteraster couloni* AGASSIZ

— 1839 *Holaster couloni* AGASSIZ, p. 22, pl. 9, fig. 9-10.

Le genre *Heteraster* est caractérisé par une forte différenciation intra-ambulacraire et interambulacraire du système porifère, à la face supérieure.

H. couloni en représente un stade primitif à ambulacres larges et homogènes, où la différenciation ne se fait qu'à l'intérieur des pores d'une même série: l'interne est légèrement étiré (ou punctiforme en cas d'usure du test), l'externe est très allongé. Une telle structure indique la présence de podia à fonction respiratoire très développée.

Cette espèce, la plus ancienne du genre, n'était connue jusqu'à présent que dans les épisodes marneux (vires à orbitolines) des faciès de plate-forme urgoniens, dans le Jura comme dans le sud-est de la France, de l'Hauterivien supérieur (Zone à Sayni) au Barrémien supérieur (Zone à Astieri). Au Mont-Clergeon (Jura méridional), nous l'avons collectée en compagnie de *T. retusus*, dans des faciès circalittoraux des Zones à Cruasense (Hauterivien inférieur) et Sayni. Elle y est caractérisée par une gibbosité moyenne beaucoup plus faible ($2H/L+1: 0,55$) que celle des populations du Barrémien supérieur subalpin ($2H/L+1: 0,68$). Cette découverte confirme que le genre n'est pas né dans le domaine infralittoral, mais l'a seulement colonisé: l'augmentation de la capacité respiratoire, par rapport à ses descendants *Toxaster*, représentait une préadaptation nécessaire à la conquête de milieux aux eaux plus chaudes et donc à plus faible teneur en oxygène. Déjà pressentie par REY (1972) pour les *Heteraster* particuliers à l'Hauterivien terminal portugais, l'évolution d'*Heteraster* à partir de *Toxaster* est ici doublement argumentée:

- elle s'observe dans le milieu spécifique de l'ascendant supposé;
- elle est marquée par un net changement anatomique et physiologique intéressant le système ambulacraire où les podia se multiplient, (formation de plaques occlusives dans les ambulacres II, III et IV), en même temps qu'ils augmentent leur surface de collecte de l'oxygène. La comparaison entre un *H. couloni* (FSL 196129) et un *T. retusus* (FSL 196121) de même taille (40,8 mm), montre que le premier possède 390 podia dans la partie pétaïde de ses ambulacres, soit 37% de plus que le second, qui n'en a que 284. Définie par la longueur totale de chaque paire de pores, la largeur de ces podia est d'autre part environ 25% plus grande chez *H. couloni* (fig. 12). En supposant que leur longueur et leur physiologie demeurent identiques, on constate une très forte augmentation de la capacité respiratoire chez ce dernier.



FIG. 12. — Pores de l'ambulacre impair chez deux exemplaires de même taille (40,8 mm). a: *Heteraster couloni*; b: *Toxaster retusus*.

Le processus de la filiation ne nous est cependant pas connu: les autres structures anatomiques de *H. couloni* sont identiques aux structures de *Toxaster*, mais la présence de quatre préanales et d'un appareil apical souvent allongé à ocellaire IV inserte, interdit pour l'instant de lui attribuer un ancêtre parmi les *Toxaster* connus à l'Hauterivien.

7. BIBLIOGRAPHIE

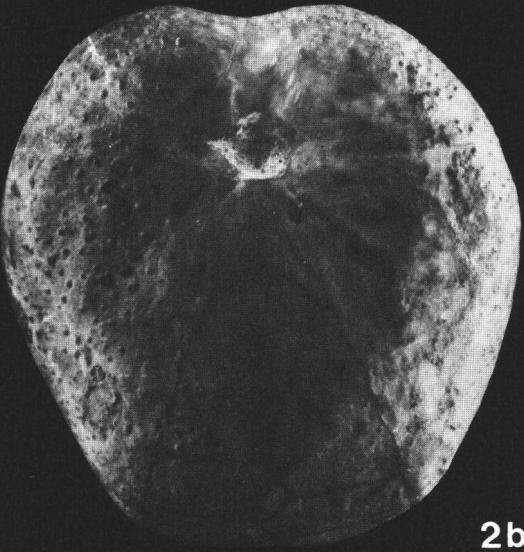
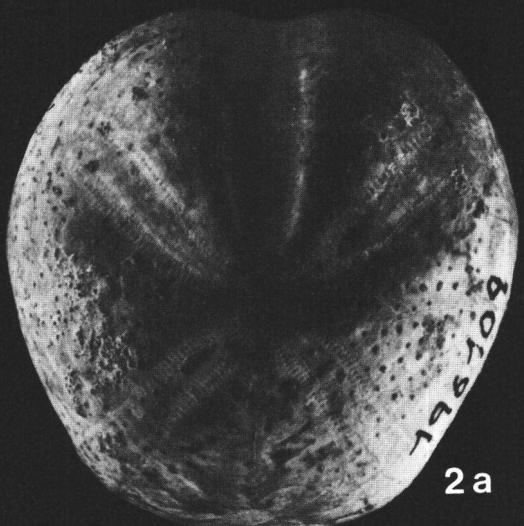
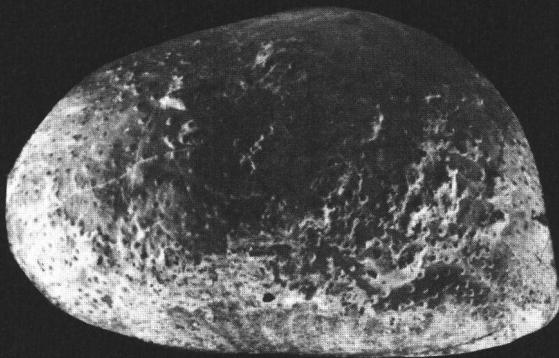
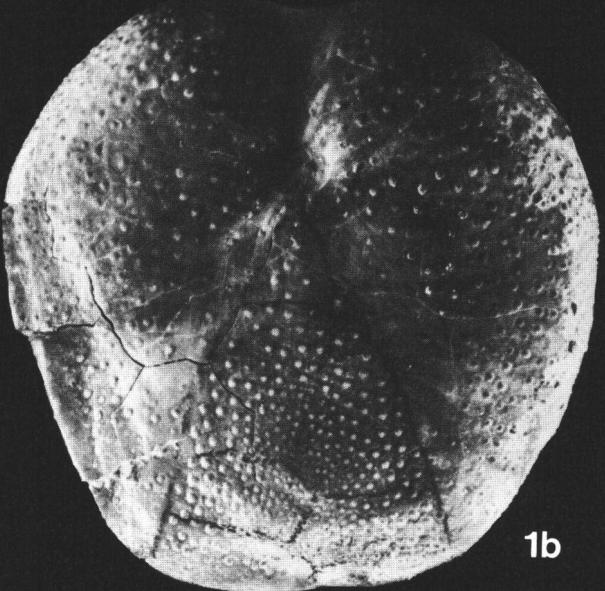
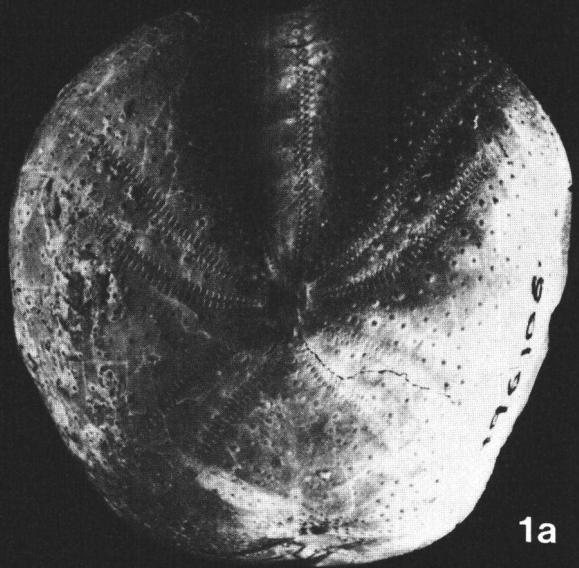
- AGASSIZ, L. — (1838). Monographies d'Echinodermes vivants et fossiles: Salénies. 40 p., 5 pl. Neuchâtel.
— (1839-1840). Description des Echinodermes fossiles de la Suisse.
— (1839): 1^{re} partie. Spatangoïdes et Clypéastroïdes. *Mem. Soc. helv. Sci. nat.* 3: 101 p., 14 pl.
— (1840): 2^e partie. Cidaridés. *Ibid.* 4: 107 p., 10 pl.

- AGASSIZ, L. & DESOR, E. — (1846-1847). Catalogue raisonné des Echinides. *Ann. Sci. nat. zool.* Paris 3/6, 7, 8: 167 p.
- BAUMBERGER, E. & MOULIN, H. — (1898). La série néocomienne à Valangin. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 26: 150-210.
- BEURLEN, K. — (1934). Monographie der Echinoiden-Familie Collyritidae d'ORB. *Palaeontographica*. 80. pt A (3-4): 41-194, fig. 1-46.
- BUSNARDO, R. & THIEULOY, 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.
- CAMPICHE, G. & TRIBOLET, G. DE — (1858). Description géologique des environs de Sainte-Croix *in PICTET & CAMPICHE: Description des fossiles des terrains crétacés des environs de Sainte-Croix. Matér. Paléont. Suisse.* 2: 5-28.
- CHAROLLAIS, J., CLAVEL, B., BUSNARDO, R. & MAURICE, B. — (1989). L'Hauterivien du Jura du Bassin genevois. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 49-72, Neuchâtel.
- CHAROLLAIS, J., CLAVEL, B., AMATO, E., ESCHER, A., BUSNARDO, R., STEINHAUSER, N., MACSOTAY, O., & DONZE, — (1983). Etude préliminaire de la faille du Vuache (Jura méridional). *Bull. Soc. vaud. Sci. nat.* 76/3: 217-256.
- CLAVEL, B. & CHAROLLAIS, J. — (1989). Corrélation des formations hauteriviennes du Jura méridional au Jura neuchâtelois. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 299-305, Neuchâtel.
- CLAVEL, B., BUSNARDO, R. & CHAROLLAIS, J. — (1986a). Chronologie de la mise en place de la plate-forme urgonienne du Jura au Vercors (France). *C.R. Acad. Sci. (Paris).* 302 (II): 583-586, 6 fig.
- CLAVEL, B., CHAROLLAIS, J., BUSNARDO, R. & LE HEGARAT, G. — (1986b). Précisions stratigraphiques sur le Crétacé inférieur basel du Jura méridional. *Eclogae geol. Helv.* 79/2: 319-341.
- CLAVEL, B., DONZE, P. & WALTER, B. — (en cours). Le passage Valanginien-Hauterivien dans le Jura franco-suisse: biostratigraphie, paléogéographie.
- COQUAND, H. — (1875). *in COTTEAU, PERON & GAUTHIER: Echinides fossiles de l'Algérie. Ann. Sci. géol.* 2: 70-71, fig. 59-62.
- COTTEAU, G. — (1857-1878). Etudes sur les échinides fossiles du département de l'Yonne. T. II: terrain crétacé. Paris. 518 p., 38 pl.
- (1861-1867). Paléontologie française. Terrains crétacés. T. VIII.: Echinides réguliers. Paris. 892 p., 197 pl.
- DAVID, B. — (1979). Les Toxaster de l'éocrétacé subalpin de Castellane. *Thèse 3^e cycle Univ. Besançon.* 183 p., 138 fig., 3 pl. (inédit).
- DESOR, E. — (1842). Monographies d'échinodermes. *Dysaster.* Neuchâtel. 29 p., 4 pl.
- (1854-1858). Synopsis des échinides fossiles. Paris. 490 p., 44 pl.
- DUBOIS, MONTPEREUX, F. DE — (1843). Voyage autour du Caucase. Paris. T. VI, 461 p., Atlas vol. 5.
- GAUTHIER, V. — (1880). *in LAMBERT: Notes provençales du Dr GUEBARD.* 11: 4-5.
- GOLDFUSS, G. A. — (1826-1833). *Petrefacta Germaniae.* I. Dusseldorf. 252 p. 71 pl.
- GRAS, A. — (1848). Description des Oursins fossiles du département de l'Isère. Paris. 96 p., 6 pl.
- HUPE, H. — (1862). *in DUJARDIN & HUPE: Histoire naturelle des Zoophytes Echinodermes.* Paris. 627 p., 10 pl.
- JACCARD, A. — (1869). Jura vaudois et neuchâtelois. *Matér. Carte géol. Suisse.* 6: 340 p., 8 pl.
- (1871). Le Dr CAMPICHE — Notice biographique. *Bull. soc. vaud. Sci. nat.* 66: 127-134.
- (1893). Note sur les niveaux et les gisements fossilifères des environs de Sainte-Croix. *Bull. Soc. vaud. Sci. nat.* 110: 39-50.
- LAMARCK J. B., DE — (1816). Histoire naturelle des animaux sans vertèbres. T. III. Radiaires, Vers, Insectes. Paris. 586 p. (Echinides p. 1-59).
- LAMBERT, J. — (1893). Etudes morphologiques sur le plastron des Spatangidés. *Bull. Soc. Sci. hist. et nat. Yonne.* 46: 55-98.
- (1895). *in KILIAN & LEENHART: Sur le Néocomien des environs de Moustiers-Sainte-Marie. Bull. Soc. géol. France.* (3) 28: 973.
- (1903). *in PELLAT: Note sur le Toxaster amplus DESOR, d'après les observations de M. J. LAMBERT.* Ibid. 4/3: 127, 2 fig.
- (1916a). Sur l'existence de l'étage valengien dans l'Aube et dans l'Yonne. *Mém. Soc. Acad. Agric. Sci. et Belles Lettres Aube.* 90: 78 p.
- (1916b). Note sur quelques Holasteridae. *Bull. Soc. Sci. Hist. nat. Yonne.* 70: 191-223.
- (1920a). Etudes sur quelques formes primitives de Spatangidés. Ibid. 73: 41 p.
- (1920b). Note sur quelques échinides du Crétacé inférieur de la Provence. Notes provençales du Dr GUEBARD. 11: 24 p., 4 pl.
- (1927). Echinides du Tithonique des environs de Chambéry. *Bull. Soc. géol. France.* 4/27: 372-374.
- LAMBERT, J. & SAVIN, L. — (1907). *in SAVIN: Supplément au Catalogue des échinides fossiles du département de la Savoie. Bull. soc. Hist. nat. Savoie.* 2/12: p. 39, pl. 1, fig. 15-19.
- LORIOL, P., DE — (1861-1863). Description des animaux invertébrés fossiles contenus dans l'étage néocomien moyen du Salève. Genève. 214 p., 22 pl.
- (1866). Description des fossiles de l'oolite corallienne, de l'étage valangien et de l'étage urgonien du Mont-Salève, *in FAVRE: Recherches géologiques dans les parties de la Savoie, du Piémont et de la Suisse voisines du Mont-Blanc.* Genève. 100 p., 6 pl.
- (1873). Echinologie helvétique. Description des échinides des terrains crétacés de la Suisse. *Matér. Paléont. Suisse.* 6: 144 p., 15 pl.

- LORIOL, P., DE & GILLIERON, V. — (1869). Monographie de l'étage urgonien du Landeron (Neuchâtel). *Mem. Soc. helv. Sci. nat.* 104 p., 7 pl.
- MARCOU, J. — (1846). *in AGASSIZ & DESOR*: Catalogue raisonné des Echinides. *Ann. Sci. nat. zool.* Paris. 6: p. 328.
- MINTZ, L. W. — (1966). The origins, phylogeny, descendants of the Echinoid Family Disasteridae A. GRAS 1848. Ph. D. Univ. California. 315 p., 30 pl.
- MOORE, R. C. — (1966). Treatise on invertebrate paleontology. *Geol. Soc. Amer.* and Univ. Kansas Press, edit. Part U, Echinodermata. 2 vol. 695 p., 534 fig.
- MUNSTER, G. — (1829). *in GOLDFUSS*: Petrefacta Germaniae. Dusseldorf. P. 149, pl. 46, fig. 1.
- ORBIGNY, A., d'. — (1853-1856). Paléontologie française. Terrains crétacés. 6. Echinides irréguliers. 597 p., 205 pl.
- PICTET, F. J. & CAMPICHE, G. — (1858-1860). Description des fossiles des terrains crétacés des environs de Sainte-Croix. *Matér. Paléont. Suisse*. 2: 380 p., 43 pl.
- REY, J. — (1972) Recherches géologiques sur le Crétacé inférieur de l'Estramadura (Portugal). *Thèse Univ. Toulouse*. 529 p., 80 fig., 26 tabl., 22 pl.
- RITTENER, Th. — (1902). Etude géologique de La Côte-aux-Fées et des environs de Sainte-Croix et Baulmes. *Matér. Carte géol. Suisse*. 13: 116 p., 23 fig., 1 carte.
- ROEMER, F. A. — (1836-1839). Die Versteinerungen des Norddeutschen Oolithengebirges, Hannover. 218 p., 16 pl.
- SAVIN, L. — (1902). Note sur quelques échinides du Dauphiné et autres régions. *Bull. Soc. Stat. Isère*. 4/6: 23 p., 4 pl.
- (1903). Catalogue raisonné des échinides fossiles du département de la Savoie. *Bull. Soc. Hist. nat. Savoie*. 2/8: 195 p., 3 pl.
- SCHARDT, H. — (1895). L'âge de la marne à bryozoaires et la coupe du néocomien du Collaz près Sainte-Croix. *Eclogae geol. Helv.* 25/5: 379-383.
- SOLOVJEV, A. N. — (1972). Echinides disastéridés du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur de l'URSS. *Trudy paleont. Inst.* (Akad. Nauk SSSR). 131: 124 p., 56 fig., 16 pl. (en russe).
- ZAGHBIB-TURKI, D. — (1987). Les échinides du Crétacé de Tunisie: paléontologie générale, systématique, paléoécologie, paléobiogéographie. *Thèse Fac. Sc. Tunis*. 620 p., 25 pl.

PLANCHE I

1. *Toxaster remanei* n. sp. (FSL 196106. $\times 2$). a: face supérieure; b: vue de profil; c: face inférieure. — 2. *Toxaster crassisulcatus* n. sp. (FSL 196109. $\times 2$). a: face supérieure; b: vue de profil; c: face inférieure.



Mémoires de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles	Tome XI	p. 183-186, 1 fig.	Neuchâtel, 1989
--	---------	--------------------	-----------------

THE DISTRIBUTION OF TEREBRATULIDAE IN THE HAUTERIVIAN OF THE JURA REGION

by

Frank A. MIDDLEMISS

Research supported
by the Swiss National Science Foundation (credit No. 2.434.075)

RÉSUMÉ. — L'auteur décrit la répartition stratigraphique des espèces de *Terebratulidae* dans l'Hauterivien du Jura, par rapport aux unités lithologiques principales.

Aucune des espèces observées n'est limitée à l'Hauterivien mais, *Musculina sanctaeruca* et *Glosseudesia semistriata* sont néanmoins caractéristiques de cet étage, où elles atteignent leur fréquence maximale. Certaines espèces sont abondantes localement. La composition des faunes change profondément avec les modifications du lithofaciès.

ABSTRACT. — The distribution of terebratulid species in relation to the main lithological divisions of the Hauterivian is described. No species are confined to the Hauterivian but *Musculina sanctaeruca* and *Glosseudesia semistriata* are characteristic of it. Some species are locally abundant in small parts of the area. The fauna changes markedly with the lithofacies.

1. THE STRATIGRAPHICAL SUCCESSION

Terebratulid brachiopods are abundant in some parts of the Hauterivian rocks of the Jura region. The great majority, numerically, are found in the marls and the transition zone into the Pierre jaune. In the Pierre jaune itself they are present but almost entirely associated with marly or marly limestone intercalations.

1.1. The Marnes à Astieria

This thin horizon, strictly of Upper Valanginian age but lying at the base of the Hauterivian Marls, usually separated from them by an erosion surface, is interesting as containing some of the first occurrences of the important Lower and middle Cretaceous genus *Sellithyris*. Otherwise most of the species at this horizon are either long-range species (*M. sanctaeruca* and *L. russillensis*) or are relicts of the Valanginian, i. e. species which were at their greatest abundance in that stage but continued afterwards in reduced numbers (*L. valdensis*, *S. carteroniana*, *S. montmollini*, *C. collinaria*, *C. sueuri*) and, among non-terebatulids, '*T. aubersonensis*' and '*T. globus*'.

1.2. The Marnes Bleues

The thoroughly argillaceous horizons above the Marnes à Astieria have a fauna consisting almost entirely of vast numbers of *M. sanctaeruca*, accompanied by *Lamellaerhynchia* and very rare members of other groups such as *Sympithyris neocomiensis*, *Rugitela* sp. and *Tamarella* sp.

1.3. The transition strata between the Marnes Bleues and the Pierre Jaune (marnes à nodules calcaires and marno-calcaires)

These have a more varied fauna than the Marnes proper. Although *M. sanctaecrucis* remains very abundant it is joined by some nine other species of terebratulids as well as rhynchonellids and rare terebratellidines such as *Helvetella*, *Vectella* and *Belothyris*.

These transition beds also supply two striking examples of localisation of species. At Censeau and Nozeroy (Jura) the facies which PICTET (1872) called “corallien” is, as regards brachiopods, a *Sellithyris* facies, strongly dominated by *S. sella* which elsewhere is rare at this horizon. At Salève, along with *S. sella* and *M. sanctaecrucis*, there is *P. salevensis*, a species which seems to be almost confined to this locality, although known very rarely at the same horizon in the Sainte-Croix area and at Cressier, Le Landeron and Twann.

1.4. The Pierre Jaune

The massive, cross-bedded lithology of the Pierre jaune suggests deposition in an environment of high energy. This is confirmed by study of the microfacies. In thin section it appears as a glauconitic, bioclastic pseudo-oolite composed of rounded and current-sorted organic fragments in a finely sparitic matrix. In the main mass of the Pierre jaune organic fragments that have remained large enough to be identifiable to the generic level are extremely rare and this may be the reason for the apparent absence of brachiopods. On the other hand thin sections of Pierre jaune often contain great numbers of echinoderm fragments, while terebratulid fragments are almost absent, so it may well be that these animals found the high energy environment inimical and were absent from the area during the formation of these bioclastic ‘sand’-banks. It was only during short periods of somewhat less high energy conditions, when consequently marl or marly limestone was being deposited, that brachiopods in general, and terebratulids in particular, were able to colonise. The main marly horizon is situated near the middle of the Pierre jaune; at Chamblon it bears the name of Marnes d’Uttins but an equivalent horizon is probably traceable throughout the Jura, at least from Salève to Le Landeron, characterised by the presence (abundance in places) of *G. semistriata* accompanied by *L. russillensis*. The specimens of *L. russillensis* and *S. carteroniana* collected from the Belley area (Geneva Museum) probably came from this horizon.

2. THE SPECIES

The species referred to here were described by PICTET & DE LORIOL (1872) and all have recently been revised (MIDDLEMISS 1981, 1983, 1984).

2.1. *Musculina sanctaecrucis* (CATZIGRAS) (= ‘*Terebratula acuta*’ of older authors)

Musculina sanctaecrucis is the most abundant species in the Hauterivian throughout the southern and central Jura and the south-east Paris Basin. However, it occurs both earlier and later elsewhere, being first known in the Lower Valanginian of Provence and continuing in the Jura and Paris Basin into the Barremian and locally (Jura, south-west France, eastern Spain) into the Lower Aptian. Its geographical distribution is from eastern Spain to east of the Caucasus and northwards into Lower Saxony.

2.2. *Glosseudesia semistriata* (DEFRANCE)

Glosseudesia semistriata although first known in the Valanginian, is abundant only in the Upper Hauterivian, continuing rarely into the “Urgonien jaune” of the central Jura only, and is entirely confined to the Jura region and the south-east Paris Basin.

2.3. *Glosseudesia marcousana* (D'ORBIGNY) and *Glosseudesia cruciana* (PICTET)

Glosseudesia marcousana and *Glosseudesia cruciana* are rather rare species which are characteristic of the Hauterivian in the sense of being most abundant in that stage. Both continued very rarely into the "Urgonien jaune". *G. marcousana* has been reported from south-east France and from the Bavarian Alps, *G. cruciana* only from the most central part of the Jura, to which in the Barremian they are both confined.

2.4. *Sellithyris sella* (J. DE C. SOWERBY)

Sellithyris sella first appearing in the topmost Valanginian (Marnes à Astieria) became widespread in the Hauterivian, from Morocco to beyond the Caucasus, but abundant only locally. It continued through the Barremian and expanded its range in the Lower Aptian northwards to northern Spain and southern England and southwards to the Bakony Forest.

2.5. *Sellithyris carteroniana* (D'ORBIGNY)

Sellithyris carteroniana is a characteristic species of the Valanginian and was much less numerous, although widespread, in the Hauterivian. Its common occurrence in the Calcaire roux in the Jura region and neritic sediments in Germany makes it clear that it was adapted to moderately high energy conditions. It is not surprising therefore that it is found in the lower part of the Pierre jaune.

2.6. *Sellithyris montmollini* (PICTET)

Sellithyris montmollini is also mainly Valanginian in its occurrence and, like *S. carteroniana*, it survived in reduced numbers into the Hauterivian. It is not known above the Marnes-Pierre jaune transition strata.

2.7. *Loriolithyris valdensis* (DE LORIOL)

Loriolithyris valdensis is mainly a species of the Berriasian and Valanginian and occurs only rarely in the Marnes à Astieria and the Marnes bleues. As it continued locally, both in the Jura and elsewhere, into both Barremian and Aptian it presumably found conditions uncongenial during the deposition of the Pierre jaune.

2.8. *Loriolithyris russillensis* (DE LORIOL)

Loriolithyris russillensis is a long-range species, known from the Valanginian to the Aptian. Its period of greatest abundance was the Barremian but it has a widespread occurrence in the Hauterivian, from Morocco to Romania. As it was one of the few brachiopods to flourish in the urgonian environment of the Barremian it is not surprising to find that its greatest numerical abundance in the Jura Hauterivian is in the Pierre jaune, large numbers of it accompanying *G. semistriata* at Chamblon, for example.

2.9. *Collinithyris collinaria* (D'ORBIGNY)

Collinithyris collinaria is another species associated mainly with the Valanginian but continuing sparsely into the Marnes à Astieria and Marnes bleues in the Jura, and possibly locally as high as the Aptian elsewhere.

2.10. *Collinithyris sueuri* (PICTET)

Collinithyris sueuri on the other hand, is a long-range but always rare species ranging from the Valanginian to the Aptian.

2.11. *Praelongithyris salevensis* (DE LORIOL)

Praelongithyris salevensis is a characteristic Hauterivian species but only locally, Mont-Salève being the only locality at which it is numerous.

3. CONCLUSIONS

No terebratulid species is confined to the Hauterivian. Two species reached their maximum abundance in the stage in the Jura region: *Musculina sanctaecrucis* and *Glosseudesia semistriata*. Two more species are characteristic but rare: *Glosseudesia marcousana* and *G. cruciana*. Two species are locally characteristic of the stage: *Sellithyris sella* and *Praelongithyris salevensis*.

There are some species whose absence from the Hauterivian is of stratigraphical significance: *Sellithyris campichei* (PICTET), *Loriolithyris germaini* (PICTET) and *L. russillensis latifrons* (PICTET) are Valanginian species which did not survive into the Hauterivian, while *Glosseudesia ebrodunensis* (DE LORIOL) and *Sellithyris essertensis* (PICTET) are Barremian species absent from the Hauterivian, although the last continued into the Aptian.

The contrasting environments represented by the Marnes and the Pierre jaune give rise to markedly different terebratulid faunas, as fig. 1 demonstrates. *M. sanctaecrucis* is almost the only terebratulid species to occur in the argillaceous dark-grey development of the Marnes.

4. REFERENCES

- MIDDLEMISS, F. A. — (1981). Lower Cretaceous Terebratulidae of the Jura region: 1. Revision of some species described by PICTET & DE LORIOL (1872). *Eclogae geol. Helv.* 74/3: 701-733.
 — (1983). Brachiopod synonymy: *Glosseudesia* and *Costithyris*. *Eclogae geol. Helv.* 76/3: 689.
 — (1984). Lower Cretaceous Terebratulidae of the Jura region: 3. *Terebratula salevensis* DE LORIOL and the genera *Praelongithyris* and *Tropeothyris*. *Eclogae geol. Helv.* 77/3: 583-617.
 PICTET, F. J. & LORIOL, L. DE (1872): Description des fossiles du terrain crétacé des environs de Sainte-Croix, pt. 5. *Matér. Paléont. suisse* 6: 1-158.

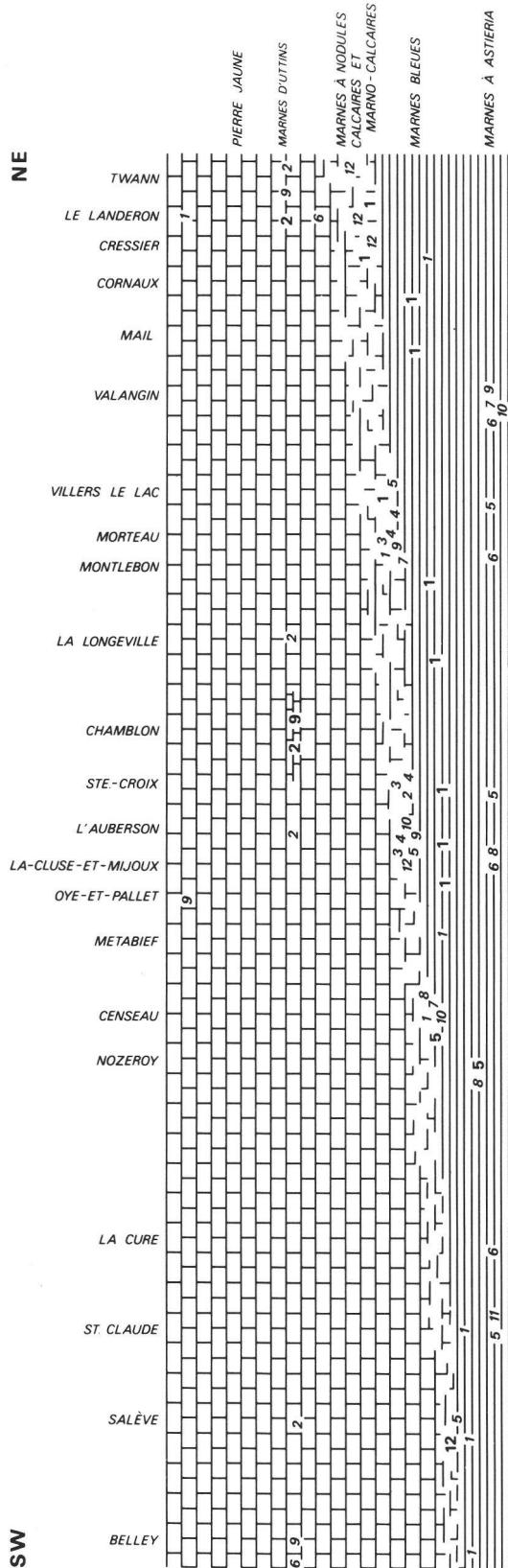


FIG. 1. — Stratigraphical distribution of terebratulid species in the Hauterivian of the Jura region (together with the Marnes à Astieria). Not to scale. The localities are shown as projected on to a SW-NE plane, no account being taken of lithological variations in a NW-SE direction.

1. *Musculina sanctaecrucis*. 2. *Glosseudesia semistriata*. 3. *G. marcousana*. 4. *G. cruciana*. 5. *Sellithyris sella*. 6. *S. carteroniana*. 7. *S. montmollini*. 8. *Loriolithyris valdensis*. 9. *L. russillensis*. 10. *Collinithyris collinaria*. 11. *C. sueuri*. 12. *Praelongithyris salevensis*.

<i>Mémoires de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles</i>	Tome XI	p. 187-203, 1 fig., 2 pl.	Neuchâtel, 1989
---	---------	---------------------------	-----------------

FORAMINIFERA FROM THE “SÉRIES MARNO-CALCAIRES” (LOWER HAUTERIVIAN OF THE JURA MOUNTAINS OF SWITZERLAND AND FRANCE). INDEX FOSSILS AND SELECTED IMPORTANT SPECIES

by

Helmut BARTENSTEIN

This research
was supported by the Swiss National Science Foundation (grant No. 2.434.075)

RÉSUMÉ. — Vingt-six espèces de foraminifères benthiques sont brièvement décrites. Il s'agit d'espèces caractéristiques importantes pour la stratigraphie de l'Hauterivien inférieur suisse; la plupart du matériel vient de la région de la localité-type historique de l'Hauterivien. Les caractères distinctifs de ces espèces sont démontrées à l'aide de planches photographiques, leur utilisation dans les corrélations à l'intérieur de l'Hauterivien jurassien est présentée dans un tableau stratigraphique. Le matériel provient des mêmes 136 échantillons utilisés par OERTLI (ce vol.) pour l'étude des faunes d'ostracodes. Les espèces de foraminifères observées s'avèrent parfaitement comparables à d'autres faunes de l'Hauterivien inférieur boréal en Europe, par exemple dans le Bassin de Paris, aux Pays-Bas, en Allemagne, en Pologne et en Angleterre. Des corrélations stratigraphiques sûres et détaillées peuvent être établies entre ces différentes régions à l'aide des foraminifères. Base et sommet de l'Hauterivien inférieur jurassien peuvent être déterminés grâce aux foraminifères, permettant ainsi de suivre les variations de faciès du NE au SW et fournissant des données supplémentaires pour l'interprétation du reste de la microfaune.

ABSTRACT. — 26 foraminiferal species are described, all benthonic forms, which are important as index Foraminifera for the Lower Hauterivian of Switzerland, mostly from around the Hauterive type locality. The paleontologic-systematic characteristics of these Foraminifera are explained with the help of photographic plates, their use in the correlation of the Lower Hauterivian of the Jura Mountains is shown in a stratigraphic chart. 136 samples are examined from the same material as the Ostracoda, described by OERTLI (this vol.). The investigated foraminiferal species confirm the possibility of an excellent comparison with other boreal Lower Hauterivian deposits in Europe, e.g. Paris Basin, The Netherlands, Germany, Poland and England. There is no doubt that a joint and detailed stratigraphic correlation of Lower Hauterivian strata is possible between these European occurrences. The base and top of the Swiss Lower Hauterivian within its facies regions (NE and SW), can be determined using foraminiferal species, presenting an additional key to the interpretation of the whole micropaleontological contents.

1. INTRODUCTION AND ACKNOWLEDGMENTS

Concerning the contents and preservation of material, we repeat the statement made by OERTLI (this vol.) in his Introduction: “Practically all washable samples from the studied sections yielded Ostracoda, and they were often in considerable quantity. This very positive aspect is alas altered by the often quite bad preservation, which in some cases made exact determinations impossible. But on the whole, the output is very satisfactory.”

The complete account of Lower Hauterivian Foraminifera from the Jura Mountains comprises more than 100 species, approximately 25 species with arenaceous agglutinated shell walls and 78 species with calcareous shell walls (state at May 1, 1982). For correlation purposes we refer to two previous publications with enumeration of Foraminifera from the same region in the Lower Cretaceous of Switzerland:

BARTENSTEIN & BURRI (1954) with 23 arenaceous and 26 calcareous forms, a total of 49 Foraminifera from the interval Berriasian to Hauterivian;

HAEFELI, MAYNC, OERTLI & RUTSCH (1965) with 13 arenaceous and 27 calcareous forms, a total of 40 Foraminifera from the Valanginian and Hauterivian (only distribution charts, no figured specimens).

The whole material from the Lower Hauterivian with all species, subspecies, and forms in nomenclatura aperta will be published later. In this paper we thus desist from a systematic description of individual species with regard to test, shape, growth, wall, aperture, ornamentation, etc. Most of them are unambiguous forms, well known from the Lower Cretaceous for many years and decades. Many of them have a worldwide distribution and are excellent index fossils. In this paper, only 15 index Foraminifera and 11 selected important species (as specified in chapter 2. List of Foraminifera) are dealt with in some detail. The synonymy list contains citations of Swiss publications and of recent publications from Europe or abroad. The scanning electron micrographs were taken in the Scanning Laboratory of the Société Nationale Elf Aquitaine Production, Research Center, at Pau, France.

The autor wishes to express his gratitude to J. REMANE (Neuchâtel) for the initiation and execution of this Hauterivian program in Switzerland, to H. J. OERTLI (Pau) for his kind supply of material, micrographs and thoughts, and to all the other coworkers of this important programm for help, discussion and additional material and, last but not least, to B. N. FLETCHER (Harrogate) for his untiring help.

2. LIST OF FORAMINIFERA AND THEIR STRATIGRAPHIC SIGNIFICATION

2.1. Index fossils (fig. 1)

Ammovertella cellensis BARTENST. & BRAND 1951
Aculariammina neocomiana BARTENST. 1962
Dorothia hechti DIENI & MASSARI 1966
Haplophragmium aequale (ROEMER 1841)
Triplasia georgsdorfensis (BARTENST. & BRAND 1949)
T. pseudoroemeri BARTENST. & BRAND 1951
Citharina orthonota (REUSS 1863)
C. seitzi BARTENST. & BRAND 1951
C. sparsicostata (REUSS 1863)
Frondicularia bettenstaedti ZEDLER 1961

Lagena hauteriviana cylindracea BARTENST. & BRAND 1951
Lagena hauteriviana hauteriviana BARTENST. & BRAND 1951
Lenticulina (Astacolus) humilis humilis (REUSS 1863)
L. (A.) humilis praecursoria BARTENST. & BRAND 1951
Epistomina caracolla anterior BARTENST. & BRAND 1951

2.2. Selected important Species in the Lower Cretaceous:

Dorothia kummi ZEDLER 1961
Citharina striatula (ROEMER 1842)
Frondicularia simplicissima DAM 1946

Lenticulina (Astacolus) crepidularis (ROEMER 1842)
L. (A.) tricarinella (REUSS 1863)

2.3. Species descendant from the Jurassic:

Buccicrenata italica DIENI & MASSARI 1966
Lenticulina (Lenticulina) quenstedti (GUEMBEL 1862)

L. (Saracenaria) triquetra (GUEMBEL 1862)

2.4. Species reworked from Upper Jurassic/Berriasian
and now incorporated in Upper Valanginian/Lower Hauterivian strata:

Pseudocyclammina lituus (YOKOYAMA 1890)
Trocholina alpina (LEUPOLD 1935)

T. elongata (LEUPOLD 1935)

2.5. Other Species:

(List without illustration or description; arrangement only temporary as at May 1, 1982)

<i>Ammodiscus gaultinus</i> BERTH. 1880	<i>L. (Lent.) muensteri</i> (ROEMER 1839)
<i>Glomospira gordialis</i> (JONES & PARKER 1860)	<i>L. (Lent.) nodosa</i> (REUSS 1863)
<i>Hyperammina gaultina</i> DAM 1950	<i>L. (Lent.) ouachensis</i> (SIGAL 1952)
<i>Reophax ampullacea</i> BRADY 1881	<i>L. (Lent.) roemerii</i> (REUSS 1863)
<i>Ammobaculites subcretaceus</i> CUSHMAN & ALEXANDER 1930	<i>L. (Lent.) saxonica</i> BARTENST. & BRAND 1951
<i>Choffatella decipiens</i> SCHLUMBERGER 1905	<i>L. (Lent.) subalata</i> (REUSS 1854)
<i>Flabellammina</i> sp.	<i>L. (Marg.) cephalotes</i> (REUSS 1863)
<i>F. stadhageni</i> BARTENST. & BRAND 1951	<i>L. (Marg.) lituola</i> (REUSS 1846)
<i>Haplophragmium inconstans</i> BARTENST. & BRAND 1951	<i>L. (Marg.) reticulosa</i> (DAM 1946)
<i>H. subaequale</i> (MJATLIUK 1939)	<i>L. (Marg.) robusta</i> (REUSS 1863)
<i>Haplophragmoides concavus</i> (CHAPMAN 1892)	<i>L. (Sar.) bronni</i> (ROEMER 1841)
<i>H. cushmani</i> LOEBL. & TAPPAN 1946	<i>L. (Sar.) frankei</i> DAM 1946
<i>Spirolectammina</i> sp.	<i>L. (Vag.) excentrica</i> (CORNUEL 1848)
<i>Tritaxia pyramidata</i> REUSS 1863	<i>L. (Vag.) harpa</i> (REUSS 1860)
<i>Trochammina</i> sp.	<i>L. (Vag.) incurvata</i> (REUSS 1863)
<i>Valvulina fusca</i> (WILLIAMSON 1858)	<i>L. (Vag.) neopachynota</i> BARTENST. & KAEVER 1973
<i>Verneuilinoides neocomiensis</i> (MJATLIUK 1939)	<i>Lingulina franconica</i> (GUEMBEL 1862): descendant from Jurassic
<i>Bolivina textilaroides</i> REUSS 1863	<i>L. semiornata</i> REUSS 1863
<i>Cornuspira orbicula</i> (TERQUEM & BERTH. 1875)	<i>Marginulina pyramidalis</i> (KOCH 1851)
<i>Meandrospira washitensis</i> LOEBL. & TAPPAN 1946	<i>Nodosaria obscura</i> REUSS 1845
<i>Ophthalmidium gaultinum</i> (DAM 1950)	<i>N. regularis</i> TERQUEM 1862
<i>Trocholina infragranulata</i> NOTH 1951	<i>Pseudonodosaria humilis</i> (ROEMER 1841)
<i>Citharina cristellaroides</i> (REUSS 1863)	<i>Quadratina maertensi</i> (REUSS 1863)
<i>C. discors</i> (KOCH 1851)	<i>Ramulina aculeata</i> WRIGHT 1886
<i>C. harpa</i> (REUSS 1863)	<i>R. globulifera</i> BRADY 1879
<i>Dentalina communis</i> ORBIGNY 1826	<i>R. laevis</i> JONES 1875
<i>D. debilis</i> (BERTH. 1880)	<i>Tristix acutangula</i> (REUSS 1863)
<i>D. linearis</i> (ROEMER 1841)	<i>T. insignis</i> (REUSS 1863)
<i>D. nana</i> REUSS 1863	<i>Vaginulina arguta</i> REUSS 1860
<i>Frondicularia hastata</i> ROEMER 1842	<i>V. costulata</i> ROEMER 1842
<i>Globulina prisca</i> REUSS 1863	<i>V. duestensis</i> BARTENST. & BRAND 1951
<i>Lagena laevis</i> (MONTAGU 1803)	<i>V. kochi</i> ROEMER 1841
<i>Lenticulina</i> (Ast.) <i>calliopsis</i> (REUSS 1863)	<i>V. riedeli</i> BARTENST. & BRAND 1951
<i>L. (Ast.) grata</i> (REUSS 1863)	<i>Conorboides</i> sp.
<i>L. (Lent.) crassa</i> (ROEMER 1839)	<i>Epistomina caracolla caracolla</i> (ROEMER 1841)
<i>L. (Lent.) cultrata</i> (MONTFORT 1808)	<i>E. ornata</i> (ROEMER 1841)
<i>L. (Lent.) eichenbergi</i> BARTENST. & BRAND 1951	<i>Patellina subcretacea</i> CUSHMAN & ALEXANDER 1930
<i>L. (Lent.) guttata guttata</i> (DAM 1946)	<i>Spirillina minima</i> SCHACKO 1892
<i>L. (Lent.) guttata striata</i> BARTENST. & BRAND 1951	

3. PALEONTOLOGIC-SYSTEMATIC DESCRIPTIONS (pl. 1-2)

The investigated Foraminifera were collected from the following type sections and samples in the (Lower) Hauerivian on the Jura Mountains, which correspond with Table I in the publication on Ostracoda by OERTLI (this vol.).

- Le Landeron, 691-684A, 7 samples
- Le Landeron, prof. LA3 of HAEFELI, 2 samples
- Cressier, 0-44 m, 30 samples
- Valangin, 678-663, 13 samples
- Well Neuchâtel 208, 46.75-26.50 m, 20 samples
- Uttins/Chamblon, 383-378, 4 samples
- Ravin du Colas, 462-492, 25 samples
- L'Auberson, 12151-12122, 13 samples
- Gorges de l'Orbe, 655A-654, 3 samples
- Tunnel du Vuache, 4869-4943, 18 samples

Frequency symbols are used rarely, because of the often quite bad preservation of material and therefore possibly the abnormal accumulation of any species. This deviation from any norm corresponds to particular local, random paleofacies events.

Symbols in the synonymy lists are used according to RUD. RICHTER 1948, Einführung in die Zoologische Nomenklatur, p. 53-55: * designation of a new species; v vidimus; · the specimen belongs to the cited species. The subdivision into superfamilies mostly follows that of POKORNÝ 1958.

3.1. Index fossils

3.1.1. Superfamily Astrorhizidea

3.1.1.1. Genus *Ammovertella* CUSHMAN 1928

Ammovertella cellensis BARTENSTEIN & BRAND 1951 (pl. 1, fig. 1-2)

- v · 1962 *Ammovertella cellensis* BARTENSTEIN & BRAND — BARTENSTEIN & BETTENSTAEDT, Leitfoss. Mikropaläont. B7: 254, Tab. 17, Taf. 35, Fig. 6-7.
- 1973 *Ammovertella cellensis* — FLETCHER Geol. J. [Liverpool] spec. Issue 5: fig. 1-2.

Occurrence: Calcaire roux and Marne bleue, very rare. — Cressier 2-23 m. Ravin du Colas 462, 469; Neuchâtel, forage 208, 46.75-35.5 m. — NW Europe and NW Germany Valanginian and Lower Hauerivian limited to a relatively small Lower Cretaceous period.

3.1.2. Superfamily Lituolidea

3.1.2.1. Genus *Acruliammina* LOEBLICH & TAPPAN 1946

Acruliammina neocomiana BARTENSTEIN 1962 (pl. 1, fig. 3-4)

- v · 1954 *Bdelloidina* sp. — BARTENSTEIN & BURRI, Eclogae geol. Helv. 47/2: plate 28.
- v* 1962 *Acruliammina neocomiana* n. sp. — BARTENSTEIN, Senckenb. Lethaea 43/2: 140, Taf. 15, Fig. 6-7.
- 1976 *Acruliammina neocomiana* BARTENSTEIN — FRIEG & KAEVER, N. Jb. Geol. Paläont. [Mh.] 1976, H. 2: 121, Abb. 1-2.

Occurrence: Calcaire roux to Pierre jaune, mostly locally, but here frequent. — Le Landeron, profil LA3, 500; Cressier 0-27 m; Neuchâtel, forage 208, 46.75-27.5 m; Les Uttins 383; Ravin du Colas 462-489;

L'Auberson 12150. — This species, which appears in a restricted, mostly reef-like environment, has a sessile habit within an euryhaline shallow water biotope. In Switzerland the species seems to be a locally distributed facies form.

3.1.2.2. Genus *Dorothia* PLUMMER 1931

Dorothia hechti DIENI & MASSARI 1966 (pl. 1, fig. 5)

- * 1966 *Dorothia hechti* n. sp. — DIENI & MASSARI, Palaeontographia Ital. 61 [n. ser. 31]: 106, pl. 2, fig. 17-22; pl. 10, fig. 4-8.
- 1975 *Dorothia hechti* DIENI & MASSARI — NEAGU, Mém. Inst. Géol. Géophys. [Bucarest] 25: 39, pl. 13, fig. 14-26; pl. 19, fig. 1-6; pl. 21, fig. 1-24.

Occurrence: Marne bleue, upper part, to Zone des marno-calcaires, lower part; local occurrence in Le Landeron, butte de tir, 691-684. — Sardinia Upper Valanginian; Rumania Upper Valanginian to Upper Hauterivian. — The Swiss specimens seem to be migrants northwards from the Tethyan Upper Valanginian in Sardinia, to the transitional facies in the Boreal of Switzerland.

3.1.2.3. Genus *Haplophragmium* REUSS 1860

Haplophragmium aequale (ROEMER 1841) (pl. 1, fig. 6-7)

- 1973 *Haplophragmium aequale* — FLETCHER, Geol. J. [Liverpool] spec. Issue 5: Fig. 2-3.
- v • 1973 *Haplophragmium aequale* (ROEMER) — BARTENSTEIN & KAEVER, Senckenb. Lethaea 54/2-4: 234, Taf. 6, Fig. 93; Abb. 5.
- 1979 *Haplophragmium aequale* — KOVATCHEVA, Géobios, Mém. spéc. 3: 187, fig. 3.

Occurrence: Pierre jaune, lower part (Area of Sainte-Croix), only locally, but here frequent. — Ravin du Colas 491-492 A-E. — In NW Europe and NW Germany from Lower Hauterivian, particularly upper part, to Lower Barremian. — In Bulgaria, according to KOVATCHEVA, Upper Hauterivian to Upper Barremian.

3.1.2.4. Genus *Triplasia* REUSS 1854

Triplasia georgsdorfensis (BARTENSTEIN & BRAND 1949), (pl. 1, fig. 8-9)

- v • 1954 *Triplasia emslandensis* — BARTENSTEIN & BURRI, Eclogae geol. Helv. 47/2: plate 28.
- 1965 *Triplasia emslandensis* BARTENSTEIN & BRAND — HAEFELI et al., Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 31/81: 72, Fig. 10.
- v • 1982 *Triplasia georgsdorfensis* (BARTENSTEIN & BRAND) — BARTENSTEIN & KOVATCHEVA, Eclogae geol. Helv. 75/3: 632, A. 1, fig. 17.

Occurrence: Calcaire roux and Marne bleue, rare. — Cressier 2-13 m; Neuchâtel, forage 208, 46.75-36.9 m; Ravin du Colas 468-476. — Worldwide in the temperate and Tethyan facies realms from Upper Valanginian to Lower Aptian (= Bedoulian).

Triplasia pseudoroemeri BARTENSTEIN & BRAND 1951 (pl. 1, fig. 10)

- v • 1954 *Triplasia pseudoroemeri* — BARTENSTEIN & BURRI, Eclogae geol. Helv. 47/2: plate 28.
- v • 1962 *Triplasia pseudoroemeri* BARTENSTEIN & BRAND — BARTENSTEIN & BETTENSTAEDT, Leitfoss. Mikropaläont. B7: 262, Taf. 35, Fig. 14; Tab. 17.
- 1974 *Triplasia pseudoroemeri* BARTENSTEIN & BRAND — MICHAEL, Geol. Jb. (Reihe A) 19: 30, Taf. 1, Fig. 18.

Occurrence: Calcaire roux and Marne bleue, lower part, rare. — Cressier 4-7 m. — Distributed in NW Europe, NW Germany, and also in Switzerland, at the boundary from uppermost Valanginian to lowermost Hauterivian as a good index foraminifer. — Occurs also in Sardinia, DIENI & MASSARI in their publication 1966, Palaeontographia Ital. 61, p. 95-96 (81-100) explain once more the generic problems between

Haplophragmium, *Flabellammina*, *Flabellamminopsis*, *Tetraplasia* and *Triplasia*, especially at the boundary Valanginian to Hauterivian with *Haplophragmium subaequale* (MJATLIUK), *Triplasia pseudoroemeri*, *Tetraplasia quadrata* BARTENSTEIN & BRAND and *Flabellammina stadthageni* BARTENSTEIN & BRAND.

3.1.3. Superfamily Nodosariidea

3.1.3.1. Genus *Citharina* ORBIGNY 1839

Citharina orthonota (REUSS 1863), (pl. 1, fig. 11-12)

- v · 1951 *Citharina orthonota* (REUSS) — BARTENSTEIN & BRAND, Abh. senckenb. natf. Ges. 485: 298, Taf. 7, Fig. 180-181.
v · 1954 *Citharina* sp. [pars] — BARTENSTEIN & BURRI, Eclogae geol. Helv. 47/2: Taf. 28.

Occurrence: Calcaire roux and Marne bleue, lower part. — Cressier 0-5 m; Neuchâtel, forage 208, 38.2 m; Ravin du Colas 467. — Distributed in NW Germany from (middle) Valanginian to basal Lower Hauterivian as a good index foraminifer, and now occurs in Switzerland at the Valanginian to Hauterivian boundary. — *Citharina orthonota* with narrower tests may belong in a close relationship with *Citharina striatula* (ROEMER 1842) which has broader tests.

Citharina seitzi BARTENSTEIN & BRAND 1951 (pl. 1, fig. 13-15)

- v · 1954 *Citharina seitzi* — BARTENSTEIN & BURRI, Eclogae geol. Helv. 47/2: Plate 28.
v · 1958 *Citharina seitzi* BARTENSTEIN & BRAND [non BARTENSTEIN] — BERTSCHY, Eclogae geol. Helv. 51/2: 227.
1965 *Citharina seitzi* BARTENSTEIN & BRAND — HAEFELI et al., Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 31/81: 72, Fig. 8.

Occurrence: Calcaire roux and Marne bleue rare, but locally common. — Cressier 1-23 m; Valangin 672; Neuchâtel, forage 208, 39.6-26.95 m; Ravin du Colas 468-483; L'Auberson 12150-12148. — In NW Germany distributed from Upper Valanginian, Diachotomites crassus Zone, to Lower Hauterivian, Endemoceras regale Zone, and only in one case (BARTENSTEIN & KAEVER 1973) is it reported from the Upper Hauterivian, Hildesiense Zone, as a persisting type (?).

The species represents an excellent index foraminifer, distributed worldwide in the temperate and Tethyan facies realms from Upper Valanginian to Lower Hauterivian within a relatively thin stratum. It seems to be a descendant from *Citharina striatula* (ROEMER 1842).

Citharina sparsicostata (REUSS 1863), (pl. 1, fig. 16-17)

- v · 1958 *Citharina sparsicostata* (REUSS) — BERTSCHY, Eclogae geol. Helv. 51/2: 227.
v · 1973 *Citharina sparsicostata* (REUSS) — BARTENSTEIN & KAEVER, Senckenb. Lethaea 54/2-4: 227, Taf. 3, Fig. 39.
v · 1979 *Citharina sparsicostata* (REUSS) — BARTENSTEIN, Newsl. Stratigr. 7/3: 144, table 1.

Occurrence: Calcaire roux and Marne bleue very rare. — Cressier 0-19 m: Valangin 669; Neuchâtel, forage 208, 40.7-28.7 m; Ravin du Colas 476-492; Gorges de l'Orbe 655. — The species has nearly the same distribution as *Citharina seitzi*, from Upper Valanginian to Lower Hauterivian, with a few remnants in the Upper Hauterivian, and is especially typical of the basal Hauterivian. The species is a good index foraminifer, distributed worldwide in the temperate and Tethyan facies realms.

3.1.3.2. Genus *Frondicularia* DEFRANCE 1826

Frondicularia bettenstaedti ZEDLER 1961 (pl. 1, fig. 18).

- * 1961 *Frondicularia bettenstaedti* n. sp. — ZEDLER, Paläont. Z. 35/1-2: 44, Taf. 8, Fig. 21-22; Abb. 5.

Occurrence: Pierre jaune (Area of Sainte-Croix). — Ravin du Colas 492 A, only one specimen. — According to ZEDLER distributed only in the Upper Hauterivian Hildesiense Zone of NW Germany. The Swiss specimen is the first discovery outside of the type locality and type horizon. Therefore, if this specimen does not belong to a local variety but is a descendant from *Frondicularia simplicissima* DAM 1946, its particular occurrence in Switzerland is of greater stratigraphic importance for the region.

3.1.3.3. Genus *Lagena* WALKER & JACOB 1798

Lagena hauteriviana cylindracea BARTENSTEIN & BRAND 1951 (pl. 1, fig. 19-20; pl. 2, fig. 10-11)

- v • 1962 *Lagena hauteriviana cylindracea* BARTENSTEIN & BRAND — BARTENSTEIN & BETTENSTAEDT, Leitfoss. Mikropaläont. B7: 265, Taf. 35, Fig. 19; Tab. 17.
v • 1973 *Lagena hauteriviana cylindracea* BARTENSTEIN & BRAND — BARTENSTEIN & KAEVER, Senckenb. Lethaea 54/2-4: 226, Taf. 3, Fig. 48.

Occurrence: Marne bleue very rare. — Cressier 1-17 m; Valangin 676-671. — The first discovery outside of NW and E Europe. The species is distributed in the Boreal facies realm from Upper Valanginian to higher Upper Hauterivian as a relatively good index foraminifer.

Lagena hauteriviana hauteriviana BARTENSTEIN & BRAND 1951 (pl. 1, fig. 21-23; pl. 2, fig. 12-14)

- 1973 *Lagena hauteriviana hauteriviana* — FLETCHER, Geol. J. [Liverpool] spec. Issue 5: fig. 1-3.
v • 1973 *Lagena hauteriviana hauteriviana* BARTENSTEIN & BRAND — BARTENSTEIN & KAEVER, Senckenb. Lethaea 54/2-4: 223, Taf. 2, Fig. 24.

Occurrence: Marne bleue with the same distribution as *Lagena hauteriviana cylindracea*, rare to very rare. — Cressier 1-25 m; Valangin 676-671. — Both these *Lagena* subspecies with their extraordinary tiny tests can be overlooked in the samples very easily. Therefore only a few citations are available in the Lower Cretaceous literature, mostly in NW Germany. This good index foraminifer of the Boreal facies realm occurs in NW Germany in the Hauterivian with a few remnants in the (Middle) Barremian; in England from Berriasian (Lower Valanginian?) to Lower Barremian.

3.1.3.4. Subgenus *Lenticulina* (*Astacolus*) MONTFORT 1808

Lenticulina (*Astacolus*) *humilis humilis* (REUSS 1863), (pl. 1, fig. 24-26)

- 1965 *Vaginulinopsis humilis humilis* (REUSS) — HAEFELI et al., Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 31/81: 72.
v • 1974 *Lenticulina* (*Astacolus*) *humilis humilis* (REUSS) — BARTENSTEIN, Eclogae geol. Helv. 67/3: 554-556, pl. 2, fig. 21, fig. 7.

Occurrence: Marne bleue and Zone des marno-calcaires (NE), Marne bleue and lower Pierre jaune (SW). — Cressier 0-29 m; Valangin 672-670; Neuchâtel, forage 208, 46.75-33.2 m; Ravin du Colas 491-492; L'Auberson 12150-12135. — Its occurrence according to BARTENSTEIN 1974, p. 556: "In the Valanginian it still has not been found, in the Lower Hauterivian it is widely distributed, especially in the Bivirgatus Zone. An occurrence in the Upper Hauterivian is doubtful."

Lenticula (*Astacolus*) *humilis praecursoria* BARTENSTEIN & BRAND 1951 (pl. 1, fig. 27-28; pl. 2, fig. 15-16)

- v • 1954 *Lenticulina humilis praecursoria* — BARTENSTEIN & BURRI, Eclogae geol. Helv. 47/2: Plate 28.
v • 1974 *Lenticulina* (*Astacolus*) *humilis praecursoria* BARTENSTEIN & BRAND — BARTENSTEIN, Eclogae geol. Helv. 67/3: 556, pl. 2, fig. 18, fig. 7.

Occurrence: Calcaire roux and Marne bleue, very rare. — Cressier 0-15 m (?); Valangin 671-670; L'Auberson 12145. — The subspecies is a predecessor of *L. (A.) humilis humilis* and occurs from higher middle Valanginian to Lower Hauterivian.

3.1.4. Superfamily Rotaliidea

3.1.4.1. Genus *Epistomina* TERQUEM 1883

Epistomina caracolla anterior BARTENSTEIN & BRAND 1951 (pl. 1, fig. 29; pl. 2, fig. 17)

- 1976 *Epistomina caracolla anterior* BARTENSTEIN & BRAND — ASCOLI Maritime Sediments spec. Publ. 1: 684-685, fig. 27.
v · 1979 *Epistomina caracolla anterior* BARTENSTEIN & BRAND — BARTENSTEIN, Newsl. Stratigr. 7/3: 143, table 1.

Occurrence: Base of Marne bleue. — Valangin 677, only one specimen. — Distributed in the northern hemisphere from Berriasian to top Valanginian and until now only observed in NW Germany, E Canada, Scotian Shelf, and now in Switzerland at the Valanginian/Hauterivian boundary.

3.2. Selected important Species in the Lower Cretaceous

Dorothia kummi (ZEDLER 1961), (pl. 1, fig. 30-32)

- v · 1954 *Marssonella* sp., *Marssonella oxycona* — BARTENSTEIN & BURRI, Eclogae geol. Helv. 47/2: plate 28.
v · 1958 *Marssonella oxycona* (KOCH) — BERTSCHY, Eclogae geol. Helv. 51/2: 227.
1965 *Marssonella oxycona-kummi* — HAEFELI et al., Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 31/81: 72, Fig. 6, 8, 10, 12, 14.

Occurrence: Calcaire roux to Pierre jaune, rare to frequent. — Le Landeron 691-684 A; Le Landeron LA3, 500; Cressier 0-39 m (= whole section); Neuchâtel, forage 208, 46.75-26.5 m (= whole section); Ravin du Colas 462-491 (= whole section); L'Auberson 12150-12134 (= whole section); Tunnel du Vuache 4871; Gorges de l'Orbe 655A-654. — The species is distributed worldwide in the temperate and Tethyan facies realms from Upper Jurassic-Tithonian to Barremian; and very questionably in the Lower Aptian.

Citharina striatula (ROEMER 1842, (pl. 1, fig. 33-34)

- v · 1954 *Citharina* sp. (pars) — BARTENSTEIN & BURRI, Eclogae geol. Helv. 47/2: plate 28.
v · 1956 *Citharina striatula* (ROEMER) — BARTENSTEIN, Senckenb. Lethaea 37/5-6: 518, fig. 26, 28.

Occurrence: Calcaire roux to basal Zone des marno-calcaires, very rare. — Cressier 1-25 m; Valangin 672; Neuchâtel, forage 208, 38.2-34.2 m; Ravin du Colas 476-492. — The species is a good index fossil for the Boreal (Middle) Valanginian to Upper Hauterivian and closely related to *Citharina orthonota* (REUSS 1863): *Citharina striatula* with broader tests, *Citharina orthonota* with narrower tests.

Frondicularia simplicissima DAM 1946 (pl. 1, fig. 35-38; pl. 2, fig. 18-21)

- v · 1954 *Frondicularia lamellata* — BARTENSTEIN & BURRI, Eclogae geol. Helvetiae 47/2: plate 28.
v · 1956 *Frondicularia lamellata* (TAPPAN) — BARTENSTEIN, Senckenb. Lethaea 37/5-6: 519, fig. 38.
v · 1956 *Frondicularia simplicissima* DAM — BARTENSTEIN, Senckenb. Lethaea 37/5-6: 519, fig. 39.
v · 1973 *Frondicularia simplicissima* DAM — BARTENSTEIN & KAEVER, Senckenb. Lethaea 54/2-4: 228, Taf. 3, Fig. 45.

Occurrence: Calcaire roux to Zone des marno-calcaires (NE), Calcaire roux to uppermost Marne bleue (SW). — Cressier 0-25 m; Neuchâtel, forage 208, 35.5-28.7 m; Ravin du Colas 466; L'Auberson 12149-12140. — Distributed in the northern hemisphere from Upper Valanginian to Upper Hauterivian, and persisting (?) to the Barremian.

Lenticulina (Astocolus) crepidularis (ROEMER 1842), pl. 1, fig. 39-41)

- v · 1954 *Lenticulina crepidularis* — BARTENSTEIN & BURRI, Eclogae Helv. 47/2: plate 28.
v · 1958 *Lenticulina crepidularis* (ROEMER) — BERTSCHY Eclogae geol. Helv. 51/2: 227.
1965 *Planularia crepidularis* (ROEMER) — HAEFELI et al., Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 31/81: 72, fig. 6, 8.

Occurrence: Calcaire roux through Pierre jaune, common. — Le Landeron 684 A; Le Landeron LA3, 500; Cressier 0-29 m; Valangin 676-670; Neuchâtel, forage 208, 45.3-27.5 m; Ravin du Colas 463-484; L'Auberson 12149-12135. — Tunnel du Vuache 4869-4932. — The species is distributed worldwide from (Middle) Jurassic to Middle Aptian (= Gargasian) in the temperate and Tethyan facies realms of both hemispheres. — Growth optima of comparatively smaller and narrower *Astacolus* resp. *Planularia* tests (*crepidularis* types) can be distinguished from the larger, stronger and compressed *Planularia* tests (*tricarinella* types) at various stratigraphic levels and in different regions.

Lenticulina (Astacolus) tricarinella (REUSS 1863), (pl. 1, fig. 42-43)

- 1965 *Planularia tricarinella* (REUSS) — HAEFELI et al., Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 31/81: 72, Fig. 8.
v · 1973 *Lenticulina (Astacolus) tricarinella* (REUSS) — BARTENSTEIN & KAEVER Senckenb. Lethaea 54/2-4: 229, Taf. 4, Fig. 60-61.

Occurrence: Calcaire roux through Pierre jaune, very rare, only sporadically frequent, sometimes in company with *L. (A.) crepidularis*. — Cressier 0-17 m; Neuchâtel, forage 208, 39.6-31.75 m; Ravin du Colas 477-481. — It has the same worldwide distribution as *L. (A.) crepidularis*, but is more infrequent and only occurs sporadically. The Swiss material is smaller in growth than *L. (A.) tricarinella* specimens at other Boreal or Tethyan occurrences, e.g. BARTENSTEIN & KAEVER 1973; NEAGU 1975, Mém. Inst. Géol. Géoph. [Bucarest] 25: 74, pl. 62, fig. 24-31; pl. 63, fig. 2-17.

3.3. Species descendant from the Jurassic

Buccicrenata italicica DIENI & MASSARI 1966 (pl. 1, fig. 44-45)

- 1966 *Buccicrenata italicica* n. sp. — DIENI & MASSARI, Palaeontographia Ital. 61 (n. ser. 31): 89, pl. 2, fig. 25-26; pl. 9, fig. 2.
1976 *Buccicrenata italicica* — ASCOLI, Maritime Sediments spec. Publ. 1: Fig. 3, 5, 10, 27; pl. 6, fig. 13.
1978 *Buccicrenata italicica* — GRADSTEIN, J. foram. Res. 8/2: fig. 3.
1980 *Buccicrenata italicica* DIENI & MASSARI — JANSA, REMANE & ASCOLI — Riv. Ital. Paleont. 86/1: 107, 109, 110; pl. 8, fig. 1-2; fig. 5, 7, 8.

Occurrence: Calcaire roux and basal Marne bleue (Area of Sainte-Croix), only locally distributed, but here frequent. — Ravin du Colas 467-473. — First discovered in the Tethyan Upper Valanginian of Sardinia, secondly in the transition zone from Tethyan to Boreal in the Oxfordian to Berriasian-Valanginian of offshore Eastern Canada. Its distribution extends into the basal Hauterivian of Switzerland with its transitional facies from Tethyan to Boreal in the SW region of Sainte-Croix. — In Europe, the species represents a facies form of the S European geosynclinal sea during Late Jurassic-Early Cretaceous time and is therefore unknown in the Boreal of Central and North Europe, e.g. in Germany, The Netherlands and England. — Concerning generic and specific determination of this form, we believe that new examinations and revisions of similar foraminiferal species ("Rassenkreis, genetic plexus or spectrum") with arenaceous agglutinated tests, especially with labyrinthic shell walls, are very urgent.

Lenticulina (Lenticulina) quenstedti (GUEMBEL 1862), (pl. 1, fig. 46-47)

- v · 1937 *Cristellaria (Lenticulina) quenstedti* GUEMBEL — BARTENSTEIN & BRAND, Abh. senckenb. natf. Ges. 439: 177, Taf. 11 A, Fig. 16 u.a.

- 1976 *Lenticulina quenstedti* (GUEMBEL) — ASCOLI Maritime Sediments spec. Publ. 1: fig. 3, 7, 27; pl. 2, fig. 3.
1978 *Lenticulina quenstedti* (GUEMBEL) — GRADSTEIN, J. foram. Res. 8/2: fig. 3; pl. 1, fig. 3.
1980 *Lenticulina quenstedti* — JANSA, REMANE & ASCOLI — Riv. ital. Paleont. 86/1: 108, 109, fig. 8.

Occurrence: Calcaire roux and basal Marne bleue (until now only NE-area), rare to locally frequent. — Cressier 1-11 m, only one section examined because we had no time for comparative examination of other sections. It is certain that the species has a larger distribution in the foreland of the Lower Cretaceous sedimentation. — This typical Middle Jurassic species is mainly distributed from Bajocian to Kimmeridgian in the Boreal and Tethyan facies realms of the northern hemisphere; but then persisting into the Upper Valanginian and basal Hauterivian in Switzerland. The species is entirely unknown in the boreal Lower Cretaceous of Germany, The Netherlands, and England: it means, in this particular case, that the Swiss forms are only isolated descendants from Upper Jurassic time. There is a definite chance of discovering similar forms of the same species in other parts of the S European Upper Jurassic/Lower Cretaceous geosyncline. There exists the possibility that many unrecognized specimens are put under the other species name such as *Lenticulina (L.) guttata* (DAM 1946): see the remarks by BARTENSTEIN & BRAND 1951, Abh. senckenb. natf. Ges. 485, p. 285.

Lenticulina (Saracenaria) triquetra (GUEMBEL 1862), pl. 1, fig. 48-50)

- 1953 *Saracenella triquetra* (GUEMBEL) — BARNARD Proc. Geologists' Assoc. 64/3: 190 fig. B, 4.
1960 *Lenticulina (Saracenaria) triquetra* (GUEMBEL) — LUTZE, Geol. Jb. 77: 457, Taf. 29, Fig. 11, 17; Abb. 13.
1962 *Saracenaria triquetra* (GUEMBEL) — CORDEY, Senckenb. Lethaea 43/5: 383, pl. 46, fig. 9; fig. 21-25.

Occurrence: Calcaire roux and basal Marne bleue (until now only NE-area), rare. — Cressier 3-11 m (only one section examined): Regarding the distribution in Switzerland see remarks on *L. (L.) quenstedti*. — This typical Upper Jurassic species is distributed in the Boreal of the northern hemisphere from Callovian to Tithonian and persists into the Valanginian and Hauterivian (see BARTENSTEIN & BRAND 1951, p. 291. LUTZE 1960, p. 458), and possibly also occurs in the Tethyan, under the species name *L. (S.) cf. italicica* (DEFRANCE): DIENI & MASSARI 1966, p. 132, Upper Valanginian of Sardinia. — We expect additional new discoveries of this species within the S European Upper Jurassic/Lower Cretaceous geosyncline in the near future.

To summarize the remarks of the persistence of the three foraminiferal species *Buccicrenata italicica*, *Lenticulina quenstedti* and *Lenticulina triquetra*, to the Lower Cretaceous: New systematic examinations of the existing material have to be made to check the validity or invalidity of various species names newly designated in the Lower Cretaceous. Many have the same arrangement and shape of their tests when compared with well known Middle and/or Upper Jurassic species which were designated earlier and therefore possess priority.

3.4. Species reworked from Upper Jurassic/Berriasian and now incorporated in Upper Valanginian/Lower Hauterivian strata

Pseudocyclammina lituus (YOKOYAMA 1890), (pl. 2, fig. 1-3)

- v • 1954 *Pseudocyclammina* sp. and *Ammobaculites* (?) sp. [pars] — BARTENSTEIN & BURRI, Eclogae geol. Helv. 47/2: plate 28.
1965 *Pseudocyclammina lituus* (YOKOYAMA) — HAEFELI et al., Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 31/81: 71-72, Fig. 6, 10, 12, 14.
1966 *Pseudocyclammina lituus* (YOKOYAMA) — HAEFELI, Eclogae geol. Helv. 59/2: Fig. 34.
1976 *Pseudocyclammina lituus* — ASCOLI, Maritime Sediments spec. Publ. 1: 661, fig. 27; pl. 7, fig. 1.
1980 *Pseudocyclammina lituus* (YOKOYAMA) — JANSA, REMANE & ASCOLI — Riv. ital. Paleont. 86/1: 108, 109, 110, fig. 5.

Occurrence: Calcaire roux to Pierre jaune as reworked material distributed mostly locally and rare. — Le Landeron LA3, 500-498; Cressier 25-29 m; Neuchâtel, forage 208, 46.75 m; Les Uttins 383-381. — Original distribution worldwide in the Upper Jurassic, but reworked in the Berriasian to (Lower) Hauterivian, as reported by HAEFELI et al. 1965, p. 71, footnote 4: "Bei den vereinzelten, sichtbar angewitterten Exemplaren von *Pseudocyclammina lituus* in der basalen Mergelzone des Hauterivien, d.h. oberhalb des Untergrenze von *Trocholina infragranulata* NOTH, handelt es sich offensichtlich um aufgearbeitete Individuen (anders gefärbt als die hier auftretende Mikrofauna)." We agree with this statement on many points, and we extend the findings of this species to the Pierre jaune. — Occurrence in E Canada, Scotian Shelf: Oxfordian to Hauterivian (ASCOLI 1976), Late Kimmeridgian to Valanginian (JANSA, REMANE & ASCOLI 1980). But we don't agree with *Pseudocyclammina lituus*, figured by ASCOLI 1976, pl. 7, fig. 1 from the Valanginian: this specimen belongs to another genus and/or species.

In all publications we regret any opinions concerning the extinction of the true *Pseudocyclammina lituus*: in the Tithonian, Berriasian or Valanginian; and also those concerning the beginning of true reworked specimens: in the Berriasian, Valanginian or Hauterivian?

In the following we describe and discuss the occurrences of *Trocholina alpina* (LEUPOLD 1935) and *Trocholina elongata* (LEUPOLD 1935) jointly because of the fact that both species mostly occur together, and furthermore that both species are very closely related, possibly belonging to the same species with two different generations and two morphologic variations, respectively.

Trocholina alpina (LEUPOLD 1935), (pl. 2, fig. 4-6)

- v · 1954 *Trocholina* sp. (= dicke "Coscinoconus") [pars] — BARTENSTEIN & BURRI, Eclogae geol. Helv. 47/2: plate 28.
1965 *Trocholina alpina* (LEUPOLD) — HAEFELI et al., Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 31/81: 71, Fig. 6, 12, 14.
1966 *Trocholina alpina* (LEUPOLD) — HAEFELI, Eclogae geol. Helv. 59/2: fig. 34.
1980 *Trocholina alpina* (LEUPOLD) — JANSA, REMANE & ASCOLI, Riv. ital. Paleont. 86/1: 108, 109, fig. 5, 8.

Trocholina elongata (LEUPOLD 1935), (pl. 2, fig. 7-9)

- v · 1954 *Trocholina* sp. (= dicke "Coscinoconus") [pars] — BARTENSTEIN & BURRI, Eclogae geol. Helv. 47/2: plate 28.
1965 *Trocholina elongata* (LEUPOLD) — HAEFELI et al., Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 31/81: 71, Fig. 6, 14.
1966 *Trocholina elongata* (LEUPOLD) — HAEFELI, Eclogae geol. Helv. 59/2: fig. 34.
1980 *Trocholina elongata* (LEUPOLD) — JANSA, REMANE & ASCOLI, Riv. ital. Paleont. 86/1: 108, 109, fig. 5.

Occurrence: Calcaire roux and Marne bleue (Area of Sainte-Croix) in reworked layers, only locally and very rare to frequent. — Ravin du Colas 462-467; L'Auberson 12150-12147. — Original distribution Tithonian/Berriasian (LEUPOLD & BIGLER 1935), according to HAEFELI et al. 1965 Upper Jurassic to Valanginian with the following statement, p.71, footnote 5: "Eine Aufsplitterung der polymorphen Trocholinen auf Grund ihrer verschiedenen Kegelform und Grösse in zahlreiche 'Spezies' (z.B. GUILLAUME 1963) ist kaum annehmbar; auch die Berechtigung einer selbständigen Gattung *Neotrocholina* ist in Frage gestellt." — Occurrence in E Canada (JANSA, REMANE & ASCOLI 1980): Kimmeridgian to Valanginian (*T. alpina*), Kimmeridgian and Tithonian (*T. elongata*).

As stated for *Pseudocyclammina lituus*, we also repeat here our question concerning the extinction of both species: Tithonian, Berriasian or Valanginian; and concerning the beginning of true reworked specimens: Berriasian, Valanginian or Hauterivian?

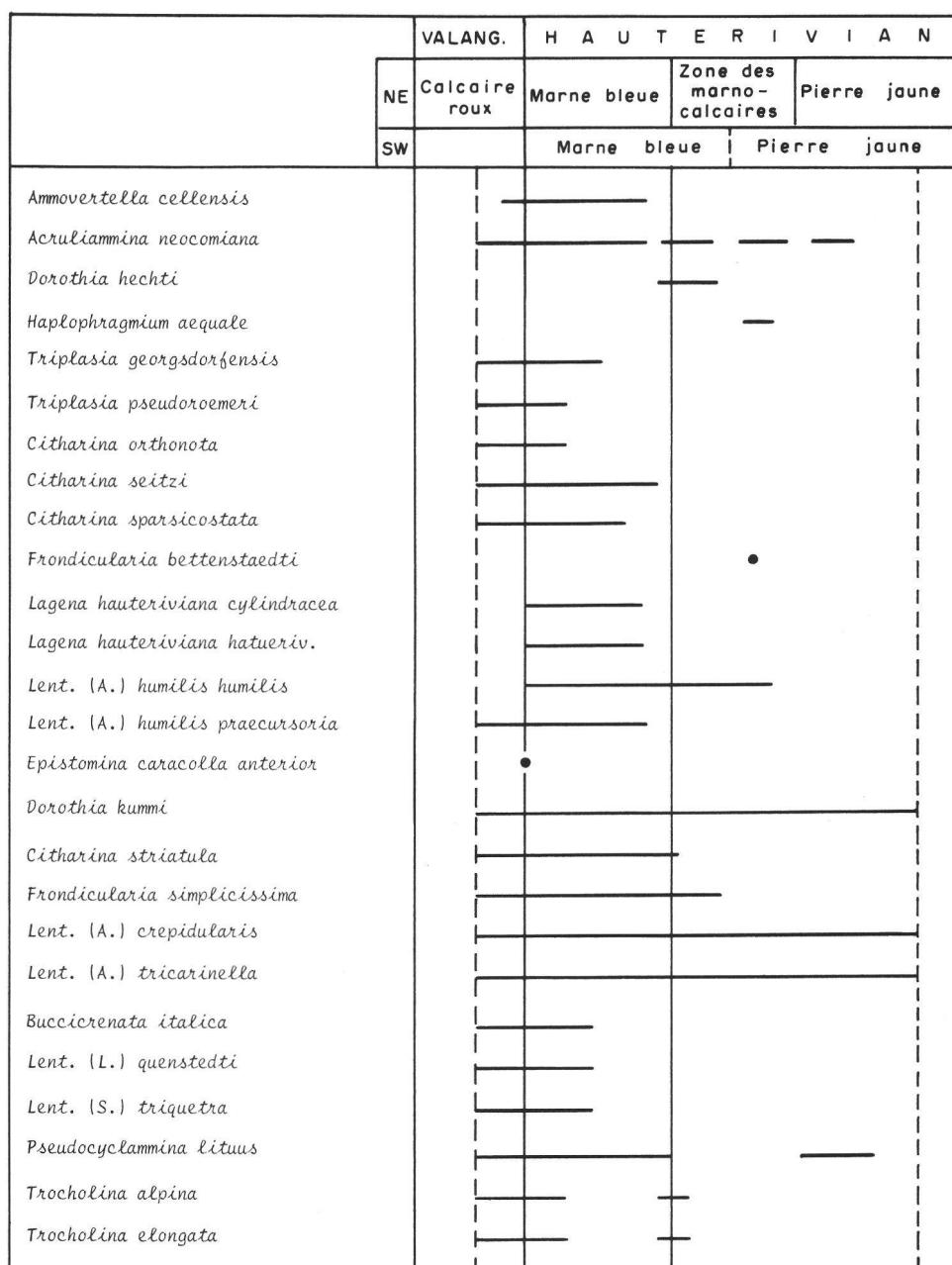


FIG. 1. — Distribution of selected benthonic index foraminifera in the (Lower) Hautevian of Switzerland.

- — — — Distribution of the respective species.
- Individual occurrence.
- — — — Limit of stratigraphic interval of the investigated geological sections.

4. REMARKS ON THE STRATIGRAPHY AND PALEOGEOGRAPHY (fig. 1)

There exists a very close relationship, in fact we would say a nearly total conformity in the stratigraphic distribution and regional occurrence of benthonic foraminifera (as well as of ostracoda) in the Lower Hauterivian deposits in the sedimentary basins of Switzerland and of the Boreal Central and Northern Europe, e.g. in the Paris Basin, The Netherlands, Germany (e.g. BARTENSTEIN & BETTENSTAEDT 1962), Poland (e.g. publications by SZTEJN) and England (e.g. BARTENSTEIN 1956, FLETCHER 1973), as also stated, in the same sense, by H. J. OERTLI (this vol.), chapter 4 Palaeogeography: "Table I shows clearly that the majority of species are known from other parts of Europe, especially the Paris Basin, northern Germany and England, i.e. that no major barriers existed at that time between these basins. This is different with regard to SE France. — Hauterivian samples from SE France offer a completely different aspect as far as not only Ostracoda but also Foraminifera are concerned; a rich 'micro-world' that still needs intensive study."

Therefore a separation of 26 foraminiferal species from a total number of more than 100 species or subspecies enables no more than a very limited survey of all the stratigraphic implications. 15 index foraminifera yield a relatively narrow boundary-line within the Lower Hauterivian, on the other hand, 5 selected important species, *Dorothia kummi* to *Lenticulina (Astocolus) tricarinella*, cover greater stratigraphic intervals within the (Lower) Hauterivian. In particular, the two individual findings of *Frondicularia bettenstaedti* and *Epistomina caracolla anterior* point to two stratigraphically important horizons in the Lower Hauterivian and basal Lower Hauterivian, respectively, but this is based on their stratigraphic distribution in NW Germany. Different from the foraminiferal facies of NW Germany and England is the occurrence of 3 species descended from the Jurassic, and also 3 species reworked from Upper Jurassic/Berriasian: here we perceive the narrow paleogeographic connection of the Swiss (Lower) Hauterivian to the (Upper) Jurassic of the Jura Mountains, and their tectonic movements. In the Hauterivian of NW Germany and England, because of their differing paleogeographic conditions, we do not find descendants from the Upper Jurassic or reworked species from the Upper Jurassic to Berriasian, as in Switzerland.

Dorothia hechti in the Lower Hauterivian of Le Landeron, firstly described from the mediterranean Upper Valanginian of Sardinia, and secondly from the Tethyan Upper Valanginian/Lower Hauterivian of Rumania, proves the migration path from South to North into the Boreal facies of Switzerland and into our area of investigation, which belongs, according to paleogeographic considerations, to the transition zone between the Tethyan and the temperate facies realm (BARTENSTEIN 1965: 52, fig. 1; BARTENSTEIN 1969: 88, Abb. 12). Summarizing the stratigraphic considerations of all the investigated foraminifera, including the 77 unpublished species, we are sure that the Swiss Lower Hauterivian is an excellent equivalent member in all Boreal Lower Cretaceous occurrences in Southern (in parts: Boreal predominating), Central and Northern Europe, with small participation of Tethyan (mediterranean) influences (because of the Swiss geographic position as a transition zone between Tethyan and Boreal), coming mainly from the South, but possibly also interposing between Eastern Europe and Southern Europe due to the paleogeographic position of Switzerland. We should like to confirm H. J. OERTLI's statement that, at least during Lower Hauterivian depositional time, no large barriers existed between e.g. NW Germany in the northern area and Switzerland in the southern area: indirect sea channels caused by emergent land masses at that time interval must have been of very short duration and both sedimentary basins were probably directly connected without longer migration routes via Eastern Europe and Poland.

5. IMPORTANT REFERENCES

- ASCOLI, P. — (1976). Foraminiferal and Ostracod biostratigraphy of the Mesozoic-Cenozoic, Scotian Shelf, Atlantic Canada. *Maritime Sediments spec. Publ. 1*: 653-771, 15 pl., 5 tabl., 31 fig.
BARTENSTEIN, H. — (1956). Zur Mikrofauna des englischen Hauterive. *Senckenb. Lethaea* 37/5-6: 509-533, 3 Taf., 4 Abb.
— (1962). Neue Foraminiferen aus Unterkreide und Oberkeuper NW-Deutschlands und der Schweiz. *Senckenb. Lethaea* 43/2: 135-149, 1 Taf., 3 Abb.

- BARTENSTEIN, H. — (1965). Unter-Valanginien oder Berriasien. Eine Stellungnahme. *Rev. bulgar. Geol. Soc.* 26/1: 51-58, 3 Fig.
- (1969). Land und Meer in Europa vor 135 Millionen Jahren. *Natur u. Museum* 99/2: 79-91, 13 Abb.
- BARTENSTEIN, H. & BETTENSTAEDT, F. — (1962). Marine Unterkreide (Boreal und Tethys). *Leitfoss. Mikropaläont.* B7: 225-297, Taf. 33-41, Abb. 17-24, Tab. 17-18.
- BARTENSTEIN, H. & BURRI, F. — (1954). Die Jura-Kreide-Grenzschichten im schweizerischen Faltenjura und ihre Stellung im mitteleuropäischen Rahmen. Eine Untersuchung auf mikropaläontologischer Grundlage. *Eclogae geol. Helv.* 47/2: 426-443, 2 Taf., 4 Fig.
- BARTENSTEIN, H. & KAEVER, M. — (1973). Die Unterkreide von Helgoland und ihre mikropaläontologische Gliederung. *Senckenb. Lethaea* 54/2-4: 207-264, 6 Taf., 7 Abb., 1 Tab.
- BARTENSTEIN, H. & KOVATCHEVA, T. — (1982). A Comparison of Aptian Foraminifera in Bulgaria and North West Germany. *Eclogae geol. Helv.* 75/3: 621-667, 5 fig., 5 pl.
- BERTSCHY, R. — (1958). Geologie der Kreide und Molasse in der Umgebung von Grandson (Kt. Waadt). *Eclogae geol. Helv.* 51/2: 217-263, 3 Taf., 10 Fig., 2 Tab.
- DIENI, I. & MASSARI, F. — (1966). I Foraminiferi del Valanginiano superiore di Orosei (Sardegna). *Palaeontographia ital.* 61 [n. ser. 31]: 75-186, Taf. 61-70, 3 Fig.
- FLETCHER, B. N. — (1973). The distribution of lower Cretaceous (Berriasian-Barremian) foraminifera in the Speeton Clay of Yorkshire, England. *Geol. J. (Liverpool)* spec. Issue 5: 161-168, 3 fig.
- FRIEG, C. & KAEVER, M. — (1976). Morphologie, Wandungsbau und Verbreitung von *Acruliammina neocomiana* BARTENSTEIN 1962. *N. Jb. Geol. Paläont. [Mh.]* 2: 118-128, 2 Abb.
- HAEFELI, Ch. — (1966). Die Jura/Kreide-Grenzschichten im Bielerseegebiet (Kt. Bern). *Eclogae geol. Helv.* 59/2: 565-695, 40 Fig., 2 Taf., 17 Tab.
- HAEFELI, Ch., MAYNC, W., OERTLI, H. J. & RUTSCH, R. F. — (1965). Die Typus-Profile des Valanginien und Hauterivien. *Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing.* 31/81: 41-75, 14 Fig.
- JANSA, L. F., REMANE, J. & ASCOLI, P. — (1980). Calpionellid and foraminiferal-ostracod biostratigraphy at the Jurassic-Cretaceous boundary, offshore eastern Canada. *Riv. ital. Paleont.* 86/1: 67-126, pl. 5-9, fig. 1-11.
- LEUPOLD, W. & BIGLER, H. — (1935). *Coscinoconus*, eine neue Foraminiferenform aus Tithon-Unterkreide-Gesteinen des helvetischen Zone der Alpen. *Eclogae geol. Helv.* 28: 606-624, Taf. 18.
- LUTZE, G. F. — (1960). Zur Stratigraphie und Paläontologie des Callovien und Oxfordien in Nordwest-Deutschland. *Geol. Jb.* 77: 391-532, 21 Taf., 20 Abb.
- OERTLI, H. J. — (1989). Ostracoda from the historical type region in the Jura mountains *Mém. Soc. neuchât. Hist. nat.* 11: 205-222.
- POKORNY, V. L. — (1958). Grundzüge der zoologischen Mikropaläontologie, Band I. 6. Kapitel: Foraminifera: 88-429, Abb. 18-504.
- ZEDLER, B. — (1961). Stratigraphische Verbreitung und Phylogenie von Foraminiferen des nordwestdeutschen Oberhauterive. *Paläont. Z.* 35/1-2: 28-61, 3 Taf., 8 Abb.

PLATE I

Uniform enlargement of about $\times 30$. Scanning electron micrographs executed in the Scanning Laboratory of the Elf-Aquitaine Research Center at F-64018 Pau.

FIG. 1-2 *Ammovertella cellensis* BARTENSTEIN & BRAND 1951.

Cressier 2 m. — 1: 1.05 mm; 2: 1.43 mm, adherent to an ostracod carapace.

FIG. 3-4 *Acruliammina neocomiana* BARTENSTEIN 1962.

Ravin du Colas 465. — 3: 0.55 mm, aperture; 4: 1.45 mm, adherent to a rock fragment.

FIG. 5 *Dorothia hechti* DIENI & MASSARI 1966.

Le Landeron 688. — 5: 0.7 mm.

FIG. 6-7 *Haplophragmium aequale* (ROEMER 1841).

Ravin du Colas 492. — 6: 1.37 mm; 7: 2.12 mm.

FIG. 8-9 *Triplasia georgsdorfensis* BARTENSTEIN & BRAND 1949.

Cressier 13 m. — 8: 1.1 mm; 9: 0.67 mm.

FIG. 10 *Triplasia pseudoroemeri* BARTENSTEIN & BRAND 1951.

Cressier 4 m. — 1.17 mm.

FIG. 11-12 *Citharina orthonota* (REUSS 1863).

Cressier 2 m. — 11: 1.13 mm; 12: 1.32 mm, transitional form to *Citharina seitzi* BARTENSTEIN & BRAND 1951.

FIG. 13-15 *Citharina seitzi* BARTENSTEIN & BRAND 1951.

Cressier 2 m. — 13: 0.95 mm; 14: 0.85 mm; 15: 0.6 mm, fragment showing the meshwork more distinctly.

FIG. 16-17 *Citharina sparsicostata* (REUSS 1863).

Cressier 2 m. — 16: 2.25 mm, strongly encrusted; 17: 1.5 mm.

FIG. 18 *Frondicularia bettenstaedti* ZEDLER 1961.

Ravin du Colas 492A. — 1.0 mm.

FIG. 19-20 *Lagena hauteriviana cylindracea* BARTENSTEIN & BRAND 1951.

Valangin 671. — 19: 0.38 mm; 20: 0.33 mm, lower neck broken out. — See also plate 2, fig. 10-11.

FIG. 21-23 *Lagena hauteriviana hauteriviana* BARTENSTEIN & BRAND 1951.

Valangin 671. — 21: 0.32 mm; 22: 0.32 mm; 23: 0.27 mm. — See also plate 2, fig. 12-14.

FIG. 24-26 *Lenticulina (Astacolus) humilis humilis* (REUSS 1863).

Cressier 21 m. — 24, 26: lateral view, 25: front view. — 24: 0.83 mm; 25: 0.88 mm; 26: 0.85 mm. — Marked ribs and knots on the dorsal edges represent the common main characteristics of the species.

FIG. 27-28 *Lenticulina (Astacolus) humilis praecursoria* BARTENSTEIN & BRAND 1951.

Cressier 2 m. — 27: 0.73 mm; 28: 0.4 mm. — See also plate 2, fig. 15-16.

FIG. 29 *Epistomina caracolla anterior* BARTENSTEIN & BRAND 1951.

Valangin 677. — 0.37 mm, umbilical side. — See also plate 2, fig. 17.

FIG. 30-32 *Dorothia kummi* (ZEDLER 1961).

Cressier 1 m. — 30: 0.65 mm; 31: 0.63 mm; 32: 0.63 mm.

FIG. 33-34 *Citharina striatula* (ROEMER 1842).

Cressier 1 m. — 33: 1.63 mm; 34: 1.3 mm.

FIG. 35-38 *Frondicularia simplicissima* DAM 1946.

Cressier 9 m. — 35: 0.33 mm; 36: 0.26 mm; 37: 0.32 mm; 38: 0.35 mm. — See also plate 2, fig. 18-21.

FIG. 39-41 *Lenticulina (Astacolus) crepidularis* (ROEMER 1842).

Cressier 1 m. — 39: 0.82 mm; 40: 0.67 mm; 41: 0.57 mm.

FIG. 42-43 *Lenticulina (Astacolus) tricarinella* (REUSS 1863).

Cressier 4 m. — 42: 0.78 mm; 43: 0.56 mm.

FIG. 44-45 *Buccicrenata italica* DIENI & MASSARI 1966.

Ravin du Colas 469. — 44: 1.95 mm, small test; 45: 2.67 mm, large test.

FIG. 46-47 *Lenticulina (Lenticulina) quenstedti* (GUEMBEL 1862).

Cressier 3 m. — 46: 0.9 mm; 47: 0.67 mm.

FIG. 48-50 *Lenticulina (Saracenaria) triquetra* (GUEMBEL 1862).

Cressier 3 m. — 48: 0.77 mm; 49: 0.55 mm; 50: 0.65 mm.

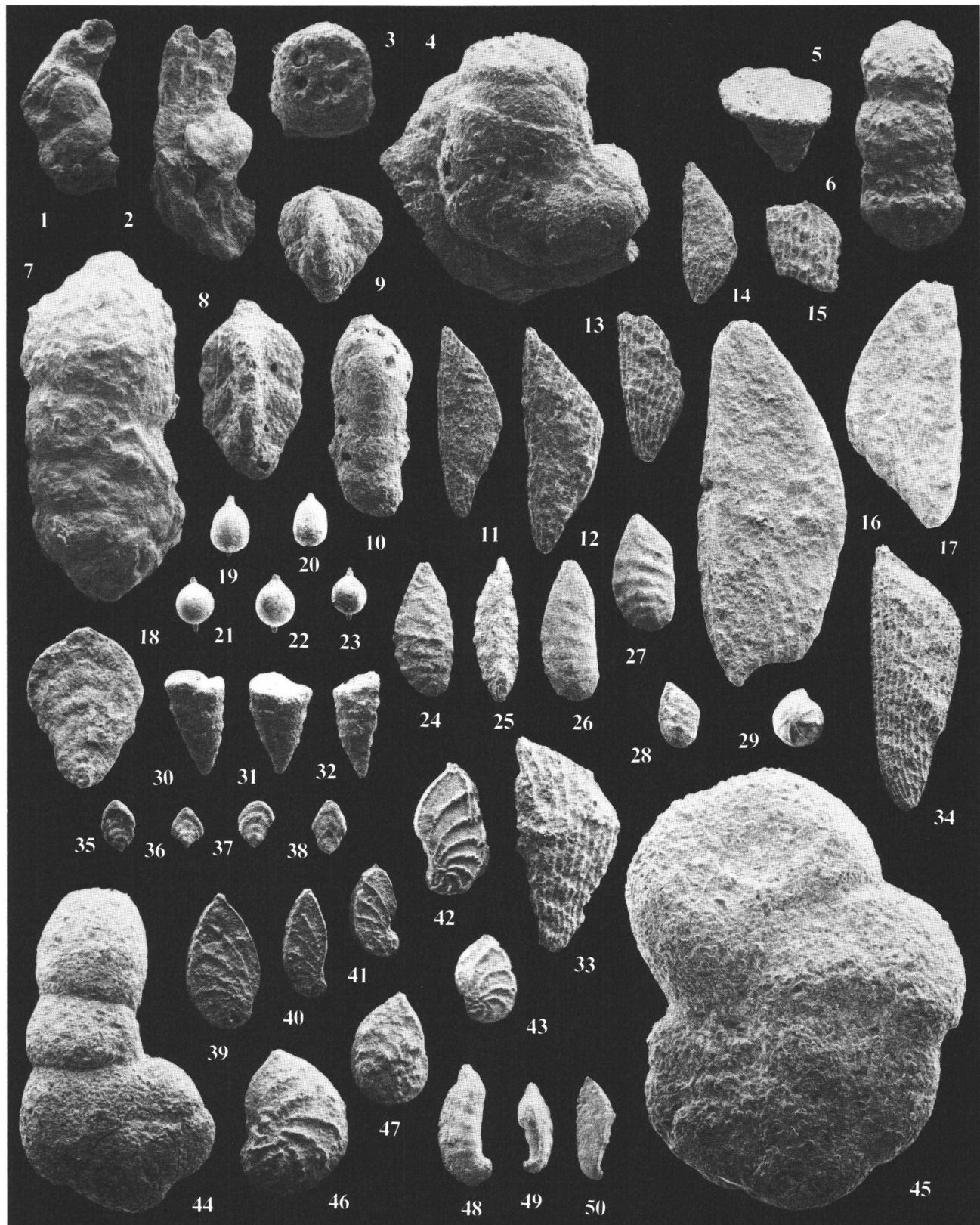


PLATE II

Fig. 1-9 about $\times 30$; fig. 10-21 about $\times 40$. Scanning electron micrographs.

FIG. 1-3 *Pseudocyclammina lituus* (YOKOYAMA 1890).

L'Auberson 12149. — 1: 0.45 mm, small involute test; 2: 1.35 mm, large uncoiled test; 3: 1.93 mm, large uncoiled test, strongly encrusted.

FIG. 4-6 *Trocholina alpina* (LEUPOLD 1935).

Ravin du Colas 462. — 4: 0.75 mm, spiral side; 5: 0.7 mm, umbilical side; 6: 0.67 mm, spiral side, corroded specimen.

FIG. 7-9 *Trocholina elongata* (LEUPOLD 1935).

Ravin du Colas 463. — 7: 0.63 mm; 8: 0.68 mm; 9: 0.55 mm, corroded specimen. — Lateral views.

FIG. 10-11 *Lagena hauteriviana cylindracea* BARTENSTEIN & BRAND 1951.

Same material as plate 1, fig. 19-20.

FIG. 12-14 *Lagena hauteriviana hauteriviana* BARTENSTEIN & BRAND 1951.

Same material as plate 1, fig. 21-23.

FIG. 15-16 *Lenticulina (Astacolus) humilis praecursoria* BARTENSTEIN & BRAND 1951.

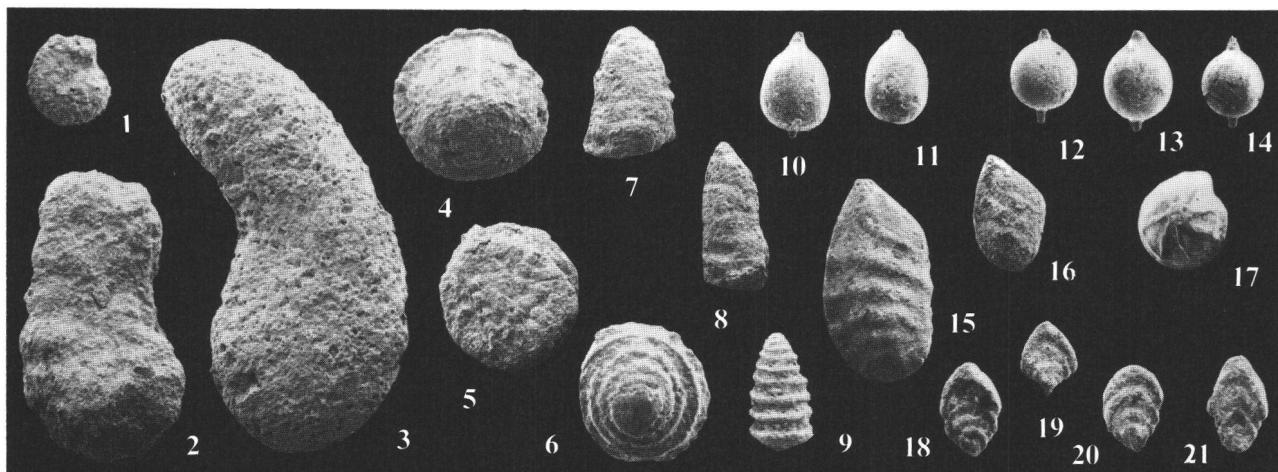
Same material as plate 1, fig. 27-28.

FIG. 17 *Epistomina caracolla anterior* BARTENSTEIN & BRAND 1951.

Same material as plate 1, fig. 29.

FIG. 18-21 *Frondicularia simplicissima* DAM 1946.

Same material as plate 1, fig. 35-38.



Mémoires de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles	Tome XI	p. 205-222, 2 fig., 1 tabl., 4 pl.	Neuchâtel, 1989
--	---------	------------------------------------	-----------------

OSTRACODA FROM THE HISTORICAL TYPE REGION OF THE HAUTERIVIAN STAGE IN THE JURA MOUNTAINS (Switzerland, France)

by

Henri J. OERTLI

Research subventioned
by the Swiss National Science Foundation (grant No. 2.434.075)

RÉSUMÉ. — L'étude de 142 échantillons venant de 8 coupes et un forage dans l'Hauterivien inférieur du Jura, situés essentiellement dans la région type autour d'Hauterive, a fourni 50 espèces identifiables d'ostracodes. La majorité (30 espèces) en est connue d'autres régions de l'Europe NW. Aucune espèce ne semble être en commun avec les faunes d'eau profonde du SE de la France. 13 des espèces connues sont limitées, selon les données publiées, à l'Hauterivien inférieur. Certaines formes sont susceptibles d'être utilisées pour une zonation plus détaillée.

ABSTRACT. — 142 samples from eight field sections and one well in (Lower) Hauterivian strata of the Jura mountains, principally around the Hauterive type region, yielded 50 distinguishable ostracode species, of which the majority (30) are known from other parts of northwestern Europe. No species seem to be in common with the deep water faunas from the Hauterivian of SE France. 13 of the known species are limited, according to literature, to the Lower Hauterivian, and certain forms may be used for finer zonation.

1. INTRODUCTION

Practically all washable samples from the studied sections yielded Ostracoda, and they were often considerable in quantity. This very positive aspect is unfortunately altered by the often quite bad preservation, which in some cases made exact determinations impossible. But on the whole, the output is very satisfactory: 50 species could be distinguished (fig. 1), of which 30 are known in literature (this last figure would be higher if the state of preservation had not hindered the specific determination in several cases).

It is the first time that a relatively complete account of Lower Hauterivian Ostracoda from the Jura mountains can be given¹.

This account is resumed principally in two documents: Table I, which gives the essential information about the species distribution in the different sections, and plates 1-4, which are intended to furnish the "proofs". Complete ostracode distribution tables, section by section, are at the disposal of interested readers (please

¹ The few papers having touched upon Swiss Hauterivian Ostracodes (BARTENSTEIN & BURRI, 1955; HAEFELI et al., 1965; HAEFELI, 1966; OERTLI, 1966; BASSIOUNI, 1974) merely cited a few species, except the first, containing small line drawings and the second last, describing and figuring "*Protocythere*" species extending (from the Valanginian) into the Hauterivian.

write to the author). Though a few sections begin in the Upper Valanginian (where I was able to observe a few characteristic species), this paper is limited to lower Hauerivian faunas. A thorough study of Upper Valanginian species would have needed more extensive sampling, and these levels contain mostly faunas of particularly bad preservation.

The little “1” of “lower Hauerivian” in this text is intentional, as the species distribution in the different sections has a much more lithological base than a sure chronostratigraphic sense. It comprises essentially the washable units, i.e. the Marnes bleues and Zone des Marno-Calcaires. For details on lithology and formations, see REMANE et al. (this vol.).

2. SPECIES AND STRATIGRAPHY

2.1. Dominant species

By far the most important species in number of individuals and presence in samples is *Protocythere triplicata* (ROEMER, 1841), which appears at the very base of the Hauerivian* and continues without visible variations towards the top of the sections. It often represents more than 50 % of the total number of individuals per sample. This is especially true for the Landeron section, where it dominates all samples, and the Neuchâtel well (dominant in 12 of 20 samples). Two species are in the second rank as far as numerical distribution is concerned: *Schuleridea thoerenensis werlensis* GRÜNDL, 1966, and *Rehacythereis bernardi* (GROSIDIER, 1964). They often constitute up to 40 % of the whole association and occasionally more.

A few other species show acmes. This is the case for *Costacythere frankei* (TRIEBEL, 1938), common in the uppermost Valanginian and lowest Hauerivian, and *Hechticythere hechti* (TRIEBEL, 1938), which may be common in the lower part of the lower Hauerivian (see fig. 2). *Schuleridea clunicularis* (TRIEBEL, 1938) is common to dominant in the 4 samples where it is found in the Colas section.

Schuleridea n. sp. occurs quite frequently in the few samples where it is present. Of the other species, 9 show in one sample a frequency proportion of more than 10 % of the fauna; all others are rare, generally represented by only 1-2 individuals.

2.2. Key species (fig. 2)

The restricted time interval studied does not allow us to recognize sure markers for further subdivision of this lower Hauerivian (as fig. 1 shows, 22 % of the determined species are already known as key species for the Lower Hauerivian), but in some cases we can derive useful hints about the stratigraphy and/or species extent.

The stratigraphic data (“known from the lower Hauerivian...” etc.) are mostly based on literature (see list of references). This means, in the case of N and NW Germany, an ammonite based zonation (*noricum* and *bivirgatus* Zones for the Lower Hauerivian, *capricornu*, *hildesiense*, *seeley*, *tenuis* and *strombecki* for the Upper Hauerivian), whereas the zonation in the Paris Basin is essentially due to the presence of characteristic Echinoderms. The Lower Hauerivian is formed there mainly of grey marls, the Upper Hauerivian by the “Spatangus Limestones”. The distribution of both Foraminifera and Ostracoda in these substages is identical to that in NW Germany.

Paranotacythere malzi malzi BASSIOUNI, 1974, is said (by its author) to be restricted to the lower part of the Lower Hauerivian; this is true in the case of the (single) occurrence in our samples (Cressier, sample 9). *Hechticythere pumila* (GROSIDIER, 1964) has been observed so far (in the Paris Basin) from the upper part of the Lower Hauerivian onwards (to the lower part of the Upper Hauerivian); this fits in well with the occurrence in the Jura, at least as far as its first appearance is concerned. *Schuleridea extranea*, known in literature from the same time interval, is registered in our samples from high positioned levels of the Lower Hauerivian.

* In the Swiss Jura Mountains as well as in other regions of central and northern Europe, whereas it is found from the uppermost Valanginian onwards (*Callidiscus* Zone) in SE France (DONZE & THIEUROY, 1975).

Number of species distinguished: 50

Of these :

Already known in literature.....: 30 (known stratigraphic range)
 { 13 Lower Hauterivian
 7 Hauterivian
 9 (Valang.-)Hauter.(-Barr.)
 1 Lower Cretaceous

Compared with known species (cf., aff.)....: 6

Distinguished on a generic level.....: 14

Furthermore :

Attributed as "spp." to a genus: > 7

Indeterminated Micro-Ostracodes: > 1

FIG. 1. — Condensed species account.

BASSIOUNI (1974) describes his *Paranotacythere malzi progressa* from the upper part of the Lower Hauterivian and the lower part of the Upper Hauterivian. Here, we have a slight discrepancy: it is found in the Swiss Jura in the lower part of the Lower Hauterivian. The acmes of *Hechticythere hechti* and *Costacythere frankei* (see 2.1.) give fairly good correlation levels.

Amphicytherura roemerii (BARTENSTEIN, 1956) (known in Europe from the Hauterivian and Barremian) has quite a regular occurrence in the upper part of the Lower Hauterivian (except for Valangin where it occurs near the Hauterivian base). In similar stratigraphic positions *Schuleridea* n. sp. and the "microscopic variant" of *Paranotacythere diglypta diglypta* (TRIEBEL, 1941) are also found. The other species are too restricted in their occurrence to serve as stratigraphic key forms.

3. PALAEOECOLOGY

The faunal composition does not reveal any striking changes that might have their origin in important environmental modifications. It is the image of an inner neritic deposit, deep enough to be exempt from lacustrine elements (two samples from Auberson excepted; the levels 12140 and 12145). The species diversity is never high; the best sections, Cressier and Neuchâtel, comprise samples with up to 14, resp. 11 species. Otherwise, the mean number of species per sample is 4 to 5.

It must be added that the three numerically important species, that have no restricted stratigraphical value, show certain presence and frequency variations. In one section, the lower part of the Colas profile, *Schuleridea thoerenensis werlensis* is dominant whilst *Protocythere triplicata* is absent, and when the latter

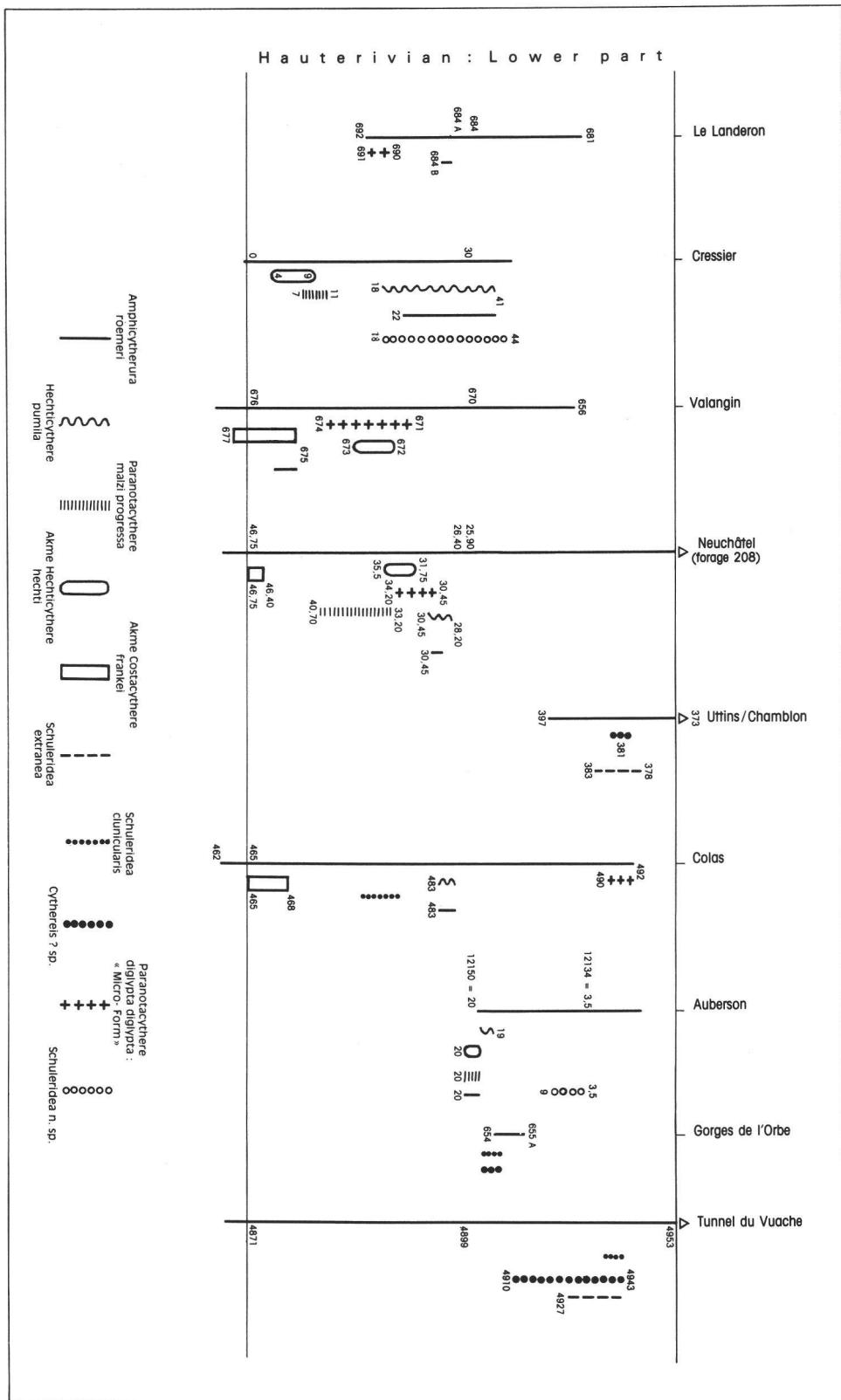


FIG. 2. — Distribution of species of limited vertical extent.

appears abruptly and in great numbers the former species becomes rare. But the same observation is not true of other sections. Of course, one might be tempted to look for a signification in every case, in every sample in which a "potential species" is absent... Sometimes, true environmental reasons may exist, otherwise it may depend on whether the species were present during their lifetime or whether they were transported after death, or it may depend on the nature of the random sample.

The unsatisfactory preservation is usual, as will be realised by anybody who has studied microfossils (at any level) of the Jura mountains. It may be due to water permeability of the sediments, probably intensified through tectonic activity.

4. PALAEOGEOGRAPHY

Table I shows clearly that a majority of species are known from other parts of Europe, especially the Paris Basin, northern Germany and England, i.e. that no major barriers existed at that time between these basins. This is different with regard to SE France: apart from *Protocythere triplicata* which is also observed in shallow facies of SE France, we find in our material only two species (*Raymoorea* aff. *peculiaris* (DONZE, 1965) and *Cresacytheridea* aff. *ardescae* (DONZE, 1965)) that show affinities to Vocontian deep water assemblages. Hauterivian samples from SE France offer a completely different view as far as not only Ostracoda but also Foraminifera are concerned; a rich "micro-world" that still needs intensive study.

5. SYSTEMATICS

In order to save space, the detailed species distribution in the different sections (as well as elsewhere in Europe) is not given in this chapter; please refer to table I for this, and to chapter 2.1. for comments about the frequency. Comments are made only when there is a special reason for them. Also "anonymous species" (the "spp."; see table I) are mostly not commented upon.

The studied material is in the author's collection, currently in the Geology-Palaeontology Department, University of Geneva, Switzerland.

OSTRACODA LATREILLE, 1806
PODOCOPIDA MÜLLER, 1894

5.1. *Platycopida* SARS, 1866

5.1.1. *Cytherellidae* SARS, 1866

5.1.1.1. Genus *Cytherella* JONES, 1849

Cytherella fragilis NEALE, 1962 (pl. 1, fig. 1)

1962 *Cytherella fragilis* NEALE, new species. — NEALE: Speeton Clay, 429, pl. 1, fig. 5-7.

Present in most sections, but always rare.

5.1.1.2. Genus *Cytherelloidea* ALEXANDER, 1929

Cytherelloidea aff. *reburgensis* BARTENSTEIN & BRAND, 1959 (pl. 1, fig. 2)

aff. 1959 *Cytherelloidea reburgensis* n. sp. — BARTENSTEIN & BRAND: Wichtige Ostracoden Valendis, 225f, pl. 27, fig. 1; pl. 28, fig. 1-2.

A single specimen was found at the Hauterivian basis of Cressier. It is distinguished from *C. reburgensis* by the lack of the median ridge.

TABLE I. — Distribution of Ostracoda in the (lower) Hauterivian type sections of the Jura Mountains.

FIGURED PLATE FIG	S P E C I E S	HITHERO KNOWN DISTRIBUTION STRATIGRAPHY	COUNTRIES	Le Landeron 691-684A 7 samples	Cressier 0-44 44 samples	Valangin 677-667 11 samples	Weil Neuchâtel 46,75m - 26,5m 20 samples	Uttins/ Chamblon 378-383 3 samples	Colas 465-492 23 samp-Haut	Auberson 20 - 3,5m 12 samples	Gorges de l'Orbe 655A-654 3 samples	Tunnel du Vuache 4869-4943
3 11-13	Protocythere triplicate (ROEMER, 1841)	Terminal Val.-Barremian	Europe	7:691-684A	42:0-44	8:676-667	18:46,40-26,50	2:378-383	11:476-492	11:20-3,5	3:665A-654	1&48694943
4 1-3	Rehacythereis bernardi (GROSIDIER, 1964)	Haut. - Lower Barremian	GB,D,F,CH	7:691-684A	31:0-41	6:675-670	16:46,75-26,50		4:468-492	5:20-3,8		4:48994910
1 1	Cytherella fragilis NEALE, 1962	Upper Val.?)Hauterivian	GB, D		911?1:44	1 : 672	5:40,70-31,75		4:465-474	3:20-3,5		3:48714910
1 8	Pontocyprella sewia GRÜNDEL, 1966	Upper Hauterivian	GB, D		1 : 1							
2 7-9	Schuleridea thoerensis werlensis GRÜNDEL, 1966	Lower Hauterivian	GB,F,D,CH, PL?	2:691-690	30:0-44	8:676-670	16:46,75-26,50		14:466-492	3:20-3,5 (+ 2 ?)		9:48694932
1 2	Cytherelloidea aff. rehburgensis BARTENS-TEIN & BRAND, 1959	(Valanginian)	D		1 : 2							
1 9	Macrocypris sp. 2 GRÜNDEL, 1966	Lower Hauterivian	D, F		8:2-19 ^{VI}	1 : 674	2:31,75-27,50					
2 5	Dolocythere longa GRÜNDEL, 1966	Lower Hauterivian	D		4:4-11		4:34,20-28,20		1:486	1:20		
1 3	Cytherelloidea dividera GRÜNDEL, 1966	Lower Hauterivian	D		5:4-9 ^{IV}		1:35,50					
3 6-7	Hechticythere hechti (TRIEBEL, 1938)	Terminal Val.-Haut.(& Barr.?)	GB,D,F,CH, URSS, PL	1:688	15:4-22 ^{III}	3:673-671	6:39,60-28,70		4:465-492	2:20-3,8		3:48694899
4 9	Paranotacythere diglypta diglypta (TRIEBEL, 1941)	Lower Hauterivian	GB, D, F, PL	2:691-690	4:4-24 ^{VII}		3:41,90-38,20		2:475-478			
4 13	Raymoorea aff. peculiaris (DONZE, 1965)	(Berr.-Valanginian)	(FranceSE)		1:4							
1 10	Paracypris acuta (CORNUEL, 1846)	Lower Cretaceous	D, F		3:4-28					1:467		
2 3	Kentrodictocythere subtilis (GRÜNDEL, 1966)	Hauterivian	D		4:6-21 ^{VI}	1:672				1:492	1:19	
3 3	Neocythere sp. 1 GRÜNDEL, 1966	(Lower Hauterivian)	GB, D	1:688	6:6-41		5:35,50-26,50				5:20-15'	
1 12	Asciocythere brevis (CORNUEL, 1846)	Upper Valanginian-Barr.	GB,F,D,PL?	1:688	3:7-33							
1 14	Parexopthalmocythere rodevaldensis BARTENSTEIN & BRAND, 1959	Val.-Hauterivian	GB,D,F,CH, PL		1:7		1:39,60		1:467			
4 10	Paranotacythere malzi progressa BASSIOUNI, 1974	Lower Haut.,upper part-Upper Haut., lower part	D, CH		3:7-11		4:40,70-33,20			1:20		
1 11	Paracypris sinuata NEALE, 1962	Lower Haut. (& upper in GRÜNDEL, 1966)	D, GB		2:8-9 ^{IV}					1:492		
4 15	Cresacytheridea aff. ardesiae (DONZE, 1965)	(Valanginian)	(FranceSE)		3:9 ^{III} -11							
1 4	Cytherelloidea imminuana GRÜNDEL, 1966	Lower Hauterivian	D		3:0-41 (+2?)		3:41,90-26,95		3:465-467	2:19-18		2:48694870
4 16	Patellacythere sp. (Monoceratina sp. 3 GRÜNDEL, 1966)	(Lower Hauterivian)	D		1:9 ^{III}							
4 7	Paranotacythere cf. globosa filia BASSIOUNI, 1974	(Haut.(Lower Barremian))	GB, D, F, CH, PL		3:9 ^{III} -15							
2 1-2	Dolocytheridea (D.) hilseana (ROEMER, 1841)	Haut.-Lower Barremian in E	D,F,GB,CH, PL		5:4-11 (+1? -4?) ^{VII}		4:38,20-33,20					
4 11	Paranotacythere malzi malzi BASSIOUNI, 1974	Lower Hauterivian inf., lower part	D		1:9 ^{IV} (+1?) (-14?)							
3 9	Costacythere granifera (GROSIDIER, 1964)	Lower Hauterivian	F, D, CH		3:11-23 ^{VI}		1:28,70					
1 7	Bairdia ? sp.				1:18							
3 4-5	Hechticythere pumila (GROSIDIER, 1964)	Lower Haut.,upper part -Upper Hauterivian	D, F, CH		5:18-41 (+1?)		2:30,45-28,20		1:483	1:19		
3 1	Schuleridea n. sp.	Lower Haut.,upper part -Upper Hauterivian			6:18-44					3:9-3,5		
1 5	Bairdia n. sp.				7:14-23 ^{VI}	3:675-670	5:46,75-26,50		8:468-489	7:19-3,8	1:655A	1:4891
4 6	Eucytherura (Vesticytherura) sp. A				2:22 ^{III} ,41		1:38,20					
1 13	Amphicytherura roemerii (BARTENSTEIN, 1956)	Haut.-Barremian (Upper Haut.,lower part, in GRÜNDEL, 1966)	GB, D	1:684 B	7:22-41	1:675	1:30,45		1:483	1:20		
3 8	Hechticythere cancellata (GROSIDIER, 1964)	Lower Hauterivian	F	1:688	2:23 ^V -23 ^{VI}		1:46,75					
2 4	Kentrodictocythere ? sp.				2:25-28							
4 17	Metacytheropteron ? sp.				1:28							
	Schuleridea spp.				1:27					1:489	1:655A	
4 12	Eocytheropteron spp.				4:5-41	675A-667	3:41,90-28,70		3:486-489			
3 10	Costacythere frankei (TRIEBEL, 1938)	Top Valanginian-Lower Hauterivian	GB,D,F,CH, I,E,DK,PL?			677-675A (Val.)	2:46,75-46,40		8:465-481			2:513I-5146 (Valang.)
4 14	Cresacytheridea ? sp.						1:46,40		3:462-473 (Val.)			
	Patellacythere sp.						1:45,30 (larve)					
	Micro-Ostracoda						2:36,90-35,50					
1 6	Bairdia sp.			1:688			1:28,70					
	Asciocythere sp.						2:463,466 Val.					
2 6	Schuleridea punctatula (ROEMER, 1841)	Lower Haut.-Upper Haut., lower part	GB,D,F,CH						2:491-492			
	Valendocythere sp.					676						
	Paracypris spp.					675					1:4927	
	Cytherelloidea sp.										1:4910	
2 10	Schuleridea calcarata (TRIEBEL, 1938)	Lower Hauterivian lower & upper part	D, F						2:471-472			
2 11-12	Schuleridea clunicularis (TRIEBEL, 1938)	Lower Hauterivian lower part	D, F						4:474-477		1:654	1:4943
4 5	Eucytherura (Vesticytherura) aff. nuda KAYE, 1964	(Upper Haut.-Lower Barr.)							1:481			
2 13	Schuleridea aff. thoerensis th. (TRIEBEL, 1938)	(Valanginian)								1:18		
	Limnisch-brackish species (with Fabanella boloniensis (JONES, 1882))									2:15-9		
3 2	Schuleridea extranea GROSIDIER, 1964	Lower Haut.,upper part-Upper Hauterivian	F					3:378-383				2:49274943
4 4	Cythereis ? sp.							1:381			1:654	4:49104943

Cytherelloidea dividera GRÜNDL, 1966 (pl. 1, fig. 3)

1966 *Cytherelloidea dividera* n. sp. — GRÜNDL: Unterkreide Deutschland, 13, pl. 1, fig. 7-8.

Characteristic species, but limited to a few levels in Cressier and one in the Neuchâtel Well.

Cytherelloidea imminuera GRÜNDL, 1966 (pl. 1, fig. 4)

1966 *Cytherelloidea imminuera* n. sp. — GRÜNDL: Unterkreide Deutschland, 13f, pl. 1, fig. 5.

Quite common species present in 5 sections.

5.2. *Podocopa* SARS, 1866

5.2.1. *Bairdiidae* SARS, 1888

5.2.1.1. Genus *Bairdia* MCCOY, 1844

Bairdia n. sp. (pl. 1, fig. 5)

Rather common species throughout the lower part of the Hauterivian (7 sections), and characterized by its triangular, almost symmetrical shape. Apparently a new, hitherto unobserved species.

Bairdia sp. (pl. 1, fig. 6)

A species (only two specimens found) characterized by its very elongate anterior extremity.

Bairdia? sp. (pl. 1, fig. 7)

A single specimen represents this species, with triangular dorsal line and absence of the characteristic *Bairdia* tail.

5.2.2. *Pontocyprididae* MÜLLER, 1894

5.2.2.1. Genus *Pontocyprella* MANDELSTAM, 1955

Pontocyprella sewia GRÜNDL, 1966 (pl. 1, fig. 8)

1966 *Pontocyprella sewia* n. sp. — GRÜNDL: Unterkreide Deutschland, 17, pl. 2, fig. 7-8.

A single specimen was found.

5.2.3. *Macrocyprididae* MÜLLER, 1912

5.2.3.1. Genus *Macrocypris* BRADY, 1968

Macrocypris sp. 2 GRÜNDL, 1966 (pl. 1, fig. 9)

1966 *Macrocypris* sp. 2. — GRÜNDL: Unterkreide Deutschland, 15, pl. 1, fig. 23-24.

A distinctive species, relatively common in the Cressier section. Complete specimens are very rare.

5.2.4. *Paracyprididae* SWAIN, 1961

5.2.4.1. Genus *Paracypris* SARS, 1866

Paracypris acuta (CORNUEL, 1848) (pl. 1, fig. 10)

1848 Cythérée aiguë. — *Cythere acuta*, Nobis. — CORNUEL: Nouveaux fossiles, 242f, pl. 1, fig. 7-9.

1957 *Paracypris acuta* (CORNUEL). — DEROO: Champagne humide-Boulonnais, 1509, pl. 4, fig. 49-50.

4 specimens of this long-life species were found.

Paracypris sinuata NEALE, 1962 (pl. 1, fig. 11)

1962 *Paracypris sinuata* Neale, new species. — NEALE: Speeton Clay, 434f, pl. 1, fig. 14: pl. 2, fig. 14, 16.

Representatives of this elegant *Paracypris* were found in 3 samples.

Paracypris sp. Damaged material of uncertain specific attribution.

5.2.5. *Cytheridae* BAIRD, 1850

5.2.5.1. Genus *Amphicytherura* BUTLER & JONES, 1957

Amphicytherura roemeri (BARTENSTEIN, 1956) (pl. 1, fig. 13-14)

1956 *Orthonotacythere roemeri* n. sp. — BARTENSTEIN: Englisch Hauterive, 531, fig. 76-77.

An interesting species (found in 6 sections), apparently limited to the central part of the lower Hauterivian.

5.2.5.2. Genus *Parexophthalmocythere* OERTLI, 1959

Parexophthalmocythere rodewaldensis BARTENSTEIN & BRAND, 1959 (pl. 1, fig. 15)

1959 *Parexophthalmocythere rodewaldensis* n. sp. — BARTENSTEIN & BRAND: Wichtige Ostracoden Valendis, 231f, pl. 29, fig. 5-6; pl. 31, fig. 7.

This beautiful species was found in 3 samples/sections.

5.2.5.3. Genus *Dolocythere* MERTENS, 1956

Dolocythere longa GRÜNDL, 1966 (pl. 2, fig. 5)

1966 *Dolocythere longa* n. sp. — GRÜNDL: Unterkreide Deutschland, 24, pl. 3, fig. 30-31.

Present in 4 sections, especially in Cressier and the Neuchâtel Well.

5.2.6. *Cytherideidae* SARS, 1925

5.2.6.1. Genus *Dolocytheridea* TRIEBEL, 1938

Dolocytheridea (Dolocytheridea) hilseana (ROEMER, 1841) (pl. 2, fig. 1-2)

1841 *Cytherina Hilseana* N. — ROEMER: Norddeutsches Kreidegebirge, 104, pl. 16, fig. 17.

1938 *Cytheridea (Dolocytheridea) hilseana* (F. A. ROEMER). — TRIEBEL: *Cytheridea-Arten*, 495ff, pl. 4, fig. 68-79; pl. 6, fig. 90.

1971 *Dolocytheridea (Dolocytheridea) hilseana* (ROEMER, 1841). — GRÜNDL: *Dolocytheridea*, 21ff, fig. 1, pl. 4, fig. 14-19.

A very characteristic species, astonishingly present only in 9 or 10 samples of the sections of Cressier and Neuchâtel Well. In the Paris Basin, as well as in N Germany, this species is common in the Hauterivian.

5.2.6.2. Genus *Asciocythere* SWAIN, 1952

Asciocythere brevis (CORNUEL, 1846) (pl. 1, fig. 12)

1846 *Cythere amygdaloïdes* var. arquée. — Var. *arcuata* Nob.

Cythere amygdaloïdes var. courte. — Var. *brevis* Nob. — CORNUEL: Entomostracés fossiles, 198f, pl. 7, fig. 12.

1957? *Clithrocytheridea brevis* (CORNUEL). — DEROO: Champagne humide et Boulonnais, 1510f, pl. 2, fig. 15-21.

Species very rare in our material (4 samples of 2 sections), whereas it is common throughout the Hauterivian-Barremian of the Paris Basin.

Asciocythere sp.

Badly preserved specimens of the uppermost Valanginian and lowest Hauterivian of the Neuchâtel Well.

5.2.6.3. Genus *Kentrodictyocythere* DONZE, 1968 (systematic position questionable)

Kentrodictyocythere subtilis (GRÜNDL, 1966) (pl. 2, fig. 3)

1966 *Metacytheropteron?* *subtilis* n. sp. — GRÜNDL: Unterkreide Deutschland, 47, pl. 8, fig. 38-39.

Found in 7 samples of 4 sections, in various levels of the lower Hauterivian.

Kentrodictyocythere? sp. (pl. 2, fig. 4)

A relatively tall species; the general aspect is similar to that of *Kentrodictyocythere*, but the preservation was too bad for further information.

5.2.6.4. Genus *Schuleridea* SWARTZ & SWAIN, 1946

Schuleridea punctatula (ROEMER, 1841) (pl. 2, fig. 6)

1841 *Cytherina punctatula* N. — ROEMER: Norddeutsches Kreidegebirge, 104, pl. 16, fig. 18.

1938 *Cytheridea (Haplocytheridea) punctatula* (F. A. ROEMER). — TRIEBEL: *Cytheridea-Arten*, 478f, pl. 1, fig. 13-16.

Found in 2 samples of the Colas section.

Schuleridea thoerenensis werlensis GRÜNDDEL, 1966 (pl. 2, fig. 7-9)

1966 *Schuleridea thoerenensis werlensis* n. ssp. — GRÜNDDEL: Unterkreide Deutschland, 23, pl. 3, fig. 20-24. Together with *Protocythere triplicata* and *Rehacythereis bernardi* one of the quantitative leaders in our material.

Schuleridea calcarata (TRIEBEL, 1938) (pl. 2, fig. 10)

1938 *Cytheridea (Haplocytheridea) calcarata* n. sp. — TRIEBEL: Cytheridea-Arten, 475ff, pl. 1, fig. 7-12. Species limited to 2 samples in the Colas section.

Schuleridea clunicularis (TRIEBEL, 1938) (pl. 2, fig. 11-12)

1938 *Cytheridea (Haplocytheridea) clunicularis* n. sp. — TRIEBEL: Cytheridea-Arten, 474f, pl. 1, fig. 1-6; pl. 5, fig. 84-86.

Present in 3 sections, in the middle and upper part of the lower Hauterivian.

Schuleridea aff. thoerenensis thoerenensis (TRIEBEL, 1938), (pl. 2, fig. 13)

aff. 1938 *Cytheridea (Haplocytheridea) thörenensis*. — TRIEBEL: Cytheridea-Arten, 482f, pl. 2, fig. 26-29. One sample furnished this species. The outline is reminiscent of the Valanginian species, but the female left valve has a less steep posterodorsal outline.

Schuleridea extranea GROS DIDIER, 1964 (pl. 3, fig. 2)

1964 *Schuleridea extranea* n. sp. — GROS DIDIER: Barrémien-Hauterivien, 225f, pl. 1, fig. 3 a-j.

In 5 samples of two sections, representatives of this species (always badly preserved) with the typical important left-right valve asymmetry were found.

Schuleridea n. sp. (pl. 3, fig. 1)

1965 *Schuleridea* sp. — GROS DIDIER (in MATHIEU: Néocomien Bassin de Paris, "plate" 3).

A relatively tall species characterized by a ventral overlap, a "hanging venter". The species (found in our material in 9 samples of 2 sections) is limited to the upper part of the lower Hauterivian (and the Upper Hauterivian in the Paris Basin).

Schuleridea spp.

The appellation applies to specimens that certainly do not belong to one of the species quoted above, but whose preservation or scarcity does not allow further determination.

5.2.7. *Progonocytheridae* SYLVESTER-BRADLEY, 1948

5.2.7.1. Genus *Neocythere* MERTENS, 1956

Neocythere sp. GRÜNDDEL, 1966 (pl. 3, fig. 3)

1966 *Neocythere* sp. — GRÜNDDEL: Unterkreide Deutschland, 33, pl. 6, fig. 1-2.

Relatively frequent at certain levels; encountered in 17 samples of 4 sections.

5.2.8. *Cytherettidae* TRIEBEL, 1952

5.2.8.1. Genus *Hechticythere* GRÜNDDEL, 1974

Hechticythere pumila (GROS DIDIER, 1964) (pl. 3, fig. 4-5)

1964 *Protocythere pumila* n. sp. — GROS DIDIER: Barrémien-Hauterivien, 227f, pl. 2, fig. 8 a-j.

This "small cousin of *H. hechti*" is quite common from the middle part of the lower Hauterivian onwards. Present in 9 samples of 4 sections.

Hechticythere hechti (TRIEBEL, 1938) (pl. 3, fig. 6-7)

1938 *Protocythere hechti* n. sp. — TRIEBEL: *Protocythere*, 189f, pl. 1, fig. 11-16.

One of the best represented species (in 34 samples of 7 sections). The species is found more frequently in the lower and middle parts of the lower Hauterivian.

Hechticythere cancellata (GROS DIDIER, 1964) (pl. 3, fig. 8)

1964 *Protocythere cancellata* n. sp. — GROS DIDIER: Barrémien-Hauterivien, 226, pl. 2, fig. 4 a-h.

Rather rare in our material: in 4 samples of 3 sections.

5.2.8.2. Genus *Costacythere* GRÜNDL, 1966

Costacythere granifera (GROSDIDIER, 1964) (pl. 3, fig. 9)

1964 *Protocythere granifera* n. sp. — GROSDIDIER: Barrémien-Hauterivien, 227, pl. 2, fig. 6 a-f.

Present in 4 samples of 2 sections only.

Costacythere frankei TRIEBEL, 1938 (pl. 3, fig. 10)

1938 *Protocythere frankei* n. sp. — TRIEBEL: Protocythere, 192ff, pl. 2, fig. 23-26.

The zone where this fairly well represented species (16 samples of 4 sections) features most predominantly is situated at the extreme base of the Hauterivian and, where sampled, in the uppermost Valanginian.

5.2.8.3. Genus *Protocythere* TRIEBEL, 1938

Protocythere triplicata (ROEMER, 1841) (pl. 3, fig. 11-13)

1841 *Cytherina triplicata* N. — ROEMER: Norddeutsches Kreidegebirge, 104, pl. 16, fig. 16.

1938 *Protocythere triplicata* (F. A. ROEMER). — TRIEBEL: *Protocythere*, 182ff, pl. 1, fig. 1-5; pl. 3, fig. 33-37.

The “absolute leader” in our sample account, and the only species present in every section. It was found in 120 samples, mostly dominating the rest of the fauna. In one section only, it is only present in the upper part (Colas, from sample 476 onwards) — the reason for its absence in the lower levels is obscure. No significant morphological variation was observed. — In the boreal region (Swiss Jura included) this species appears mostly at the very base of the Hauterivian (noricum Zone in the classical sense) and can therefore be used as the key species of the Valanginian-Hauterivian limit. In the Tethys (shallow facies of SE France), it is recorded from the uppermost Valanginian onwards (*Callidiscus* Zone).

5.2.8.4. Genus *Valendocythere* GRÜNDL, 1969

Valendocythere sp.

Specimens of uncertain specific position found at the Hauterivian base of Valangin (probably reworked from uppermost Valanginian deposits).

5.2.9. *Trachyleberididae* SYLVESTER-BRADLEY, 1948

5.2.9.1. Genus *Rehacythereis* GRÜNDL, 1973

Rehacythereis bernardi (GROSDIDIER, 1964) (pl. 4, fig. 1-3)

1964 *Cythereis bernardi* n. sp. — GROSDIDIER: Barrémien-Hauterivien, 229ff, pl. 3, fig. 14 a-g.

This species shows considerable intraspecific variation. Fig. 1 and 2 represent the “normal majority”, with faint primary and secondary reticulation. Fig. 3 is an extreme case with blunt posterior extremity and stronger reticulation as well as sharper ridges. But intermediate forms occur, which is the reason why no separation was proposed. Nevertheless, it would be interesting to study carefully all variants of this common species, with respect to age and sedimentological parameters.

5.2.9.2. Genus *Cythereis* JONES, 1849

Cythereis? sp. (pl. 4, fig. 4)

The name for this quite flat, triangular -and always badly preserved- species is much more a temporary solution than based on facts. Found in 3 sections, in the upper part of the lower Hauterivian.

5.2.10. *Cytheruridae* MÜLLER, 1894

5.2.10.1. Subgenus *Eucytherura* (*Vesticytherura*) GRÜNDL, 1964

Eucytherura (*Vesticytherura*) aff. *nuda* KAYE, 1964 (pl. 4, fig. 5)

aff. 1964 *Eucytherura nuda* sp. nov. — KAYE: Speeton Clay, 99f, pl. 4, fig. 13-15.

Found in one sample of the Colas section. Differs from KAYE's species in having smoother nodes and presenting only two dorsal knobs, besides the eye spot.

Eucytherura (*Vesticytherura*) sp. A (pl. 4, fig. 6)

A species most probably belonging to *E.(V.)*, but of which apparently no relatives are known (the outline vaguely resembles *E.(V.) neocomiana* KAYE, 1964).

5.2.10.2. Genus *Paranotacythere* BASSIOUNI, 1974

Paranotacythere cf. globosa filia BASSIOUNI, 1974 (pl. 4, fig. 7)

cf. 1974 *Paranotacythere (Paranotacythere) globosa filia* n. ssp. — BASSIOUNI: *Paranotacythere*, 24, pl. 3, fig. 8-9.

Found in 3 samples from Cressier, this species may be identical to *P. globosa filia*; but poor preservation prohibits precise determination.

Paranotacythere diglypta diglypta (TRIEBEL, 1941) (pl. 4, fig. 8-9)

1941 *Orthonotacythere diglypta* n. sp. — TRIEBEL: Morphologie-Ökologie, 391, pl. 4, fig. 33-37.

1974 *Paranotacythere (Paranotacythere) diglypta diglypta* (TRIEBEL 1941). — BASSIOUNI: *Paranotacythere*, 37f, pl. 1, fig. 4-5; pl. 6, fig. 4-10.

Fig. 8 represents the normal-sized form, whilst fig. 9, three quarters of the normal size, is what is called "Micro-Form" in Table I and Fig. 2. These *P. diglypta diglypta* of reduced size seem to be restricted to a relatively short interval little above the Hauerivian basis. — Present in 8 samples of 4 sections.

Paranotacythere malzi progressa BASSIOUNI, 1974 (pl. 4, fig. 10)

1974 *Paranotacythere (Paranotacythere) malzi progressa* n. ssp. — BASSIOUNI: *Paranotacythere*, 44, pl. 7, fig. 1-5.

Species found in 8 samples out of 3 sections, in the lower and middle part of the lower Hauerivian.

Paranotacythere malzi malzi BASSIOUNI, 1974 (pl. 4, fig. 11)

1974 *Paranotacythere (Paranotacythere) malzi malzi* n. ssp. — BASSIOUNI: *Paranotacythere*, 43f, pl. 7, fig. 6-8.

Found in one (possibly two) samples from Cressier.

5.2.10.3. Genus *Raymoorea* NEALE, 1967

Raymoorea aff. peculiaris (DONZE, 1965) (pl. 4, fig. 13)

aff. Genre ind. sp. A. — DONZE: Berriasiens massifs subalpins, 152, pl. 9, fig. 195-198.

aff. *Raymoorea peculiaris* (DONZE, 1965). — NEALE: Type Berriasiens, 565ff, fig. 9⁷, 11^{8,9}.

A very curious species of which, unfortunately, only two specimens were found (in the lowest Hauerivian of Cressier). Together with *Cresacytheridea* aff. *ardescae*, this is one of the rare species resembling Ostracoda from the deep water realm of SE France.

It differs from *R. peculiaris* in being more elongate, with a very strong S-ridge in the posterior part. Also the posterior extremity is more blunt.

5.2.10.4. Genus *Eocytheropteron* ALEXANDER, 1933

Eocytheropteron spp. (pl. 4, fig. 12)

The figure represents the most common morphology; but other forms, probably belonging to other species, occur. Representatives of this species group were found in 12 samples, from 4 sections.

5.2.10.5. Genus *Metacytheropteron* OERTLI, 1957

Metacytheropteron? sp. (pl. 4, fig. 17)

A practically undeterminable form; the generic name was given because of the outline and general aspect that resemble true *Metacytheropteron* (which are quite common in some levels of the Paris Basin Hauerivian). Found in one sample from Cressier.

5.2.11. *Paracytherideidae* PURI, 1957

5.2.11.1. Genus *Cresacytheridea* GRÜNDL, 1975

Cresacytheridea sp. (pl. 4, fig. 14)

This rare species (found in 3 samples of lowermost Hauerivian) resembles *C. aff. ardescae*, but seems to lack the semi-circular smooth ridge that begins on the eye-spot and is open proximally. But I do not exclude a preservation phenomenon - perhaps *C. sp.* is the male of *C. aff. ardescae*.

Cresacytheridea aff. *ardescae* (DONZE, 1965) (pl. 4, fig. 15)

aff. 1965 *Eucytherura ardescae* n. sp. — DONZE: Valanginien de Berrias, 98f, pl. 3, fig. 66-70.

Found in 3 samples in lower levels of Cressier. It differs from *C. ardescae* (lower Valanginian of SE France) in having a smoother surface, no anteroventral denticulation and apparently no small tubercles.

5.2.12. *Bythocytheridae* SARS, 1866

5.2.12.1. Genus *Patellacythere* GRÜNDL & KOZUR, 1972

Patellacythere sp. (pl. 4, fig. 16)

? 1966 *Monoceratina* sp. 3. — GRÜNDL: Unterkreide Deutschland, 49, pl. 8, fig. 33.

A single fragmentary valve was found in the Cressier section; it shows some resemblance to GRÜNDL's species quoted above.

Patellacythere sp.

A single larval stage, found in the Neuchâtel Well; no further determination possible.

ACKNOWLEDGMENTS

My sincerest thanks go to Jürgen REMANE for his tremendous efforts in connection with the multidisciplinary revision of the type Hauterivian. My friend Helmut BARTENSTEIN contributed through many discussions during the study of our mutual microfossil groups. The management of Elf Aquitaine helped greatly by offering material facilities and granting permission for the publication of this contribution.

6. IMPORTANT REFERENCES

- BARTENSTEIN, H. & BURRI, F. — (1955). Die Jura-Kreide-Grenzschichten im schweizerischen Faltenjura und ihre Stellung im mitteleuropäischen Rahmen. *Eclogae geol. Helv.* 47: 426-443, 4 fig., pl. 28.
- BASSIOUNI, M. A. — (1974). *Paranotacythere* n.g. (Ostracoda) aus dem Zeitraum Oberjura bis Unterkreide (Kimmeridgium bis Albium) von Westeuropa. *Geol. Jb.* A 17, 111 p., 5 fig., 1 tab., 13 pl.
- DONZE, P. & THIEULOUY, J.-P. — (1975). Sur l'extrême condensation du Valanginien supérieur dans le Jura neuchâtelois, en particulier dans le stratotype de Valangin, et sa signification dans l'ensemble des formations valanginiennes du sud-est de la France. *C. R. Acad. Sci. (Paris)* 280, 1661-1664.
- GROS DIDIER, E. — (1964). Quelques Ostracodes nouveaux du Crétacé inférieur de Champagne humide. III: Barrémien-Hauterivien. *Rev. Micropaléont.* 6: 223-236, 1 fig., 3 pl.
- (1965). Principaux repères stratigraphiques du Néocomien du Bassin de Paris; Ostracodes. In MATTHIEU, M. (Le Néocomien dans le sud du Bassin parisien. Coll. Crét. inf. (Lyon 1963); *Mém. Bur. Rech. géol. min.* 34: 587-604), pl. 3.
- GRÜNDL, J. — (1966). Taxionomische, biostratigraphische und variations-statistische Untersuchungen an den Ostracoden der Unterkreide in Deutschland. *Freib. Forschh.* C 200: 1-105, 10 pl.
- HAEFELI, Ch. — (1966). Die Jura/Kreide-Grenzschichten im Bielerseegebiet (Kt. Bern). *Eclogae geol. Helv.* 59: 565-695, 40 fig., 17 tab., 2 pl.
- HAEFELI, Ch., MAYNC, W., OERTLI, H. J. RUTSCH, R.F. — (1965). Die Typus-Profile des Valanginien und Hauterivien. *Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u.-Ing.* 31, 81: 41-75, 14 fig.
- NEALE, J. W. — (1973). Ostracoda as means of correlation in the Boreal Lower Cretaceous, with special reference to the British marine Ostracoda. In CASEY, R & RAWSON, P. F. (ed.). The Boreal Lower Cretaceous. *Geol. J. Spec. issue* 5: 169-184, 2 fig..
- (1978). The Cretaceous. In BATE, R. & ROBINSON, E. (ed.) A stratigraphical index of British Ostracoda. *Geol. J. spec. issue* 8: 325-384, 1 fig., 5 tab., 17 pl.
- OERTLI, J. J. — (1963). Faunes d'Ostracodes du Mésozoïque de France. 57 p., 90 pl. Brill, Leiden.
- (1966). Die Gattung *Protocythere* (Ostracoda) und Verwandte Formen im Valanginien des zentralen Schweizer Jura. *Eclogae geol. Helv.*, 59, 1: 87-128, 4 fig., 7 pl.
- SIMON, W. & BARTENSTEIN, H. (ed.). — (1962). Leitfossilien der Mikropaläontologie. 2 vol., 432 p., 27 fig., 22 tab., 61 pl. Borntraeger, Berlin.

PLATES

All figured specimens are on SEM stubs in the ostracode collections of the Geology-Palaeontology Department, Univ. of Geneva, Switzerland (13, rue des Maraîchers, CH-1211 Genève 4). The figures given in the explanations mean, taking as an example "81-VI-7": Stub 81, line 6, 7th specimen from the left.

The enlargements are unfortunately not the same throughout the plates; this is due to the fact the pictures were taken at different times, with different (but at the time not obvious) z-positions of the specimen stub; also, some mechanical and physical problems with the apparatus yielded pictures with varying enlargements (but without distortions).

The values given on the plate explanation correspond to the true sizes (length).

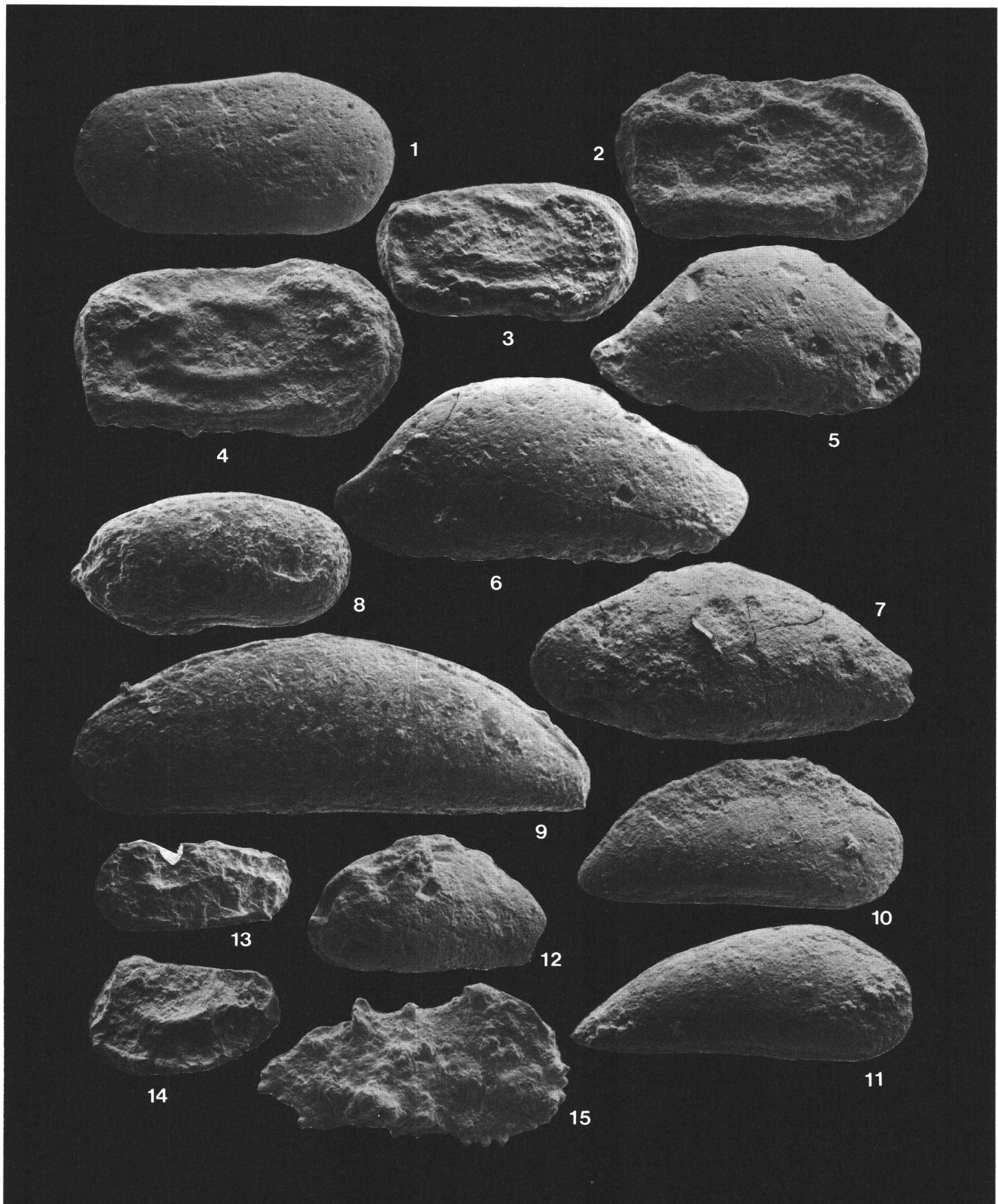
All pictures were taken by the author.

PLATE I

- 1 *Cytherella fragilis* NEALE, 1962.
Left valve. — Cressier, 9^{III}. — 81-V-8. — 0.65 mm.
- 2 *Cytherelloidea* aff. *rehbburgensis* BARTENSTEIN & BRAND, 1959.
Right valve. — Cressier, 2. — 81-VI-6. — 0.62 mm.
- 3 *Cytherelloidea dividera* GRÜNDL, 1966.
Carapace. — Well Neuchâtel, 35.5. — 82-IV-3. — 0.64 mm.
- 4 *Cytherelloidea imminuera* GRÜNDL, 1966.
Right valve. — Cressier, 9^{III}. — 81-III-6. — 0.64 mm.
- 5 *Bairdia* n. sp.
Right valve. — L'Auberson, 3.80. — 85-I-3. — 0.90 mm.
- 6 *Bairdia* sp.
Right valve. — Well Neuchâtel, 28.7. — 82-III-5. — 1.00 mm.
- 7 *Bairdia?* sp.
Left valve. — Cressier, 18. — 81-IV-3. — 0.77 mm.
- 8 *Pontocyprilla sewia* GRÜNDL, 1966.
Carapace. — Cressier, 1. — 81-I-2. — 0.65 mm.
- 9 *Macrocypris* sp. 2 GRÜNDL, 1966.
Carapace. — Cressier, 3. — 81-II-1^{bis}. — 1.05 mm.
- 10 *Paracypris acuta* (CORNUEL, 1848).
Carapace. — Cressier, 5. — 81-III-1. — 0.65 mm.
- 11 *Paracypris sinuata* NEALE, 1962.
Carapace. — Cressier, 8. — 81-III-5. — 0.68 mm.
- 12 *Asiocysthere brevis* (CORNUEL, 1846).
Carapace. — Cressier, 33. — 81-V-6. — 0.50 mm.
- 13-14 *Amphicytherura roemerii* (BARTENSTEIN, 1956).
13 Carapace ♂. — Cressier, 21^V. — 82-I-1. — 0.47 mm.
14 Valve ♀. — Cressier, 22. — 81-IV-5. — 0.39 mm.
- 15 *Parexopthalmocythere rodewaldensis* BARTENSTEIN & BRAND, 1959.
Right valve. — Cressier, 7. — 81-VII-1. — 0.65 mm.

PLATE II

- 1-2 *Dolocytheridea* (*Dolocytheridea*) *hilseana* (ROEMER, 1841).
1 Carapace ♀. — Cressier, 4. — 81-III-11. — 0.70 mm.
2 Right valve ♂. — Cressier, 9^{IV}. — 81-III-10. — 0.84 mm.
- 3 *Kentrodictyocysthere subtilis* (GRÜNDL, 1966)
Carapace. — Cressier, 9^{III}. — 81-III-8. — 0.32 mm.
- 4 *Kentrodictyocysthere?* sp.
Carapace. — Cressier, 28. — 81-V-4. — 0.44 mm.
- 5 *Dolocythere longa* GRÜNDL, 1966.
Carapace. — Cressier, 11. — 81-VII-5. — 0.50 mm.
- 6 *Schuleridea punctatula* (ROEMER, 1841)
Carapace. — Colas, MP 490. — 84-III-3. — 0.71 mm.
- 7-9 *Schuleridea thoerenensis werlensis* GRÜNDL, 1966.
7 Carapace ♀. — Cressier, 3. — 81-II-2. — 0.54 mm.
8 Left valve ♀. — Cressier, 4. — 81-II-4. — 0.51 mm.
9 Carapace ♂. — Cressier, 4. — 81-II-5. — 0.53 mm.
- 10 *Schuleridea calcarata* (TRIEBEL, 1938)
Carapace ♀. — Colas, MP 471. — 84-II-5. — 0.74 mm.
- 11-12 *Schuleridea clunicularis* (TRIEBEL, 1938)
11 Carapace ♀. — Colas, MP 477. — 84-II-6. — 0.74 mm.
12 Carapace ♂. — Colas, MP 477. — 84-II-7. — 0.85 mm.
- 13 *Schuleridea* aff. *thoerenensis thoerenensis* (TRIEBEL, 1938)
Left valve ♀. — L'Auberson, B 18. — 85-I-1. — 0.62 mm.



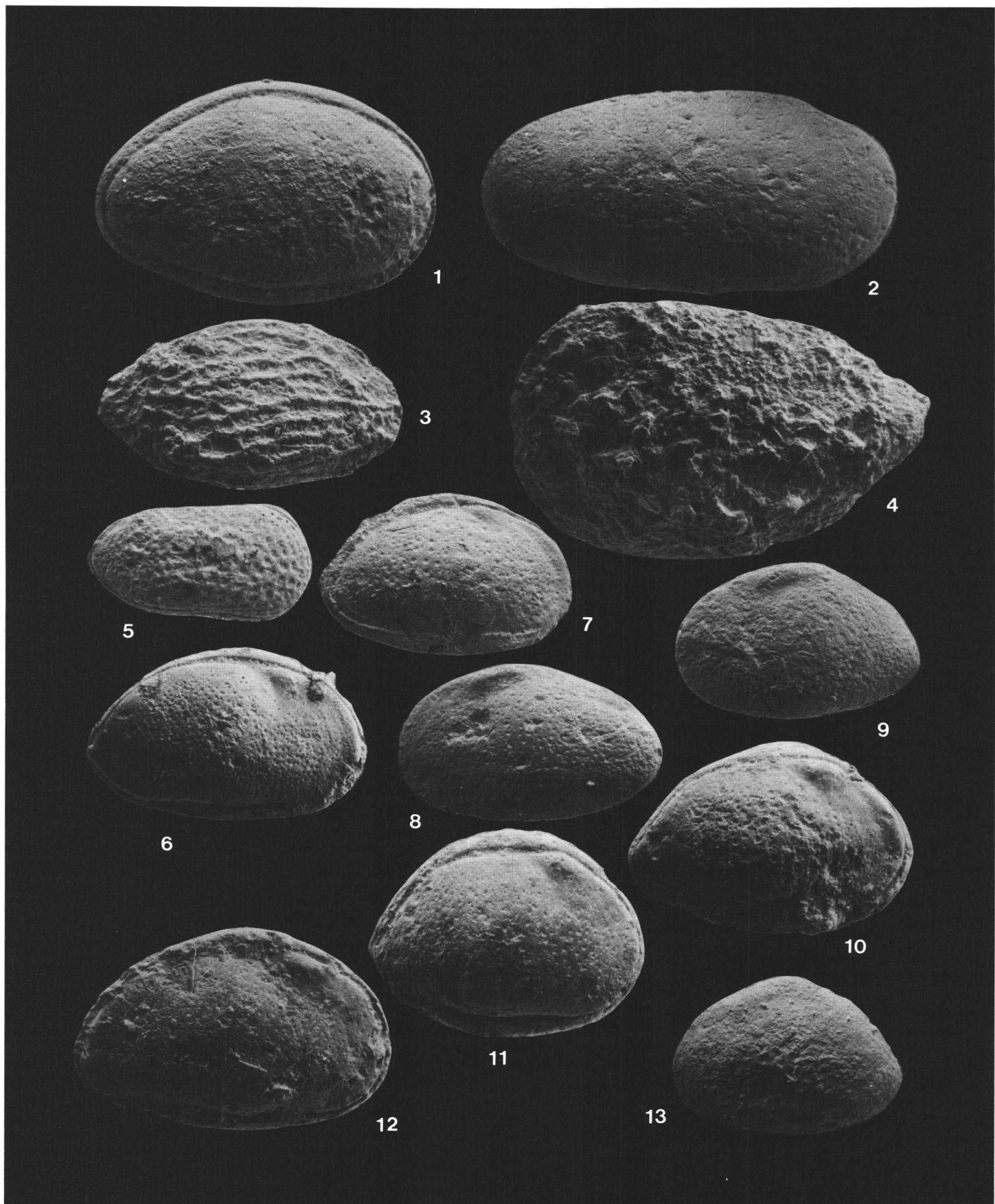
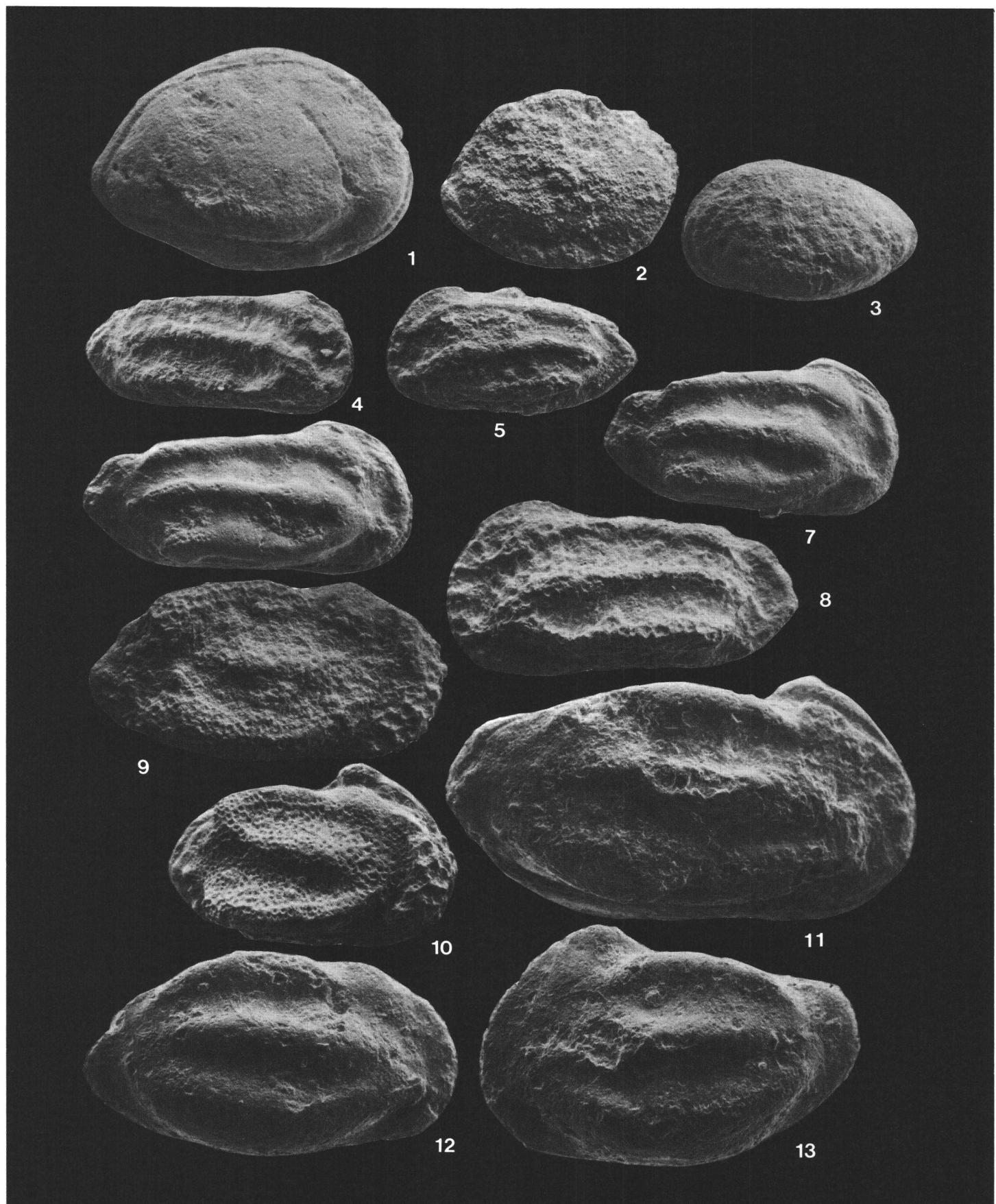


PLATE III

- 1 *Schuleridea* n. sp.
Carapace. — Cressier, 24^{VII}. — 81-VI-5. — 0.69 mm.
- 2 *Schuleridea extranea* GROS DIDIER, 1964.
Carapace. — Uttins/Chamblon, MP 381. — 85-II-2. — 0.63 mm.
- 3 *Neocythere* sp. 1 GRÜNDL, 1966
Left valve. — Cressier, 22^{III}. — 81-V-3. — 0.49 mm.
- 4-5 *Hechticythere pumila* (GROS DIDIER, 1964)
4 Carapace ♂. — Cressier, 29. — 82-II-2. — 0.55 mm.
5 Carapace ♀. — Cressier, 18. — 81-IV-4. — 0.50 mm.
- 6-7 *Hechticythere hechti* (TRIEBEL, 1938)
6 Carapace ♂. — Cressier, 4. — 81-II-6. — 0.69 mm.
7 Carapace ♀. — Cressier, 4. — 81-II-7. — 0.61 mm.
- 8 *Hechticythere cancellata* (GROS DIDIER, 1964)
Carapace ♂. — Cressier, 23^V. — 81-VIII-1. — 0.62 mm.
- 9 *Costacythere granifera* (GROS DIDIER, 1964)
Right valve ♂. — Cressier, 11. — 81-VII-7. — 0.64 mm.
- 10 *Costacythere frankei* TRIEBEL, 1938
Carapace ♀. — Well Neuchâtel, 46.4. — 82-IV-8. — 0.71 mm.
- 11-13 *Protocythere triplicata* (ROEMER, 1841)
11 Carapace ♂. — Cressier, 1. — 81-I-4. — 0.99 mm.
12 Right valve ♀. — Cressier, 1. — 81-I-3. — 0.79 mm.
13 Left valve ♀. — Cressier, 1. — 81-I-5. — 0.80 mm.

PLATE IV

- 1-3 *Rehacythereis bernardi* (GROS DIDIER, 1964)
1 Carapace ♀. — Cressier, 22. — 81-IV-6. — 0.80 mm.
2 Carapace ♂. — Cressier, 22. — 81-IV-7. — 0.87 mm.
3 Carapace of a variant (see text). — Well Neuchâtel,
46.75. — 82-V-4. — 0.92 mm.
- 4 *Cythereis?* sp.
Carapace. — Uttins/Chamblon, MP 381. — 85-II-1. — 0.65 mm.
- 5 *Eucytherura (Vesticytherura)* aff. *nuda* KAYE, 1964.
Carapace. — Colas, MP 481. — 84-III-1. — 0.40 mm.
- 6 *Eucytherura (Vesticytherura)* sp. A
Right valve. — Cressier, 41. — 81-VI-2. — 0.30 mm.
- 7 *Paranotacythere* cf. *globosa filia* BASSIOUNI, 1974
Carapace ♀. — Cressier, 9^{III}. — 81-III-7. — 0.48 mm.
- 8-9 *Paranotacythere diglypta diglypta* (TRIEBEL, 1941)
8 Carapace. — Cressier, 13. — 81-VII-9. — 0.47 mm.
9 Carapace (of a "Micro-Form"; see text). — Well Neu-
châtel, 30.45. — 82-IV-1. — 0.36 mm.
- 10 *Paranotacythere malzi progressa* BASSIOUNI, 1974.
Left valve. — Cressier, 7. — 81-III-3. — 0.46 mm.
- 11 *Paranotacythere malzi malzi* (BASSIOUNI, 1974)
Carapace. — Cressier, 9^{IV}. — 81-IV-1. — 0.48 mm.
- 12 *Eocytheropteron?* sp.
Left valve. — Cressier, 5. — 81-VI-7. — 0.40 mm.
- 13 *Raymoorea?* aff. *peculiaris* (DONZE, 1965)
Carapace. — Cressier, 4. — 81-II-8. — 0.46 mm.
- 14 *Cresacytheridea* sp.
Right valve. — Cressier, 10. — 81-VII-3. — 0.35 mm.
- 15 *Cresacytheridea* aff. *ardescae* (DONZE, 1965)
Left valve. — Cressier, 9^{III}. — 81-VII-2. — 0.42 mm.
- 16 *Patellacythere* sp. (Monoceratina sp. 3 GRÜNDL, 1966?)
Right valve. — Cressier, 9^{III}. — 81-III-9. — 0.48 mm.
- 17 *Metacytheropteron?* sp.
Carapace. — Cressier, 28. — 81-V-5. — 0.51 mm.





<i>Mémoires de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles</i>	Tome XI	p. 223-231, 1 fig., 2 pl.	Neuchâtel, 1989
---	---------	---------------------------	-----------------

NANNOPLANCTON DE L'HAUTERIVIEN MARNEUX DU JURA

par

Hélène MANIVIT

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

ABSTRACT. — 92 marly samples from the lower Hauerivian of the Central Jura Mountains (well 208 at Neuchâtel, Valangin, and Ravin du Colas) and from 2 localities the southern Jura (Mont-Salève and tunnel of Mont-Vuache) yielded a rather poor and badly preserved nannoflora, containing boreal as well as Tethyan elements. Berriasian and Valanginian survivors dominate, but the nannoflora has nevertheless an Early Hauerivian character and the general absence of *Lithraphidites bollii*, a mid-Hauerivian marker, seems to be significative.

Well 208 and the succession of Valangin have provided the best results: The Marne bleue belongs to the Calcicalathina oblongata zone of Late Valanginian-Early Hauerivian age, the presence of *Nannoconus bucheri* and of *N. minutus* indicating a Hauerivian age. The associations observed in the Ravin du Colas are in favour of a Valanginian age for the lowermost 1m of the Marne bleue.

RÉSUMÉ. — 92 échantillons de sédiments marneux de l'Hauerivien inférieur, venant de trois localités dans le Jura central (forage 208 à Neuchâtel, Valangin et Ravin du Colas) et deux localités dans le Jura méridional (Mont-Salève et tunnel du Vuache) ont livré une nannoflore relativement pauvre et assez mal conservée, présentant à la fois des éléments boréaux et mésogéens. Malgré une prédominance de survivants du Berriasien et du Valanginien, la nannoflore a un cachet hauerivien inférieur et l'absence générale de *Lithraphidites bollii*, marqueur de l'Hauerivien moyen, est probablement significative.

Le forage 208 et la coupe de Valangin ont donné les meilleurs résultats: la Marne bleue appartient à la Zone à Calcicalathina oblongata d'âge valanginien supérieur-hauerivien inférieur. C'est la présence de *Nannoconus bucheri* et *N. minutus* qui indique un âge hauerivien. Les associations observées au Ravin de Colas parlent en faveur d'âge valanginien de la base de la Marne bleue.

1. INTRODUCTION

Jusqu'à présent, aucune étude détaillée n'avait encore été réalisée sur le nannoplancton de l'Hauerivien. Cependant, depuis une décennie, quelques travaux appuyés sur des coupes et sondages, ont été consacrés aux nannofossiles du Crétacé inférieur. En domaine boréal, BLACK (1971) et TAYLOR (1978) étudièrent la coupe de Speeton. En domaine téthysien, d'une part GRÜN & ALLEMANN (1975) en Espagne et d'autre part THIERSTEIN (1973, 1975) et MANIVIT (1979) en fosse vocontienne pour l'hypostratotype mésogéen de l'étage valanginien. Enfin, en domaine océanique plusieurs campagnes du DSDP dans l'océan Atlantique ont livré des nannofossiles bien conservés du Crétacé inférieur; WORSLEY (1971), WILCOXON (1972), ROTH (1973), WISE & WIND (1977) WIND & CEPEK (1979).

2. MATÉRIEL ÉTUDIÉ

Pour la révision de l'Hauterivien stratotypique le nannoplancton a été étudié dans deux secteurs géographiques distincts et seulement dans les séries marno-calcaires.

Pour la région neuchâteloise, j'ai observé les coupes de Valangin et du Ravin du Colas et à Neuchâtel, le sondage 208, soit $(12+27+18) = 57$ échantillons. Pour le domaine jurassien plus méridional, j'ai étudié la coupe du Salève et le Tunnel du Vuache, soit $(10+25) = 35$ échantillons.

En ce qui concerne la lithostratigraphie des séries étudiées, voir REMANE et al. (ce vol.) et CHAROLLAIS et al. (ce vol.).

3. MÉTHODES D'ÉTUDE

Seuls les échantillons marneux ont été préparés suivant la méthode classique (défloculation à l'hexamétaphosphate, ultra-sons puis centrifugation) au Laboratoire de géologie et de paléontologie de l'Université de Genève. J'ai examiné les préparations au microscope photonique au grossissement 1650 fois; quatre échantillons parmi les mieux conservés ont pu être observés en microscopie à balayage.

Je n'ai pas jugé utile de procéder à un développement d'ordre systématique dans cette étude consacrée à l'inventaire biostratigraphique de coupes stratotypiques et concernant des coccolithes déjà décrits dans les monographies de BLACK (1971), THIERSTEIN (1973) et GRÜN (1975).

La liste des espèces identifiées dans les meilleurs échantillons est reportée dans le tableau de répartition et les figurations des espèces les plus caractéristiques sont contenues dans les électromicrographies des planches 1 et 2.

4. RÉSULTATS BIOSTRATIGRAPHIQUES

4.1. Nannoplancton de la région du stratotype

4.1.1. Forage 208 de Neuchâtel

Les échantillons sont numérotés de haut en bas, 12176 correspondant à la base de la Zone marno-calcaire, donc 12177 au toit de la Marne bleue, et 12198 au toit du Calcaire roux.

Les échantillons 12177 et 12180 sont très détritiques et renferment de rares Coccolithes (*Watznaueria barnesae* + *Conusphaera mexicana* TR) et un *Nannoconus bermudezi*. Les préparations (12182, 12189 et 12193) ont livré une nannoflore assez bien conservée et diversifiée, caractéristique de la zone à *Calcicalathina oblongata*, c'est-à-dire d'âge valanginien supérieur à hauterivien inférieur. Les *Micrantholithus* et *Braarudosphaera* y sont assez nombreux. Ces pentalithes résistants semblent caractéristiques des milieux néritiques. Les *Nannoconus* tels *N. bucheri* et *N. minutus* connus comme apparaissant à l'Hauterivien inférieur en faciès mésogén ou dans les Alpes, sont présents dans le sondage 208 de Neuchâtel.

L'association de coccolithes est quasiment identique à celle reconnue par THIERSTEIN (1973) dans la coupe d'Hauterive étudiée par HAEFELI, MAYNC & OERTLI (1965).

De plus, deux coccolithes y sont nouveaux par rapport à l'étude de THIERSTEIN. Ce sont *Tetralithus malticus* décrit par ROTH dans l'Hauterivien du Pacifique et *Eiffelithus sp.*, d'ailleurs les premiers représentants du genre au Néocomien. Cette petite espèce a été observée la première fois par WIND & CEPEK (1979) sur la marge Nord-Ouest africaine, dans de l'Hauterivien (site 397 A).

4.1.2. Valangin

Les échantillons de la base de la formation de la Marne bleue (MP 676, 675) sont très détritiques avec un peu de matière organique et ne renferment pas de coccolithes, sauf quelques *Watznaueria* mal conservées.

A partir de MP 674, en montant jusqu'à 669, on retrouve l'association de coccolithes identique à celle observée dans le sondage 208 de Neuchâtel, avec cependant une conservation moins bonne en raison des éléments terrigènes. Toujours une bonne représentativité des formes résistantes des milieux nérithiques. Quelques *Nannoconus* caractéristiques de l'Hauterivien inférieur à moyen.

Dès l'échantillon MP 669, c'est-à-dire dès que l'on n'est plus en faciès marneux, le détritisme s'accentue et la nannoflore se raréfie et aucun élément de datation n'est observé.

4.1.3. Coupe du Ravin du Colas

Les échantillons sont numérotés de bas en haut, MP 465 correspondant à la base des Marnes à Bryozoaires qui forment la base de la formation de la Marne bleue en ce point. Il est cependant à noter que selon les ammonites (BUSNARDO & THIEULOUY, ce vol.) et les oursins (CLAVEL, ce vol.) la limite Valanginien-Hauterivien se situe plus haut, au niveau de l'échantillon MP 470. Cette coupe est, dans l'ensemble, détritique et peu favorable à la nannoflore. Cependant, si les *Nannoconus* sont quasi absents en raison du fort détritisme (dû peut-être à des turbidites) une association de coccolithes, formes résistantes, de milieu nérithique, persiste et donne un âge valanginien supérieur pour la base de la coupe.

L'échantillon MP 462 est assez riche et par la présence de *Calcicalathina oblongata* associée à des espèces valanginiennes, on peut le situer dans le Valanginien supérieur. L'échantillon MP 464 est très détritique. La Marne bleue, par contre, livre une nannoflore mal conservée qui n'est pas toujours caractéristique de l'Hauterivien. Les marnes (MP 465, 467) sont assez pauvres, d'âge valanginien *s.l.* MP 468 et 469 livrent une association du Valanginien supérieur à Hauterivien inférieur. Mais aucun marqueur de l'Hauterivien moyen n'y est rencontré, bien que les coccolithes soient assez bien conservés. Tous ces faits s'accordent bien aux données fournies par les ammonites et les oursins.

De MP 470 à 474, les préparations sont pauvres avec beaucoup de détritiques et seules persistent quelques formes résistantes du Néocomien.

De MP 475 à 478, les coccolithes sont un peu mieux préservés, mais aucun marqueur de l'Hauterivien n'est observé. Aucun *Nannoconus* ne permet une zonation.

De MP 479 à 492, les coccolithes sont assez rares, représentés par quelques formes résistantes du Néocomien *sensu lato*.

4.2. Hauterivien du Jura méridional

4.2.1. Coupe du Salève

Cette coupe est très pauvre en nannoflore, seuls les échantillons P8, P9 et P11 au milieu de la Marne bleue livrent une association d'espèces résistantes à la dissolution, parfois brisées et souvent surchargées de particules détritiques. Ces coccolithes, tels *Watznaueria communis* et *britannica*, *Micrantholitus hoschulzi* sont observés dans les milieux de plate-forme. Associés à *Cyclagelosphaera margereli* et *Diazomatholithus lehmani*, ils ne sont pas caractéristiques de l'Hauterivien, puisqu'ils apparaissent dès le Berriasien.

4.2.2. Tunnel du Vuache

Cette coupe, pourtant très complète, est quasiment indatable par les nannofossiles en raison du caractère détritique de la série. On observe beaucoup de quartz, de terrigènes qui gênent l'observation. Les préparations sont très pauvres en coccolithes, sauf quelques *Watznaueria barnesae* + *W. communis* entiers ou brisés. Parfois on observe de rares *Conusphaera mexicana* ou *Cyclagelosphaera margereli*.

Pas de *Nannoconus* rencontré, ni aucun marqueur de zones du Néocomien, sauf l'échantillon (4869), à la base de la Marne bleue, indique l'association et le marqueur de la zone à *C. oblongata* donc l'Hauterivien inférieur.

Dans l'ensemble, la nannoflore du Jura méridional est plus pauvre que celle de la région neuchâteloise en raison sans doute d'un milieu plus nérithique.

5. REMARQUES

Dans tous les échantillons observés, beaucoup de spécimens subissent une recristallisation, la conservation de la nannoflore est donc médiocre et parfois hétérogène dans le même échantillon. Sa fréquence est faible en raison du détritisme de la série. Seule la Marne bleue donne des résultats biostratigraphiques, elle correspond à la Zone à *Acanthodiscus radiatus* (voir BUSNARDO & THIEULOY, ce vol.).

La limite Valanginien supérieur-Hauterivien inférieur n'est pas décelable avec les nannofossiles, aucun changement microfaunique n'intervenant.

Le marqueur de l'Hauterivien moyen basal *Lithraphidites bollii* n'a pu être identifié; est-il absent ou indéterminable en raison des recristallisations? L'association de coccolithes dans la Marne bleue indique donc un âge valanginien supérieur à hauterivien inférieur, c'est-à-dire la biozone à *Calcicathina oblongata*, cette dernière étant définie par l'intervalle entre l'apparition de *C. oblongata* jusqu'à l'apparition de *L. bollii*. La persistance de *Cruciellopsis cuvillieri* et de *Speetonia colligata* indique un âge hauterivien s.l. De plus, la présence de *Calcicalathina oblongata* et l'absence de *Rucinolithus wisei* plaident en faveur d'un âge post-valanginien.

Enfin, l'association de *Nannoconus bucheri*, *N. bermudezi*, *N. minutus* reconnus à Neuchâtel et Valangin, suggère que ces sections sont hauteriviennes et correspondent à la Zone à *Nannoconus bermudezi* de DERES. La proposition de biozonation du nannoplancton présentée dans cette étude est basée sur l'apparition et la présence de certains coccolithes et *Nannoconus*, marqueurs de l'Hauterivien qui mettent en évidence des intervalles de temps valables à l'échelle du Jura franco-suisse, de la fosse vocontienne, de l'Angleterre ou de l'Allemagne et qui peuvent être mis en parallèle avec l'échelle des ammonites du Jura ou d'autres bassins européens.

A l'occasion du Kreide-Symposium (1^{er}-3 juin 1982), je viens d'avoir récemment connaissance d'une étude détaillée du nannoplancton de la coupe de Moorberg/Sarstedt (Allemagne NW). L'association de nannofossiles qui y a été observée à l'Hauterivien inférieur, est sensiblement identique à celle de la région d'Hauterive pour les formes résistantes; par contre les formes sensibles à la dissolution et à la recristallisation sont mieux représentées en Allemagne, comme en Angleterre à Speeton, telles *Corollithion geometricus*, *Corollithion silvaradion*, *Cretarhabdus striatus*, *Caterella perstrata*, *Vagalapilla quadriaculla*. Ces espèces semblent aussi caractéristiques du domaine boréal et sont absentes en Mésogée.

6. CONCLUSIONS

On peut donc affirmer que le nannoplancton observé dans les différentes coupes dans la Marne bleue a bien un cachet hauterivien inférieur, bien que le stock dominant d'espèces soit constitué par un héritage de formes berriasiennes et valanginiennes.

Je pense que le manque de précision biostratigraphique avec le nannoplancton est dû en particulier au lithofaciès qui, en raison des phénomènes diagénétiques, empêche une bonne conservation des coccolithes, mais aussi au fait que les nannofossiles sont sous la dominance d'un biotope peu favorable à l'évolution des espèces.

Néanmoins les coccolithes et *Nannoconus* rencontrés dans l'Hauterivien stratotypique sont identiques, à quelques absents près, à ceux décrits et observés dans la fosse vocontienne par THIERSTEIN ou par BLACK à Speeton en Angleterre, donc appartiennent à une province tempérée avec mélange de formes de paléolatitudes tropicales, celles de la Téthys et d'espèces plus boréales de l'Europe du Nord.

D'après la distribution du nannoplancton, on peut penser que le paléoenvironnement des coupes de la région neuchâteloise et du Jura méridional relève du domaine de la mer ouverte peu profonde: milieu de dépôt néritique, circalittoral du fait des composants terrigènes: quartz, argiles, glauconie, dus aux courants turbiditiques.

7. BIBLIOGRAPHIE

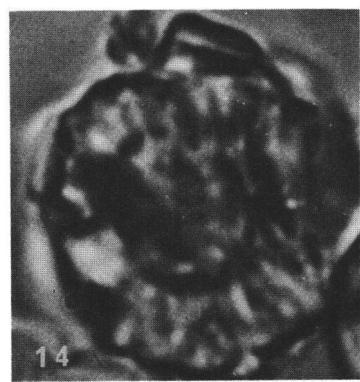
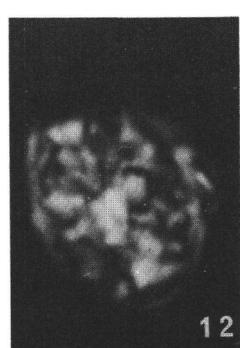
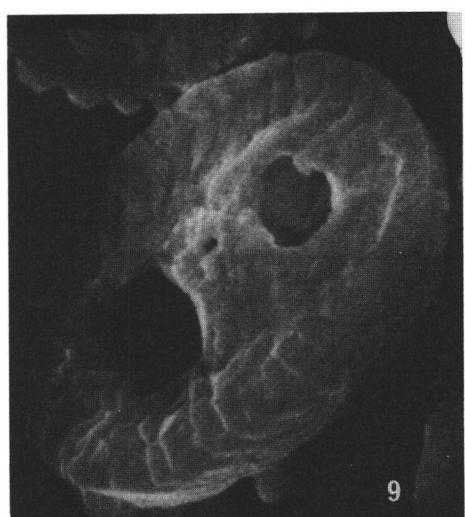
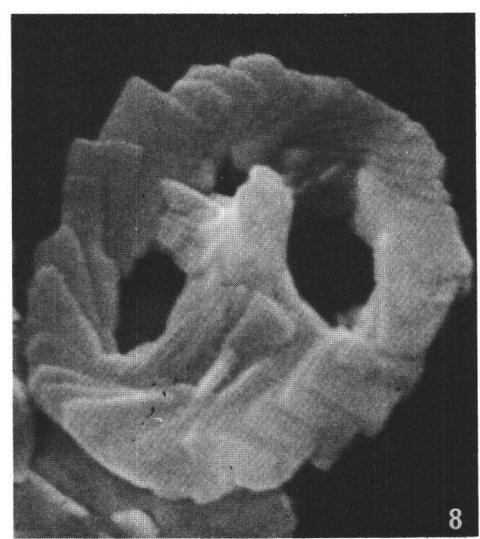
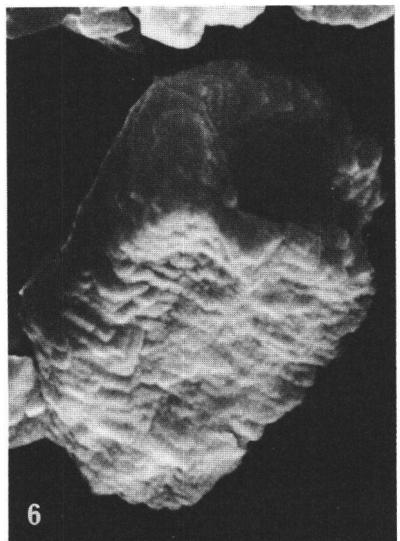
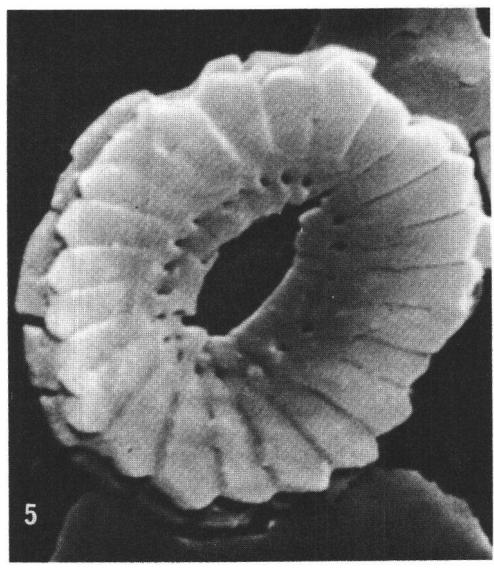
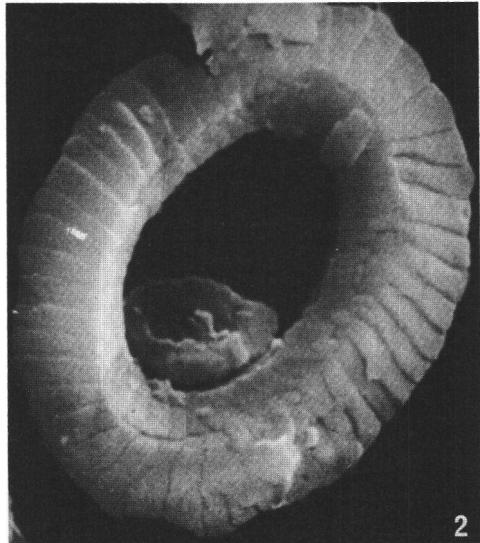
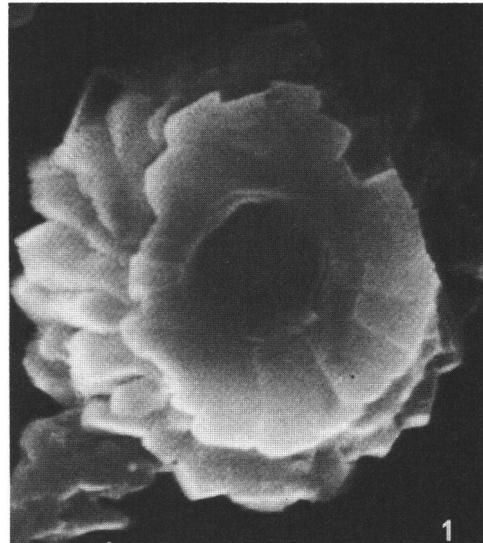
- BLACK, M. — (1971). Coccoliths of the Speeton Clay and Sutterby Marl, *Proc. Yorkshire geol. Soc.* 38: 381-424.
- BRÖNNIMANN, P. — (1955). Microfossils incertae sedis from the Upper Jurassic and Lower Cretaceous of Cuba, *Micropaleontology* 1: 28-51.
- BUSNARDO, R. & THIEULOUY, J.-P. — (1989). Les 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.
- CHAROLLAIS, J., CLAVEL, B., BUSNARDO, R. & MAURICE, B. — (1989). L'Hauterivien du Bassin genevois. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 49-72, Neuchâtel.
- CHAROLLAIS, J., ROSSET, J., BUSNARDO, R., MANIVIT, H. & REMANE, J. — (1981). Stratigraphie du Crétacé en relation avec les formations qui l'encadrent dans l'unité de Nantbellet (= nappe inférieur sensu lato de la klippe de Sulens). Haute-Savoie, France, *Géol. alp.* (Grenoble) 57: 15-91.
- CLAVEL, B. — (1989). Echinides du Crétacé inférieur jurassien. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 149-182, Neuchâtel.
- DERES, F. & ACHERITEGUY, J. — (1980). Biostratigraphie des Nannoconidés, *Bull. Cent. Rech. Pau.* 4/1: 1-53, 2 fig., 5 tabl., 9 pl.
- GRÜN, W. & ALLEMANN, F. — (1975). The Lower Cretaceous of Caravaca (Spain) Berriasian calcareous nannoplankton of the Miravetes Section (Subbetic Zone, Prov. of Murcia), *Eclogae geol. Helv.* 68: 147-211.
- HAEFELI, Ch., MAYNC, W., OERTLI, H.-J. & RUTSCH. — (1965). Die Typus-Profile des Valanginien und Hauterivien. *Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing.* 31: 41-75.
- KÖTHE, A. — (1981). Kalkiges Nannoplankton aus dem Unter-Hauterivium bis Unter-Barremium der Tongrube Moorberg/Sarstedt (Unter-Kreide, NW-Deutschland) — *Mitt. geol. Inst. Univ. Hannover*, 21: 1-95, 7 tabl., 10 pl.
- MANIVIT, H. — (1979). Les nannofossiles de l'hypostratotype mésogén de l'étage Valanginien (Sud-Est de la France). In: *Les stratotypes français* 6: 87-98, 2 tabl., 2 pl., Ed. CNRS.
- MANIVIT, H., CHAROLLAIS, J. & STEINHAUSER, N. — (1969). Association de nannofossiles calcaires dans les formations néocomiennes des chaînes subalpines entre l'Arve et l'Isère (France), *Proc. int. Conf. plankt. Microfoss.* (Genève, 1967) 2: 384-398.
- PERCH-NIELSEN, K. — (1979). Calcareous Nannofossils from the Cretaceous between the North Sea and the Mediterranean. In: Aspekte der Kreide Europas. *IUGS ser. A.* 6: 223-272, Schweizerbart, Stuttgart.
- REMANE, J., BUSNARDO, R., CHAROLLAIS, J., CLAVEL, B. & THIEULOUY, J.-P. — (1989). 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). *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 19-48, Neuchâtel.
- ROTH, P. — (1973). Calcareous nannofossils. In: *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.* 17: 696-795.
- TAYLOR, R. J. — (1978). — The distribution of Calcareous Nannofossils in the Speeton Clay (Lower Cretaceous) of Yorkshire. *Proc. Yorkshire geol. Soc.* 42: 195-209, 6 pl.
- THIERSTEIN, H. R. — (1973). Lower Cretaceous calcareous nannoplankton biostratigraphy. *Abh. geol. Bundesanst.* (Wien) 29:1-52.
- (1975). Calcareous nannoplankton biostratigraphy at the Jurassic-Cretaceous boundary. *Mém. Bur. Rech. géol. min.* 86: 84-94.
- TREJO, M. — (1969). *Conusphaera mexicana*, un nuevo coccolitoforido del Jurásico superior de México. *Rev. Inst. Mex. Petróleo.* 1: 5-15.
- WILCOXON, J. A. — (1972). Upper Jurassic-Lower Cretaceous nannoplankton from the Western North Atlantic Basin. *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.* 11: 427-458.
- WIND, F. H., CEPEK, P. — (1979). Lower Cretaceous calcareous nannoplankton from DSDP Hole 397 A (Northwest African Margin). *Init. Rep. Deep. Sea Drill. Proj.* 47: 221-255.
- WISE, S. W. & WIND, F. H. — (1977) Mesozoic and Cenozoic calcareous nannofossils recovered by DSDP Leg 36 drilling on the Falkland Plateau, southwest Atlantic sector of the Southern Ocean. *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.* 36: 269-491.
- WORSLEY, T. R. — (1971). Calcareous nannofossil zonation of Upper Jurassic and Lower Cretaceous sediments from the western Atlantic. *Proc. 2d Plankt. Conf.* Roma, 1970: 1301-1321.

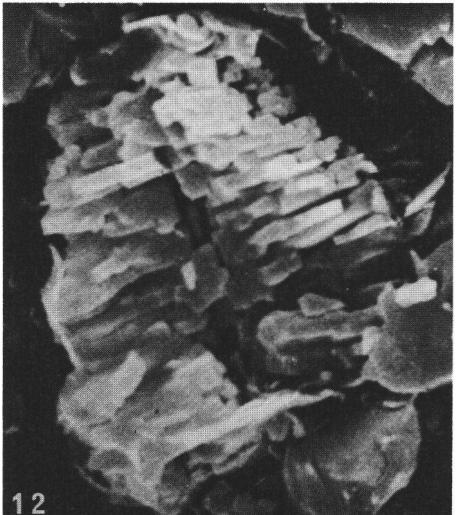
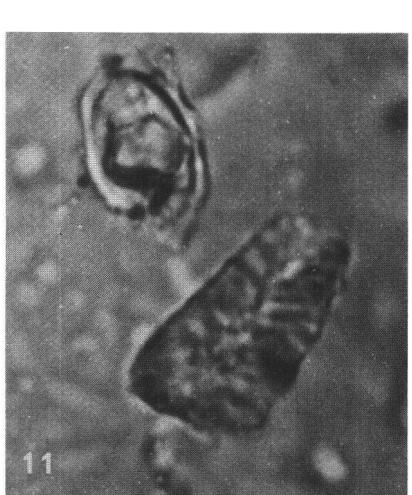
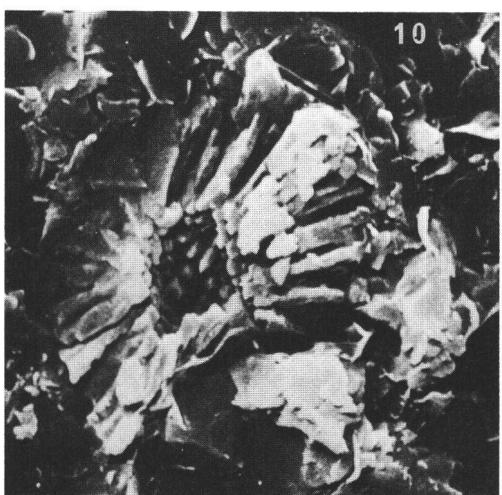
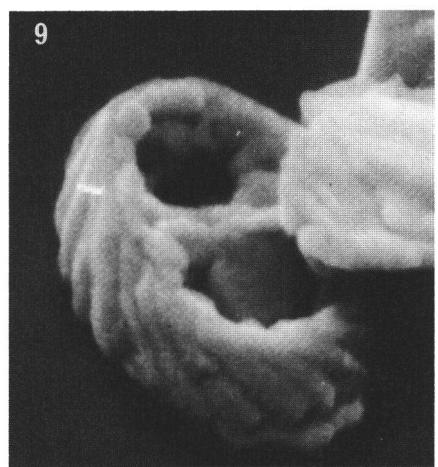
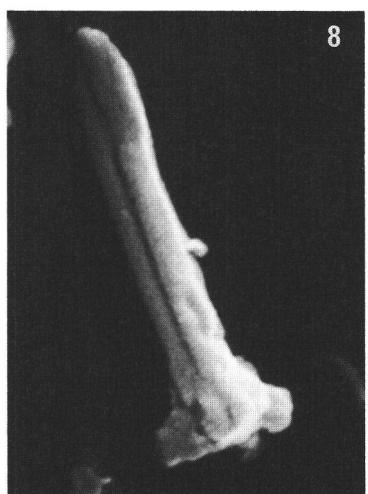
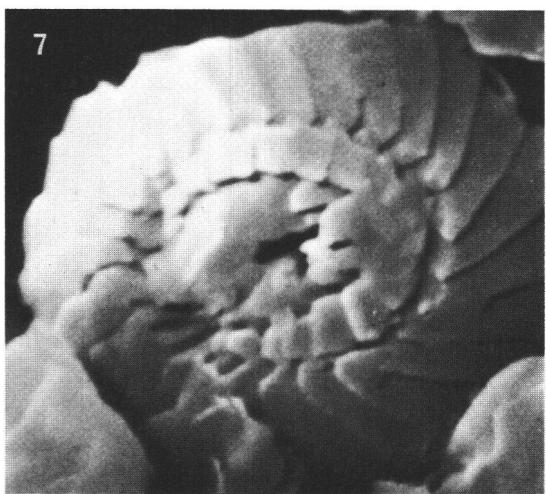
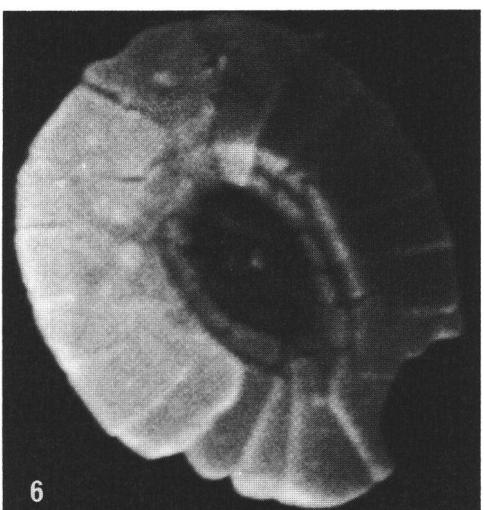
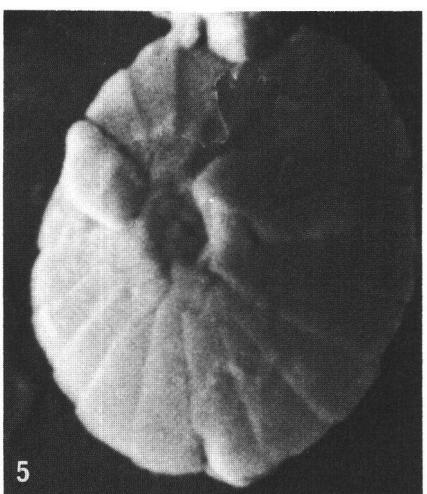
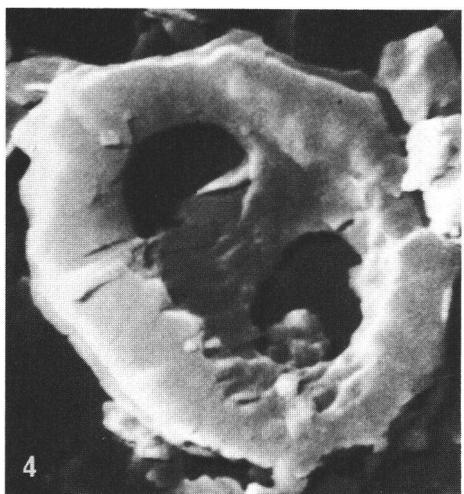
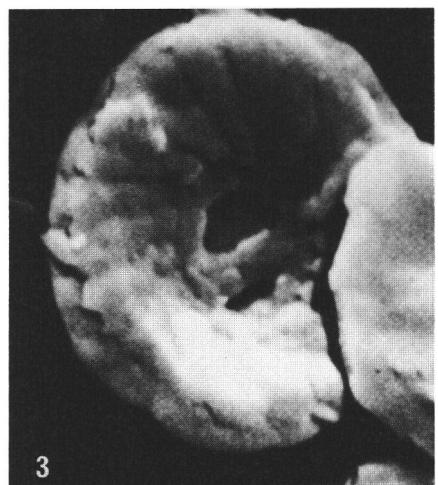
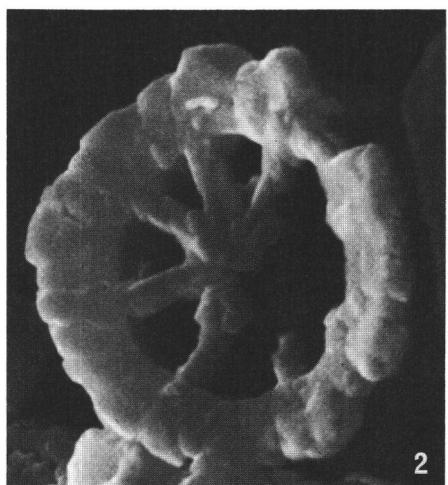
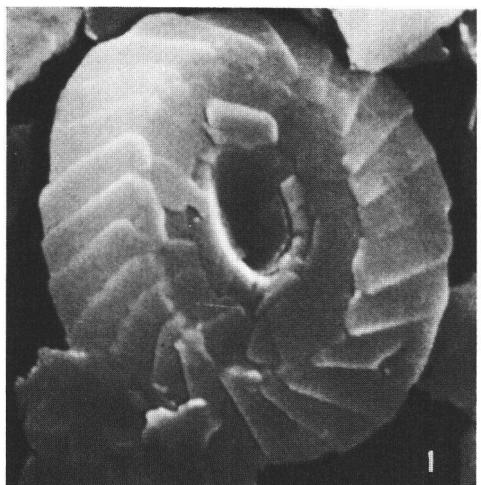
PLANCHE I

- 1 *Diazomatholitus lehmani* NOEL, face proximale, forage de Neuchâtel, $\times 9600$.
- 2 *Manivitella pemmatoidea* (DEFLANDRE ex- MANIVIT) THIERSTEIN, face distale, forage de Neuchâtel, $\times 7200$.
- 3 *Cruciellipsis cuvillieri* (MANIVIT) THIERSTEIN, face distale, Ravin du Colas, $\times 6000$.
- 4 *Cretarhabdus surrilellus* DEFLANDRE, RHEINHARDT, face distale, Ravin du Colas, $\times 9600$.
- 5 *Watznaueria cf. martelae* (NOEL), face proximale, forage de Neuchâtel, $\times 8800$.
- 6 *Nannoconus* sp., individu entier, de profil, forage de Neuchâtel, $\times 3600$.
- 7 *Cretarhabdus crenulatus* BRAMLETTE & MARTINI, face distale, Ravin du Colas, $\times 5600$.
- 8 *Vekshinella stradneri* ROOD, HAY & BARNARD, face distale, forage de Neuchâtel, $\times 8000$.
- 9 *Zygodiscus erectus* (DEFLANDRE) MANIVIT, face distale, Ravin du Colas, $\times 8000$.
- 10 *Nannoconus* cf. *minutus* BRÖNNIMANN, sondage de Neuchâtel, $\times 2000$.
- 11 *Micrantholitus hoschulzi* (REINHARDT) THIERSTEIN, vue en lumière polarisée, Ravin du Colas, $\times 2000$.
- 12 *Calcicalathina oblongata* (WORSLEY) THIERSTEIN, vue en lumière polarisée, Ravin du Colas, $\times 2000$.
- 13 *Parhabdolithus asper* (STRADNER) REINHARDT, embase, face distale, en lumière polarisée, Ravin du Colas, $\times 2560$.
- 14 *Nannoconus* cf. *globulus* BRÖNNIMANN, sondage de Neuchâtel, $\times 2560$.

PLANCHE II

- 1 *Watznaueria communis* REINHARDT, face distale, sondage de Neuchâtel, $\times 8400$.
- 2 *Stephanolithion laffittei* NOEL, face distale, Ravin du Colas, $\times 6400$.
- 3 *Watznaueria britannica* (STRADNER) PERCH-NIELSEN, face proximale, Ravin du Colas, $\times 7600$.
- 4 *Speetonia colligata* BLACK, face proximale, Ravin du Colas, $\times 5200$.
- 5 *Discorhabdus rotatorius* (BUKRY) THIERSTEIN, face distale, sondage de Neuchâtel, $\times 9600$.
- 6 *Biscutum constans* (GORKA) BLACK, face distale, sondage de Neuchâtel, $\times 10400$.
- 7 *Cyclagelosphaera margareli* NOEL, face distale, Ravin du Colas, $\times 6800$.
- 8 *Rhabdolithus* cf. *rectus* DEFLANDRE, vue de profil, sondage de Neuchâtel, $\times 8400$.
- 9 *Zygodiscus diplogrammus* (DEFLANDRE) GARTNER, face distale, demiprofil, Ravin du Colas, $\times 12000$.
- 10 *Nannoconus* cf. *cornuta* DERES, coupe transversale, à partir de l'observation d'un éclat de roche, sondage de Neuchâtel, $\times 1600$.
- 11 *Nannoconus* cf. *steinmanni* BRÖNNIMANN, vue en lumière naturelle (au-dessus *Parhabdolithus embergeri*), sondage de Neuchâtel, $\times 2000$.
- 12 *Nannoconus* cf. *steinmanni minor* DERES, section obtenue lors de l'observation d'un éclat de roche, sondage de Neuchâtel, $\times 4400$.





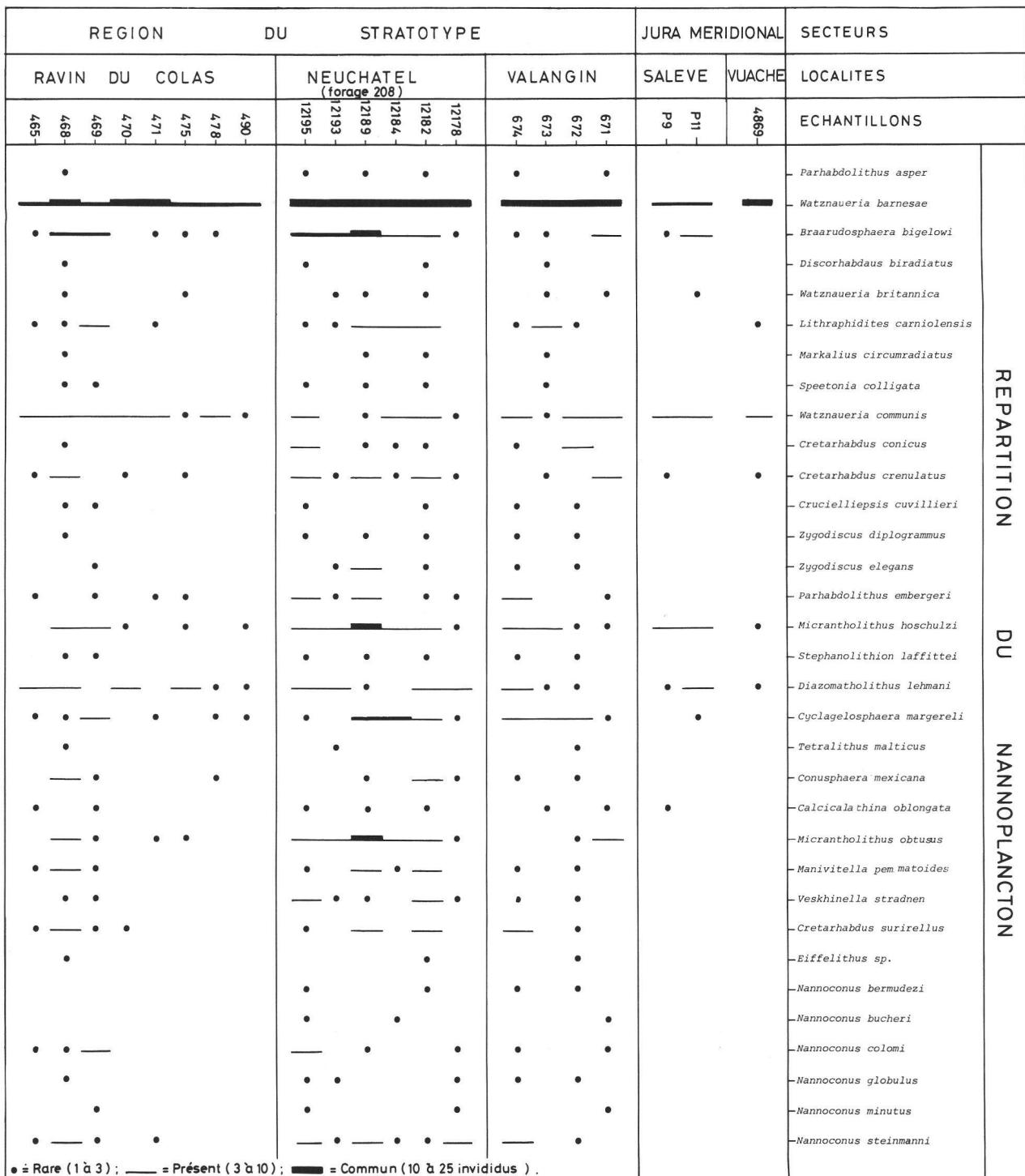


FIG. 1. — Répartition stratigraphique du nannoplancton dans les différentes coupes étudiées.

Mémoires de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles	Tome XI	p. 233-255, 4 tabl., 4 pl.	Neuchâtel, 1989
--	---------	----------------------------	-----------------

PALYNOLOGIE DU STRATOTYPE HISTORIQUE DE L'HAUTERIVIEN

par

Danièle FAUCONNIER

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

ABSTRACT. — This first detailed palynological study of the historical type Hauterivian is based on four sections, two of them from the central Jura Mountains (well 208 at Neuchâtel and Ravin du Colas near Sainte-Croix, Vaud), the two others from the southern Jura near Geneva (Mont-Salève and Vuache tunnel). 67 samples from marly sediments of the lower part of the Hauterivian were studied. 40 to 60 species, and four to eleven species of pollens (mainly *Pinaceae*) could be determined. Dinocysts belong to a subboreal to boreal flora, according to the presence of *Occisucysta tentoria*, *Pseudoceratium pelliferum*, *Meiourogonyaulax pertusa*, *Gonyaulacysta kostromiensis*, and *Avellodinium falsificum*. Additionally, three marker species of the boreal Early Hauterivian are present: *Kleithriaspaeridium «simplicispinum»*, *Discorsia nanna*, and *Nexosispinum vetusculum*, whereas markers from the boreal late Hauterivian are missing.

The lower Hauterivian of the Jura mountains can be subdivided on the base of three successive dinocyst associations. They are characterized by abundant *Cyclonephelium distinctum* in the lowermost strata, followed by a decrease in relative frequencies of the genera *Cyclonephelium*, *Surculosphaeridium*, and *Oligosphaeridium*, which is compensated by an increase of *Cribroperidinium* in the middle part and the abundance of *Cyclonephelium brevispinatum* in the uppermost layers.

RÉSUMÉ. — Cette première étude palynologique détaillée de l'Hauterivien-type porte sur quatre sections: les deux premières sont situées dans le Jura central (forage 208 près de Neuchâtel et ravin du Colas près de Sainte-Croix (Vaud), les deux autres dans le Jura méridional, près de Genève (Mont-Salève et Tunnel du Vuache). Un total de 67 échantillons furent prélevés dans les sédiments marneux de la partie inférieure de l'Hauterivien. 40 à 60 espèces de dinoflagellés, 4 à 9 espèces de spores et 4 à 11 espèces de pollens (surtout des Pinacées) ont été déterminées.

Les dinoflagellés appartiennent à une flore subboréale à boréale, confirmée par la présence de *Occisucysta tentoria*, *Pseudoceratium pelliferum*, *Meiourogonyaulax pertusa*, *Gonyaulacysta kostromiensis* et *Avellodinium falsificum*. En outre, trois marqueurs de l'Hauterivien inférieur boréal sont présents: *Kleithriaspaeridium «simplicispinum»*, *Discorsia nanna* et *Nexosispinum vetusculum*. Par contre, les marqueurs de l'Hauterivien supérieur boréal sont absents.

Trois associations successives de dinoflagellés permettent de subdiviser l'Hauterivien inférieur du Jura. Elles sont caractérisées par l'abondance de *Cyclonephelium distinctum* dans les niveaux inférieurs, par une diminution des pourcentages des genres *Cyclonephelium*, *Surculosphaeridium* et *Oligosphaeridium*, compensés par une augmentation de *Cribroperidinium* dans la partie moyenne et par l'abondance de *Cyclonephelium brevispinatum* dans les niveaux supérieurs.

1. INTRODUCTION

Les résultats présentés dans cette note s'inscrivent dans le cadre des travaux stratigraphiques pluridisciplinaires consacrés à la révision de l'étage Hauterivien dans sa localité type.

L'étude palynologique de cet étage n'avait pas encore été entreprise près d'Hauterive, mais elle a été abordée depuis près de vingt-cinq ans dans d'autres régions. Ainsi, les travaux récents de DUXBURY (1977, 1980) et de DAVEY (1979) en Europe du Nord-Ouest, ceux de BELOW (1981) en Afrique du Nord, de BRIDEAUX (1977), BRIDEAUX & FISCHER (1976) au Canada et de HABIB (1975) en Atlantique Nord, concernent l'Hauterivien.

En Allemagne, les premières études des dinoflagellés du Crétacé inférieur sont dues à GOCHT (1957, 1959) et ALBERTI (1959, 1961); en Angleterre, elles sont dues à NEALE & SARJEANT (1962), SARJEANT (1966) et DAVEY (1974).

2. ÉCHANTILLONS ÉTUDIÉS

Trois coupes et un sondage ont été étudiés à l'aide d'échantillons prélevés presque exclusivement dans les intercalations marneuses situées sous la Pierre jaune de Neuchâtel; ces échantillons ne couvrent que l'équivalent de deux zones d'ammonites (Zones à Radiatus et à Loryi) de l'Hauterivien inférieur et proviennent de:

- la coupe du Ravin de Colas (21 échantillons);
- le sondage de Neuchâtel (12 échantillons);
- la coupe du Salève (23 échantillons);
- la coupe du tunnel du Vuache (11 échantillons).

Les deux premières coupes sont géographiquement proches l'une de l'autre et de la localité type d'Hauterive alors que les deux autres ont été choisies à environ 130 km plus au sud, ceci afin de pouvoir comparer les associations palynologiques des deux secteurs.

Les préparations palynologiques de tous les échantillons ont été réalisées au Laboratoire de géologie de l'Université de Genève.

3. RÉSULTATS STRATIGRAPHIQUES

3.1. Généralités

Les résidus palynologiques sont le plus souvent composés de matière organique abondante (matériel libéro-ligneux, matière organique amorphe ou «kérogène»), de cellules de microforaminifères, de microfossiles marins très abondants (kystes de dinoflagellés) et de microfossiles d'origine continentale (spores et pollens), généralement peu nombreux mais pouvant parfois atteindre des pourcentages de l'ordre de 20% du contenu palynologique (notamment les pollens disaccates au Ravin du Colas).

Deux ou trois cents spécimens ont été comptés par niveau; les genres planctoniques *Cyclonephelium*, *Criboperidinium*, *Surculosphaeridium* dominent l'ensemble de la microflore dans les quatre coupes étudiées et peuvent atteindre 40% du total du contenu palynologique (dinoflagellés + pollens + spores).

Un tableau présente, par ordre d'apparition stratigraphique, les espèces de dinoflagellés, spores et pollens trouvées dans chaque coupe; l'abondance relative de ces espèces y est également reportée.

La classification taxonomique adoptée suit STOVER & EVITT (1978) et LENTIN & WILLIAMS (1985). Deux formes sont données en nomenclature ouverte et illustrées: *Surculosphaeridium* sp. (pl. 2, fig. 1) et *Cleistosphaeridium* sp. (pl. 1, fig. 10).

3.2. Coupe du ravin du Colas (voir fig. 10 de REMANE et al., ce vol.)

Le tableau 1 montre la répartition des 56 espèces de dinoflagellés, des 9 espèces de spores et des 11 espèces de pollens présentes dans la coupe de 46 m d'épaisseur du Ravin du Colas.

TABLEAU I RAVIN DU COLAS

3.2.1. Microplancton

L'espèce *Cyclonephelium distinctum* domine l'ensemble de la microflore dans les 15 m de la base de la coupe alors que *Cyclonephelium brevispinatum* est plus fréquent dans les échantillons du sommet de la coupe, avec des pourcentages pouvant atteindre 40 % du contenu palynologique.

Deux autres formes montrent des pourcentages moyens de 10 à 15 % : *Surculosphaeridium* sp. et *Cribroperidinium edwardsii* avec des maxima atteignant 25 %.

Un nombre important d'espèces, plus rares (1-5 %), sont cependant présentes régulièrement dans presque tous les niveaux : *Muderongia staurota*, *Kiokansium polypes*, *Spiniferites ramosus*, *Systematophora complicata*.

Liste alphabétique des taxons de microplancton rencontrés dans la coupe du Ravin du Colas :

- Achomosphaera? neptunii* (EISENACK, 1958)
DAVEY & WILLIAMS, 1966a
- Aptea anaphrissa* (SARJEANT, 1966c) SARJEANT
& STOVER, 1978
- Apteodinium* cf. *A. maculatum* EISENACK
& COOKSON, 1960
- Callaiosphaeridium asymmetricum* (DEFL. &
COURTEV., 1939) DAVEY & WILLIAMS, 1966b
- Cassiculosphaeridia magna* DAVEY, 1974
- Cassiculosphaeridia reticulata* DAVEY, 1969a
- Chlamydophorella trabeculosa* (GOCHT, 1959)
DAVEY, 1978
- Chytrœisphaeridia ringnesiorum* (MANUM
& COOKSON, 1964) MORGAN, 1980
- Cleistosphaeridium huguoniottii* (VALENSI, 1955a)
DAVEY, 1969a
- Cleistosphaeridium* sp.
- Cribroperidinium confossum* (DUXBURY, 1977)
HELENES, 1984
- Cribroperidinium?* *cornutum* DAVEY, 1974
- Cribroperidinium edwardsii* (COOKSON
& EISENACK, 1958) DAVEY, 1969a
- Cribroperidinium exilicristatum* (DAVEY, 1969a)
STOVER & EVITT, 1978
- Cribroperidinium palla* (SARJEANT, 1966b)
HELENES, 1984
- Cribroperidinium sepimentum* NEALE & SARJ., 1962
- Cyclonephelium brevispinatum* (MILLIOUD, 1969)
BELOW, 1981
- Cyclonephelium* cf. *C. compactum* DEFLANDRE
& COOKSON, 1955
- Cyclonephelium distinctum* DEFLANDRE
& COOKSON, 1955
- Cyclonephelium distinctum* subsp. *longispinatum*
DAVEY, 1978
- Cyclonephelium hystrix* (EIS., 1958) DAVEY, 1978
- Dapsilidinium multispinosum* (DAVEY, 1974)
BUJAK et al., 1980
- Diacanthum tenuiceras* (EISENACK, 1958) STOVER
& EVITT, 1978
- Dingodinium cerviculum* COOKSON & EISENACK,
1958 emend. MEHROTRA & SARJEANT, 1984b
- Exochosphaeridium phragmites* DAVEY et al.,
1966
- Florentinia mantellii* (DAVEY & WILLIAMS, 1966b)
DAVEY & VERDIER, 1973
- Gonyaulacysta?* *fastigiata* DUXBURY, 1977
- Gonyaulacysta helicoidea* (EISENACK & COOKSON,
1960) SARJEANT, 1966b
- Gonyaulacysta kostromiensis* (VOZZHENNIKOVA,
1967) SARJEANT, 1969
- Heslertonia heslertonensis* (NEALE & SARJEANT,
1962) SARJEANT, 1966b
- Hystrichodinium pulchrum* DEFLANDRE, 1935
- Hystrichosphaerina schindewolfii* ALBERTI, 1961
- Kalyptea* sp.
- Kiokansum polypes* (COOKSON & EISENACK, 1962b)
BELOW, 1982c
- Kleithriaspaeridium corrugatum* DAVEY, 1974
- Kleithriaspaeridium fasciatum* (DAVEY
& WILLIAMS, 1966b) DAVEY, 1974
- Kleithriaspaeridium* « *simplicispinum* » (DAVEY
& WILLIAMS, 1966b) DAVEY, 1974
- Meiourogonyaulax pertusa* (DUXBURY, 1977)
BELOW, 1981
- Muderongia crucis* NEALE & SARJEANT, 1962
- Muderongia staurota* SARJEANT, 1966c
- Muderongia tetracantha* (GOCHT, 1957) ALB., 1961
- Occisucysta tentoria* DUXBURY, 1977
- Odontochitina operculata* (WETZEL, 1933)
DEFLANDRE & COOKSON, 1955
- Oligosphaeridium?* *asterigerum* (GOCHT, 1959)
DAVEY & WILLIAMS, 1969
- Oligosphaeridium complex* (WHITE, 1842) DAVEY
& WILLIAMS, 1966b
- Pareodinia ceratophora* DEFLANDRE, 1947

<i>Phoberocysta neocomica</i> (GOCHT, 1957) MILL., 1969	<i>Surculosphaeridium</i> sp.
<i>Protoellipsodinium spinosum</i> DAV. & VERD., 1971	<i>Systematophora complicata</i> NEALE & SARJ., 1962
<i>Pseudoceratium pelliferum</i> GOCHT, 1957 emend. DORHOFER & DAVIES, 1980	<i>Tanyosphaeridium variecalatum</i> DAVEY & WILLIAMS, 1966b
<i>Rhynchodiniopsis fimbriata</i> (DUXBURY, 1980) JAN DU CHÈNE et al., 1985	<i>Trichodinium castanea</i> (DEFLANDRE, 1935) CLARKE & VERDIER, 1967
<i>Spiniferites ramosus</i> (EHRENBERG, 1838) LOEBLICH & LOEBLICH, 1966	<i>Trichodinium « ciliatum »</i> (GOCHT, 1959) EISENACK, 1964

3.2.2. Spores et pollens

Les spores sont représentées dans la coupe par quelques espèces de grande répartition stratigraphique telles que les Gleicheniacées avec *Gleicheniidites senonicus*, les Cyatheacées, avec *Cyathidites minor*, *C. australis* et les Schizeacées avec *Cicatricosisporites* cf. *C. dorogensis*.

Les pollens sont plus abondants, dominés par les conifères de la famille des Pinacées avec *Abietinaepollenites minimus*, *A. microalatus* et *Parvisaccites radiatus* dont les pourcentages varient de 5 à 25 %, le maximum se situant près du sommet de la coupe.

Un autre genre est bien représenté dans tous les échantillons de cette coupe : *Classopollis* (Cheirolepidiacées).

Liste alphabétique des taxons de spores et pollens rencontrés dans la coupe du Ravin du Colas :

<i>Abietinaepollenites microalatus</i> POTONIÉ, 1951	<i>Exesipollenites tumulus</i> BALME, 1957
<i>Abietinaepollenites minimus</i> COUPER, 1958	<i>Foveotriletes subtriangularis</i> BRENNER, 1963
<i>Araucariacites australis</i> COOKSON, 1947	<i>Gleicheniidites senonicus</i> ROSS, 1949
<i>Callialasporites dampieri</i> (BALME SUKH DEV, 1961)	<i>Lycopodiumsporites clavatooides</i> COUPER, 1958
<i>Cedripites cretaceus</i> POCOCK, 1962	<i>Parvisaccites radiatus</i> COUPER, 1958
<i>Cerebropollenites mesozoicus</i> (COUP.) NILSS. 1958	<i>Pilosporites trichopapillosum</i> (THIERGART) DELCOURT & SPRUMONT, 1955
<i>Cicatricosisporites</i> cf. <i>C. dorogensis</i> KEDVES, 1961	<i>Podocarpidites canadensis</i> POCOCK, 1962
<i>Classopollis classoides</i> PFLUG, 1953	<i>Staplinisporites caminus</i> (BALME) POCOCK, 1962
<i>Cyathidites minor</i> COUPER, 1958	<i>Trilobosporites</i> sp.
<i>Cyathidites australis</i> COUPER, 1958	<i>Vitreisporites pallidus</i> (REISSINGER) NILSSON, 1958
<i>Densoisporites perinatus</i> COUPER, 1958	
<i>Eucommiidites stuartii</i> KEMP, 1970	

3.2.3. Associations palynologiques

Les abondances relatives de quelques espèces de dinoflagellés, de spores et de pollens, permettent de définir trois associations différentes dans la coupe du Ravin de Colas (tableau I) :

Depuis la base (MP 462) et jusqu'à 14 m (MP 477, niveau situé sous la première lacune estimée à 15 m), la première association est caractérisée par l'abondance particulière des espèces :

- *Cribroperidinium edwardsii* (30 % à 7 m);
- *Cyclonephelium distinctum* (30 %);
- *Muderongia staurota* et *Muderongia tetricantha* (5 à 10 %);
- *Surculosphaeridium* sp. (10 à 15 %),
- et des pollens de conifères disaccates (5 à 15 %) et *Classopollis* (< 5 %).

Ces espèces, déjà présentes au Valanginien supérieur, ne permettent pas de repérer la limite Valanginien-Hauterivien, précisée par les ammonites et les échinides, si ce n'est par la brutale augmentation de fréquence de *C. distinctum*, à partir de MP 473.

De 29 m (MP 478) à 43 m (MP 489), la deuxième association est caractérisée par une diminution des pourcentages des espèces citées précédemment (les pourcentages de *Cyclonephelium* varient entre 5 et 10%) et par une abondance de :

- *Cibroperidinium sepimentum* (5 à 10 %);
- *Cibroperidinium confossum* (15 % à 31 m).

De 44 m (MP 490) au sommet de la coupe (MP 492), la troisième association est caractérisée par une diminution de la fréquence de toutes les espèces citées précédemment et par l'abondance de :

- *Cyclonephelium brevispinatum* (40 à 45 %),
- et de pollens de conifères (20 à 30 %).

3.3. Le sondage de Neuchâtel (voir fig. 8 de REMANE et al., ce vol.)

Le tableau II montre la répartition stratigraphique des 61 espèces de dinoflagellés, des 4 espèces de spores et des 8 espèces de pollens présentes dans les Marnes bleues de l'Hauterivien inférieur du sondage de Neuchâtel. Ces marnes ont une épaisseur de 20 m, entre les profondeurs 46,60 et 26,40 m; elles sont limitées à leur base sur le Calcaire roux et à leur sommet par des marnes calcaires.

3.3.1. Microplancton

Comme dans la coupe du Ravin du Colas, trois espèces dominent nettement l'ensemble de la microflore : *Cyclonephelium distinctum* est plus abondant dans certains niveaux de la base de l'intervalle étudié (25 %) alors que *Cyclonephelium brevispinatum* est plus fortement représenté dans les niveaux du sommet (25 %). *Cibroperidinium edwardsii* est relativement fréquent, avec des pourcentages constants de l'ordre de 5 % dans la plupart des niveaux.

Un grand nombre d'espèces sont présentes dans la plupart des échantillons analysés et atteignent parfois des pourcentages de 5 % : *Muderongia staurota*, *Kleithriasphaeridium « simplicispinum »*, *Spiniferites ramosus*, *Oligosphaeridium complex*, *Phoberocysta neocomica* et *Cibroperidinium confossum*.

Enfin plusieurs espèces sont rares ou montrent des présences irrégulières : *Gonyaulacysta kostromiensis*, *Meiourogonyaulax pertusa*, *Discorsia nanna*, *Hapsocysta peridictya*.

Nous notons également le maximum de *Cassiculosphaeridia reticulata* (25 %) à 28,80 m.

Liste alphabétique des taxons de microplancton rencontrés dans les échantillons du sondage de Neuchâtel :

<i>Achromosphaera? neptunii</i> (EISENACK, 1958)	<i>Cerbia tabulata</i> (DAVEY & VERDIER, 1974)
DAVEY & WILLIAMS, 1966a	BELOW, 1981 (absent au Ravin du Colas)
<i>Aprobolocysta neistosa</i> DUXBURY, 1980 (absent au Ravin du Colas)	<i>Chlamydophorella ordinalis</i> (DAVEY, 1974)
	DAVEY, 1978 (absent au Ravin du Colas)
<i>Apteodinium maculatum</i> EIS. & COOKSON, 1960	<i>Chlamydophorella trabeculosa</i> (GOCHT, 1959)
<i>Avellodinium falsificum</i> DUXBURY, 1980 (absent au Ravin du Colas)	DAVEY, 1978
<i>Batioladinium jaegeri</i> (ALBERTI, 1961) BRIDEAUX, 1975 (absent au Ravin du Colas)	<i>Chytroeisphaeridia ringnesiorum</i> (MANUM & COOKSON, 1964) MORGAN, 1980
<i>Callaiosphaeridium asymmetricum</i> (DEFL. & COURTEV., 1939) DAVEY & WILLIAMS, 1966b	<i>Cleistosphaeridium huguoniottii</i> (VALENSI, 1955a)
<i>Cassiculosphaeridia magna</i> DAVEY, 1974	DAVEY, 1969a
<i>Cassiculosphaeridia reticulata</i> DAVEY, 1969a	<i>Cleistosphaeridium</i> sp.
<i>Cauca parva</i> (ALBERTI, 1961) DAVEY & VERDIER, 1971 (absent au Ravin du Colas)	<i>Cibroperidinium confossum</i> (DUXBURY, 1977)
	HELENES, 1984
	<i>Cibroperidinium? cornutum</i> DAVEY, 1974

- Cribroperidinium edwardsii* (COOKSON & EISENACK, 1958) DAVEY, 1969a
Cribroperidinium palla (SARJEANT, 1966b)
HELENES, 1984
Cribroperidinium sepimentum NEALE & SARJ., 1962
Ctenidodinium elegantulum MILLIOUD, 1969
emend. BELOW, 1981a (absent au Ravin du Colas)
Cyclonephelium brevispinatum (MILLIOUD, 1969)
BELOW, 1981
Cyclonephelium cf. *C. compactum* DEFL. & COOKS., 1955
Cyclonephelium distinctum DEFL. & COOKS., 1955
Cyclonephelium hystrix (EIS., 1958) DAVEY, 1978
Dapsilidinium multispinosum (DAVEY, 1974)
BUJAK et al., 1980
Diacanthum tenuiceras (EISENACK, 1958)
STOVER & EVITT, 1978
Dingodinium cerviculum COOKSON & EISENACK 1958 emend. MEHROTRA & SARJEANT, 1984b
Discorsia nanna (DAVEY, 1974) DUXBURY, 1977 (absent au Ravin du Colas)
Endoscrinium campanulum (GOCHT, 1959) VOZ-ZHENN., 1967 (absent au Ravin du Colas)
Exochosphaeridium phragmites DAVEY et al., 1966
Gonyaulacysta? *fastigiata* DUXBURY, 1977
Gonyaulacysta kostromiensis (VOZZHENNIKOVA, 1967) SARJEANT, 1969
Hapsocysta peridictya (EISENACK & COOKSON, 1960) DAVEY 1977b (absent au Ravin du Colas)
Heslertonia heslertonensis (NEALE & SARJEANT, 1962) SARJEANT, 1966b
Hystrichodinium pulchrum DEFLANDRE, 1935
Hystrichodinium voigtii (ALBERTI, 1961) DAVEY, 1974 (absent au Ravin du Colas)
Hystrichosphaerina schindewolfii ALBERTI, 1961
Kalyptea sp.
Kiokansum polypes (COOKSON & EISENACK, 1962b)
BELOW, 1982
Kleithriaspaeridium corrugatum DAVEY, 1974
- Kleithriaspaeridium fasciatum* (DAVEY & WILLIAMS, 1966b) DAVEY, 1974
Kleithriaspaeridium « simplicispinum » (DAVEY & WILLIAMS, 1966b) DAVEY, 1974
Meiourogonyaulax pertusa (DUXBURY, 1977)
BELOW, 1981
Muderongia staurota SARJEANT, 1966c
Nexosispinum vetusculum (DAVEY, 1974) DAVEY, 1979b (absent au Ravin du Colas)
Occisucysta evittii (DODEKOVA 1969) GITMEZ, 1970 (absent au Ravin du Colas)
Occisucysta tentoria DUXBURY, 1977
Odontochitina operculata (WETZEL, 1933)
DEFLANDRE & COOKSON, 1955
Oligosphaeridium? asterigerum (GOCHT, 1959)
DAVEY & WILLIAMS, 1969
Oligosphaeridium complex (WHITE, 1842) DAVEY & WILLIAMS, 1966b
Pareodinia ceratophora DEFLANDRE, 1947
Phoberocysta neocomica (GOCHT, 1957) MILLIOUD, 1969
Protoellipsodinium spinosum DAVEY & VERDIER, 1971
Pseudoceratium pelliferum (GOCHT, 1957)
DORHOFER & DAVIES, 1980
Rhynchodiniopsis fimbriata (DUXBURY, 1980) JAN DU CHÈNE et al., 1985
Spiniferites? dentatus (GOCHT, 1959) DUXBURY, 1977 (absent au Ravin du Colas)
Spiniferites ramosus (EHRENBERG, 1938) LOEBLICH & LOEBLICH, 1966
Surculosphaeridium sp.
Systematophora complicata NEALE & SARJ., 1962
Tanyosphaeridium variecalatum DAVEY & WILLIAMS, 1966b
Trichodinium « ciliatum » (GOCHT, 1959)
EISENACK, 1964
Wallodinium krutzschi (ALBERTI, 1961) HABIB, 1972 (absent au Ravin du Colas)

3.3.2. Spores et pollens

Les spores sont peu représentées dans les échantillons du sondage de Neuchâtel. Les Gleicheniacées sont présentes à tous les niveaux tandis que la répartition des Schizeacées est limitée au sommet de la section étudiée à 32,80 m.

Les pollens sont, comme dans les échantillons du Ravin du Colas, dominés par les Conifères de la famille des Pinacées. Leurs pourcentages varient de 5 à 20%, le maximum étant atteint à 39,10 m. Le genre *Classopollis* est également présent.

TABLEAU II SONDAGE DE NEUCHATEL

Liste alphabétique des taxons de spores et pollens rencontrés dans les échantillons du sondage de Neuchâtel :

<i>Abietinaepollenites microalatus</i> POTONIE, 1951	<i>Classopollis classoides</i> PFLUG, 1953
<i>Abietinaepollenites minimus</i> COUPER, 1958	<i>Concavissimisporites</i> sp.
<i>Callialasporites dampieri</i> (BALME) SUKH DEV, 1961	<i>Foveotriletes subtriangularis</i> BRENNER, 1963
<i>Cedripites cretaceus</i> POCOCK, 1962	<i>Gleicheniidites senonicus</i> ROSS, 1949
<i>Cerebropollenites mesozoicus</i> (COUPER) NILSSON, 1958	<i>Parvisaccites radiatus</i> COUPER, 1958
<i>Cicatricosisporites</i> cf. <i>C. dorogensis</i> KEDVES, 1961	<i>Podocarpidites canadensis</i> POCOCK, 1962

3.3.3. Associations palynologiques

Trois associations peuvent être distinguées dans les Marnes bleues du sondage de Neuchâtel (tableau II) :

de 46,60 m (éch. 12196) à 43,10 m (éch. 12195), la première association est caractérisée par l'abondance de :

- *Surculosphaeridium* sp. (30 à 40 %);
- *Cyclonephelium distinctum* (15 à 20 %).

de 41,10 m (éch. 12193) à 30,80 m (éch. 12183), la deuxième association est caractérisée par :

- une diminution sensible de l'abondance de deux espèces différentes ;
- l'apparition de douze espèces telles que *Cribroperidinium?* *cornutum*, *Discorsia nanna*, *Nexosispinum vetusculum* ;
- une plus forte abondance des pollens de conifères (15 à 25 %).

de 28,80 m (éch. 12180) à 26,40 m (éch. 12178), la troisième association est caractérisée par :

- l'abondance particulière des deux espèces *Cassiculosphaeridia reticulata* (20 à 30 %) et *Cyclonephelium brevispinatum* (10 à 20 %) et des pollens dissaccates (15 %) ;
- une diminution de l'abondance de *Surculosphaeridium* sp. (5 à 10 %).

3.4. La coupe du Salève (voir fig. 2 de CHAROLLAIS et al., ce vol.)

Le tableau III représente la répartition stratigraphique des 39 espèces de dinoflagellés, des 4 espèces de spores et des 4 espèces de pollens présentes dans les Marnes d'Hauterive de la coupe du Salève. Un banc calcaire de 9 m d'épaisseur sépare la formation marneuse en une partie inférieure de 7 m et une partie supérieure de 23 m environ.

3.4.1. Microplancton

Le genre *Cyclonephelium* domine nettement l'ensemble de la microflore dans tous les niveaux de la coupe, avec des pourcentages atteignant 50 % du contenu palynologique.

Trois espèces montrent également de fortes abondances (environ 30 % du contenu palynologique), surtout dans la partie supérieure de la coupe : *Kiokansium polypes*, *Muderongia staurota*, *Oligosphaeridium complex*.

Les pourcentages d'un grand nombre d'espèces varient de 1 à 5 % dans la plupart des niveaux de la coupe : *Cribroperidinium edwardsii*, *Oligosphaeridium?* *asterigerum*, *Kleithriasphaeridium* « *simplicispinum* », *Dinogodinium cervicum*; d'autres formes montrent des fréquences irrégulières : *Cassiculosphaeridia magna*, *Meiourogonyaulax pertusa*. Enfin, quelques espèces apparaissent vers le sommet de la section tout en étant peu représentées : *Ctenidodinium elegantulum*, *Prolixosphaeridium parvispinum*, *Wallodinium luna*.

Liste alphabétique des taxons de microplancton rencontrés dans la coupe du Salève :

- Achomosphaera? neptunii* (EISENACK, 1958)
DAVEY & WILLIAMS, 1966a
Aptea anaphrissa (SARJEANT, 1966c) SARJEANT
& STOVER, 1978
Callaiosphaeridium asymmetricum (DEFL.
& COURTEV., 1939) DAVEY & WILLIAMS, 1966b
Cassiculosphaeridia magna DAVEY, 1974
Chlamydophorella trabeculosa (GOCHT, 1959)
DAVEY, 1978
Cleistosphaeridium huguoniottii (VALENSI, 1955a
DAVEY, 1969a
Cribroperidinium confossum (DUXBURY, 1977)
HELENES, 1984
Cribroperidinium? cornutum DAVEY, 1974
Cribroperidinium edwardsii (COOKSON
& EISENACK, 1958) DAVEY, 1969a
Cribroperidinium sepimentum NEALE & SARJ., 1962
Ctenidodinium elegantulum MILLIOUD, 1969
emend. BELOW, 1981a (absent au Ravin du
Colas)
Cyclonephelium cf. C. compactum DEFLANDRE
& COOKSON, 1955
Cyclonephelium distinctum DEFLANDRE
& COOKSON 1955
Cyclonephelium hystrix (EIS., 1958) DAVEY, 1978
Diacanthum tenuiceras (EISENACK, 1958) STOVER
& EVITT, 1978
Dingodinium cerviculum COOKSON & EISENACK,
1958 emend. MEHROTRA & SARJEANT, 1984b
Exochosphaeridium phragmites DAVEY et al., 1966
Gonyaulacysta helicoidea (EISENACK & COOKSON,
1960) SARJEANT, 1966b
Gonyaulacysta sp.
Heslertonia heslertonensis (NEALE & SARJEANT,
1962) SARJEANT, 1966b
Hystrichodinium pulchrum DEFLANDRE, 1935
- Hystrichosphaerina schindewolfii* ALBERTI, 1961
Kiokansium polypes (COOKSON & EISENACK,
1962b) BELOW, 1982c
Kleithriasphaeridium « simplicispinum » (DAVEY
& WILLIAMS, 1966b) DAVEY, 1974
Meiourogonyaulax pertusa (DUXBURY, 1977)
BELOW, 1981
Muderongia staurota SARJEANT, 1966c
Oligosphaeridium? asterigerum (GOCHT, 1959)
DAVEY & WILLIAMS, 1969
Oligosphaeridium complex (WHITE, 1842) DAVEY
& WILLIAMS, 1966b
Pareodinia ceratophora DEFLANDRE, 1947
Phoberocysta neocomica (GOCHT, 1957)
MILLIOUD, 1969
Prolixosphaeridium parvispinum (DEFLANDRE,
1937b) DAVEY et al., 1969 (absent au Ravin du
Colas et dans le sondage de Neuchâtel)
Pseudoceratium pelliferum (GOCHT, 1957)
DORHOFER & DAVIES, 1980
Rhynchodiniopsis fimbriata (DUXBURY, 1980) JAN
DU CHÈNE et al., 1985
Spiniferites ramosus (EHRENBERG, 1838) LOEBLICH
& LOEBLICH, 1966
Subtilisphaera? terrula (DAVEY, 1974) LENTIN
& WILLIAMS, 1976 (absent au Ravin du Colas et
dans le sondage de Neuchâtel)
Surculosphaeridium sp.
Tubotuberella apatela (COOKSON & EISENACK,
1960) IOANNIDES et al., 1977 (absent au Ravin du
Colas et dans le sondage de Neuchâtel)
Wallodinium krutzschii (ALBERTI, 1961) HABIB,
1972 (absent au Ravin du Colas)
Wallodinium luna (COOKSON & EISENACK, 1960b)
LENTIN & WILLIAMS, 1973 (absent au Ravin du
Colas et dans le sondage de Neuchâtel)

3.4.2. Spores et pollens

Les spores les plus fréquentes sont essentiellement des Gleicheniacées et des Schizeacées qui sont présentes dans tous les niveaux de la coupe mais avec des pourcentages qui ne dépassent jamais 5 % du contenu palynologique. Il en est de même pour les pollens de conifères de la famille des Pinacées.

Liste alphabétique des taxons de spores et pollens rencontrés dans les échantillons de la coupe du Salève :

- Abietinaepollenites minimus* COUPER, 1958
Alisporites thomasii (COUPER) POCOCK, 1962
Appendicisporites tricornitatus (WEYLAND
& GREIF.) POTONIÉ, 1962
Cicatricosisporites hallei DELC. & SPRUM., 1955

- Classopollis classoides* PFLUG, 1953
Gleicheniidites senonicus ROSS, 1949
Staplinisporites caminus (BALME) POCOCK, 1962
Vitreisporites pallidus (REISSINGER) NILSSON, 1958

3.4.3. Associations palynologiques

L'absence d'analyses dans les niveaux calcaires gréseux intercalés dans les Marnes d'Hauterive (tableau III) rend difficile toute interprétation palynologique de la coupe du Salève. On remarque toutefois que dans les marnes inférieures (P23 à P20) situées sous le banc calcaire:

- l'espèce *Cyclonephelium distinctum* reste très abondante (50 à 70 %);
 - les pourcentages de *Cribroperidinium edwardsii* et *Oligosphaeridium? asterigerum* atteignent 20 %;
 - les pollens et les spores sont peu représentés.

De P1 à P19, dans la partie supérieure des marnes, trois associations successives semblent se développer:

- *Cyclonephelium distinctum* (50 à 70 %);
 - *Oligosphaeridium complex* (20 à 40 %);
 - *Kiokansium polypes* (20 à 30 %).
- La deuxième de P8 à P15, caractérisée par:
 - une diminution des pourcentages de *Cyclonephelium* et *Oligosphaeridium*;
 - l'abondance de l'espèce *Muderongia staurota* (20 à 25 %);
- La dernière, de P16 à P19, caractérisée par:
 - de très forts pourcentages de *Cyclonephelium* (70 %);
 - une diminution des pourcentages des espèces citées précédemment ;
 - une légère augmentation des fréquences des Gleicheniacées.

3.5. La coupe du Tunnel du Vuache (voir fig. 3 de CHAROLLAIS et al., ce vol.)

Le tableau IV figure la répartition stratigraphique des 52 espèces de dinoflagellés, des 5 espèces de spores et des 6 espèces de pollens déterminés dans les 12 échantillons prélevés régulièrement le long d'une section de 88 m de puissance.

Les deux premiers niveaux sont situés dans le Calcaire roux (Valanginien), les suivants dans les Marnes d'Hauterive (Hauterivien inférieur, Zones à Radiatus et Loryi), le dernier, à la base de la Pierre jaune qui dans cette région est datée de l'Hauterivien inférieur (Zone à Nodosoplicatum).

3.5.1. Microplancton

Le genre *Cyclonephelium* est encore très abondant dans cette coupe, avec des pourcentages variant entre 20 et 50 %. Les deux genres *Oligosphaeridium* et *Surculosphaeridium* atteignent des valeurs assez élevées, jusqu'à 15 ou parfois 25 % du contenu palynologique.

L'espèce *Cribroperidinium edwardsii* est plus représentée dans les niveaux de la base de la coupe. Il en est de même pour les espèces *Cribroperidinium? cornutum*, *Cribroperidinium sepimentum* et *Rhynchodiniopsis fimbriata*. Ces deux dernières formes atteignent respectivement 35 % à 16 m, et 25 % à 26 m. Par contre, certaines espèces sont plus abondantes dans la partie supérieure de la coupe, notamment *Spiniferites ramosus* et *Muderongia staurota*.

De nombreuses espèces sont présentes dans tous les niveaux étudiés, en particulier, *Cribroperidinium confossum*, *Kleithriasphaeridium « simplicispinum »*, *Hystrichosphaerina schindewolfii*, etc.

Certaines formes sont plus rares: *Avellodinium falsificum*, *Aprobolocysta neistosa*, *Discorsia nanna*.

Liste alphabétique des taxons de microplancton rencontrés dans la coupe du Tunnel du Vuache:

<i>Achromosphaera? neptunii</i> (EISENACK, 1958)	<i>Aptea anaphrissa</i> (SARJEANT, 1966c) SARJEANT & STOVER, 1978
DAVEY & WILLIAMS, 1966a	
Algues <i>Incertae sedis</i>	<i>Apteodinium</i> cf. <i>A. maculatum</i> EISENACK & COOKSON, 1960
<i>Aprobolocysta neistosa</i> DUXBURY, 1980 (absent au Ravin du Colas)	<i>Avellodinium falsificum</i> DUXBURY, 1980 (absent au Ravin du Colas)

COUPE DU SALEVE

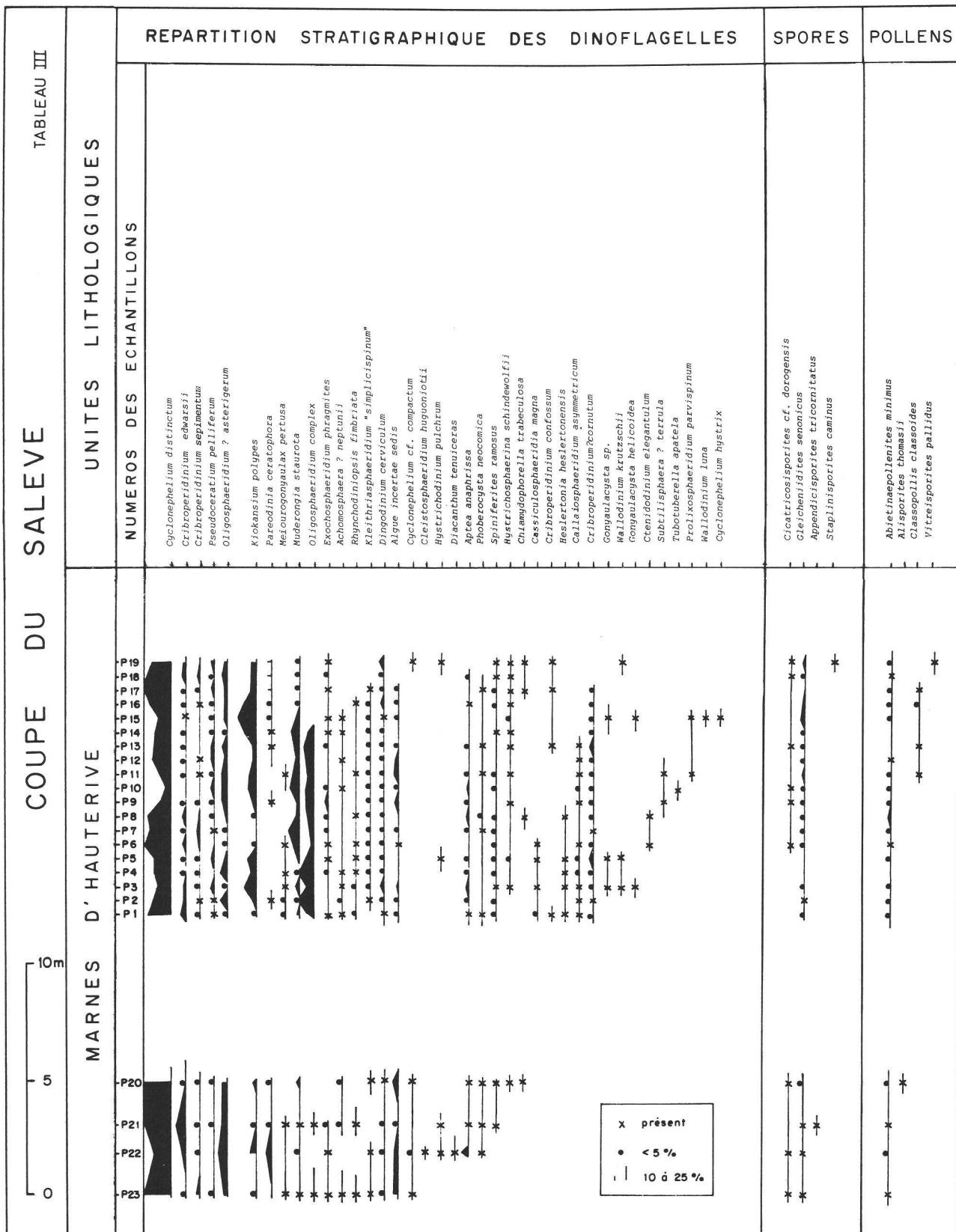


TABLEAU IV

TUNNEL DU VUACHE

TABLEAU IV

TUNNEL DU VUACHE

CALC. ROUX	MARNES D'HAUTERIVE	PIERRE JAUNE	UNITES LITHOLOGIQUES
0 2 4 10 12 16 20 26 30 36 46 58 70 78 88	4869- 5025- 5025-	4891- 4905- 4918- 4932- 4943- 4953- 4967-	COTES RELATIVES
			NUMEROS DES ECHANTILLONS
			<ul style="list-style-type: none"> - <i>Cyclonephelium distinctum</i> - <i>Oligosphaeridium complex</i> - <i>Cribroperidinium edwardsii</i> - <i>Cyclonephelium brevispinatum</i> - <i>Kleithriaspaeridium fasciatum</i> - <i>Achomosphaera ? neptunii</i> - <i>Surculosphaeridium sp.</i> - <i>Cribroperidinium pala</i> - <i>Cyclonephelium distinctum subsp. longispinatum</i> - <i>Kiokansium polypes</i> - <i>Cassiculosphaeridia magna</i> - <i>Cribroperidinium septimentum</i> - <i>Cribroperidinium tensifissimum</i> - <i>Diacanthum tenuiceras</i> - <i>Dapsilidinium multisporosum</i> - <i>Trichodinium castanea</i> - <i>Phoberocysta neocomica</i> - <i>Gonyaulacysta helicoidea</i> - <i>Rhynchodiniopsis fimbriata</i> - <i>Spiniferites ramosus</i> - <i>Muderongia staurota</i> - <i>Dingodinium cerviculum</i> - <i>Systematophora complicata</i> - <i>Cribroperidinium?cornutum</i> - <i>Meiourogongaulax pertusa</i> - <i>Avelloidinium falsificum</i> - <i>Apteodinium cf. maculatum</i> - <i>Gonyaulacysta?fastigiata</i> - <i>Chlamydophorella trabeculosa</i> - <i>Muderongia tetractantha</i> - <i>Cyclonephelium cf. compactum</i> - <i>Aprobolocysta neistosa</i> - <i>Occisucysta tentoria</i> - <i>Cassiculosphaeridia reticulata</i> - <i>Nexosispinus vetusculum</i> - <i>Kleithriaspaeridium"simplicispinum"</i> - <i>Exochosphaeridium phragmites</i> - <i>Trichodinium"ciliatum"</i> - <i>Tanyosphaeridium variecalatum</i> - <i>Pseudoceratium pelliferum</i> - <i>Cleistosphaeridium sp.</i> - <i>Hystrichosphaerina schindewolfii</i> - <i>Algue Incertae sedis</i> - <i>Cerbia tabulata</i> - <i>Hystrichodinium pulchrum</i> - <i>Callaiosphaeridium asymmetricum</i> - <i>Discorsia nanna</i> - <i>Oligosphaeridium ? asterigerum</i> - <i>Aptea anaphrissa</i> - <i>Hystrichodinium voigtii</i> - <i>Kalyptea sp.</i>
			SPORES
			<ul style="list-style-type: none"> - <i>Gleicheniidites senonicus</i> - <i>Cicatricoisporites cf. dorogensis</i> - <i>Povetritetes subtriangularis</i> - <i>Cyathidites australis</i> - <i>Staplinisporites caminus</i>
			POLLENS
			<ul style="list-style-type: none"> - <i>Abietinaepollenites minimus, microalatus</i> - <i>Classopolis classoides</i> - <i>Callialasporites dampieri</i> - <i>Podocarpidites canadensis</i> - <i>Cerebropollenites mesozoicus</i> - <i>Cedripites cretaceus</i>
<p>x présent ; + < à 5% ; 10 à 25% .</p> <p style="text-align: center;">2m</p>			

- Callaiosphaeridium asymmetricum* (DEFL. & COURTEV., 1939) DAVEY & WILLIAMS, 1966b
Cassiculosphaeridia magna DAVEY, 1974
Cassiculosphaeridia reticulata DAVEY, 1969a
Cerbia tabulata (DAVEY & VERDIER, 1974) BELOW, 1981 (absent dans les autres coupes étudiées)
Chlamydophorella trabeculosa (GOCHT, 1959) DAVEY, 1978
Cleistosphaeridium sp.
Cribroperidinium confossum (DUXBURY, 1977) HELENES, 1984
Criboperidinium? *cornutum* DAVEY, 1974
Criboperidinium edwardsii (COOKSON & EISENACK, 1958) DAVEY, 1969a
Criboperidinium sepimentum NEALE & SARJ., 1962
Criboperidinium palla (SARJEANT, 1966b) HELENES, 1984
Criboperidinium tensiflense BELOW, 1981a (absent dans les autres coupes étudiées)
Cyclonephelium brevispinatum (MILLIOUD, 1969) BELOW, 1981
Cyclonephelium cf. *C. compactum* DEFLANDRE & COOKSON, 1955
Cyclonephelium distinctum DEFLANDRE & COOKSON, 1955
Cyclonephelium distinctum longispinatum DAVEY, 1978
Dapsilidinium multispinosum (DAVEY, 1974) BUJAK et al., 1980
Diacanthum tenuiceras (EISENACK, 1958) STOVER & EVITT, 1978
Dingodinium cerviculum COOKS. & EIS., 1958
Discorsia nanna (DAVEY, 1974) DUXBURY, 1977 (absent au Ravin du Colas)
Exochosphaeridium phragmites DAVEY, et al., 1966
Gonyaulacysta? *fastigiata* DUXBURY, 1977
- Gonyaulacysta helicoidea* (EISENACK & COOKSON, 1960) SARJEANT, 1966b
Hystrichodinium pulchrum DEFLANDRE, 1935
Hystrichodinium voigtii (ALBERTI, 1961) DAVEY, 1974 (absent au Ravin du Colas)
Hystrichosphaerina schindewolfii ALBERTI, 1961
Kalyptea sp.
Kiokansium polypes (COOKSON & EISENACK, 1962b) BELOW, 1979b
Kleithriasphaeridium fasciatum (DAVEY & WILLIAMS, 1966b) DAVEY, 1974
Kleithriasphaeridium «simplicispinum» (DAVEY & WILLIAMS, 1966b) DAVEY, 1974
Meiourogonyaulax pertusa (DUXB., 1977) BEL., 1981
Muderongia staurota SARJEANT, 1966c
Muderongia tetracantha (GOCHT, 1957) ALB., 1961
Nexosispinum vetusculum (DAVEY, 1974) DAVEY, 1979b (absent au Ravin du Colas)
Occisucysta tentoria DUXBURY, 1977
Oligosphaeridium? *asterigerum* (GOCHT, 1959) DAVEY & WILLIAMS, 1969
Oligosphaeridium complex (WHITE, 1842) DAVEY & WILLIAMS, 1966b
Phoberocysta neocomica (GOCHT, 1957) MILL., 1969
Pseudoceratium pelliferum (GOCHT, 1957) DORHOFER & DAVIES, 1980
Rhynchodiniopsis fimbriata (DUXBURY, 1980) JAN DU CHÈNE et al., 1985
Spiniferites ramosus (EHRENBERG, 1838) LOEBLICH & LOEBLICH, 1966
Surculosphaeridium sp.
Systematophora complicata NEALE & SARJ., 1962
Tanyosphaeridium variecalatum DAVEY & WILLIAMS, 1966b
Trichodinium castanea (DEFLANDRE, 1935) CLARKE & VERDIER, 1967
Trichodinium «ciliatum» (GOCHT, 1959) EIS., 1964

3.5.2. Spores et pollens

Les pollens et spores ne sont pas très abondants dans cette coupe et sont représentés presque exclusivement par des pollens disaccates, des *Classopollis* et des spores de Gleicheniacées qui sont présents dans la majorité des niveaux étudiés.

Liste alphabétique des taxons de spores et pollens rencontrés dans les échantillons de la coupe du Tunnel du Vuache :

- Abietinaepollenites microalatus* POTONIÉ, 1951
Abietinaepollenites minimus COUPER, 1958
Callialasporites dampieri (BALME) SUKH DEV, 1961
Cedripites cretaceus POCOCK, 1962
Cerebropollenites mesozoicus (COUP. NILSS., 1958)
Cicatricosisporites cf. *C. dorogensis* KEVDES, 1961
- Classopollis classoides* PFLUG, 1953
Cyathidites australis COUPER, 1958
Foveotriletes subtriangularis BRENNER, 1963
Gleicheniidites senonicus ROSS, 1949
Podocarpidites canadensis POCOCK, 1962
Staplinisporites caminus (BALME) POCOCK, 1962

3.5.3. Associations palynologiques

L'abondance relative des espèces reportées sur le tableau IV permet de définir trois associations successives dans la coupe du Tunnel du Vuache:

Les deux niveaux de la base (5033 et 5035) sont caractérisés par l'abondance des espèces:

- *Cyclonephelium distinctum* (10 à 20 %);
- *Criboperidinium edwardsii* (20 %);
- *Criboperidinium palla* (10 à 15 %);
- et par la présence de pollens disaccates (10 à 20 %) et des spores de Gleicheniacées (5 %).

De 10 m (4869) à 46 m (4918), la deuxième association est caractérisée par:

- une diminution progressive de l'abondance des pourcentages des espèces *Cyclonephelium distinctum* (15 à 5 %), *Criboperidinium edwardsii* (10 à 5 %), *Criboperidinium palla* et des pollens disaccates (0 à 5 %);
- l'abondance moyenne des espèces *Cyclonephelium brevispinatum* (10 à 15 %), *Surculosphaeridium* sp., *Criboperidinium? cornutum* (5 à 15 %), *Oligosphaeridium complex* (5 à 10 %);
- l'abondance particulière de *Criboperidinium sepimentum* à 16 m (35 %) et de *Rhynchodiniopsis fimbriata* à 26 m (25 %).

De 46 m (4918) à 88 m (4967), la troisième association est caractérisée par:

- l'abondance de l'espèce *Cyclonephelium brevispinatum* (20 à 30 %) et des pollens disaccates (5 à 10 %);
- une diminution progressive de l'abondance de *Surculosphaeridium* sp.;
- une légère augmentation des fréquences des espèces *Kiokansium polypes*, *Muderongia staurota*, *Dingodinium cerviculum* qui peuvent atteindre 5 à 10 %.

4. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

4.1. Associations palynologiques

Bien que notre étude soit limitée à un intervalle de temps peu important et correspondant presque exclusivement aux Zones à Radiatus, Loryi et Nodosoplicatum de l'Hauterivien inférieur, les associations et les variations d'abondance de certaines espèces ont permis de distinguer trois subdivisions dans chacune des quatre coupes étudiées:

- une subdivision inférieure caractérisée par l'abondance des genres *Cyclonephelium* (*C. distinctum*) et *Surculosphaeridium* dans la coupe du Ravin du Colas et dans le sondage de Neuchâtel, et des genres *Cyclonephelium* et *Criboperidinium* dans les deux coupes du Salève et du Tunnel du Vuache;
- une subdivision moyenne caractérisée par l'abondance des genres *Cyclonephelium*, *Surculosphaeridium*, *Oligosphaeridium* et une augmentation des pourcentages du genre *Criboperidinium*;
- une subdivision supérieure caractérisée par l'abondance de l'espèce *Cyclonephelium brevispinatum* et par une diminution générale de l'abondance des autres espèces. Les pollens de conifères sont plus abondants dans ces niveaux supérieurs au Ravin du Colas, dans le sondage de Neuchâtel et au Tunnel du Vuache que dans les niveaux équivalents au Salève.

La distinction de ces trois associations dans chaque coupe semble traduire l'existence de variations générales dans la répartition verticale de la microflore pendant la partie basale de l'Hauterivien inférieur dans cette partie du bassin. Toutefois, les critères de définition de ces zones et les mailles d'échantillonnage adoptées sont peu favorables à leur délimitation verticale précise; aussi les limites qui ont été reconnues dans chaque coupe ne peuvent prétendre être vraiment contemporaines.

4.2. Valeur stratigraphique des espèces déterminées

Les résultats obtenus montrent que les kystes de dinoflagellés dominent qualitativement et quantitativement le contenu palynologique des Marnes d'Hauterive. Trois espèces, *Kleithriasphaeridium «simplicispinum»*, *Discorsia nanna*, et *Nexosispinum vetusculum* sont des marqueurs de l'Hauterivien inférieur en Europe du Nord (DAVEY, 1979). Dans cette région, l'Hauterivien inférieur est caractérisé par la zone d'ammonite à *Endemoceras*.

DAVEY distingue deux zones dans l'Hauterivien :

- Une zone inférieure à *Discorsia nanna* qui couvre l'Hauterivien inférieur et la partie basale de l'Hauterivien supérieur. Elle est divisée en deux sous-zones : *Kleithriasphaeridium «simplicispinum»* à la base et *Chlamydophorella trabeculosa* au sommet.
- Une zone supérieure à *Subtilisphaera? terrula*, qui caractérise l'Hauterivien supérieur et qui est divisée en sous-zone à *Canningia reticulata* (base) et sous-zone à *Nexosispinum vetusculum* (précédemment *Adnatosphaeridium vetusculum*).

Les bases de ces zones et sous-zones sont définies par l'apparition des espèces qui ont servi à les dénommer. Toutes ces espèces, sauf *Canningia reticulata* sont cependant toujours présentes au Barrémien et parfois dans des sédiments plus jeunes. *Kleithriasphaeridium «simplicispinum»* apparaît dès le Valanginien et *Nexosispinum vetusculum* dès l'Hauterivien inférieur.

Au cours de la présente étude, *Discorsia nanna* a été déterminée dans le sondage de Neuchâtel de 41,10 m à 26,80 m, et au Tunnel du Vuache, à 36 m. *Kleithriasphaeridium «simplicispinum»* est présent dans les quatre coupes, depuis leur base jusqu'à leur sommet. *Chlamydophorella trabeculosa* qui, pour DAVEY apparaît dans la partie supérieure de l'Hauterivien inférieur, n'a été trouvée qu'au Ravin du Colas. *Subtilisphaera? terrula* n'a été déterminée qu'avec doute dans les échantillons P9 et P11 de la coupe du Salève. *Nexosispinum vetusculum* est présent dans la partie moyenne du sondage de Neuchâtel (39,10 à 32,80 m) et dans deux échantillons de la base et de la partie moyenne de la coupe du Tunnel du Vuache. La zonation de DAVEY établie pour l'Europe du Nord semble donc valable pour la région étudiée. Cette zonation n'introduit pas de subdivisions pour l'Hauterivien inférieur.

Les principaux marqueurs du Crétacé inférieur des hypostratotypes du sud-est de la France (JARDINE et al., 1984) sont :

- *Meiourogonyaulax stoveri* et *Muderongia extensiva* pour la partie inférieure de l'Hauterivien, espèces absentes dans les coupes étudiées;
- *Muderongia staurota*, pour la partie supérieure de l'Hauterivien. Cette espèce est, par contre, déjà présente dans trois des coupes étudiées ici.

L'appartenance au domaine subboréal à boréal de la microflore étudiée semble, d'autre part, confirmée par les associations d'espèces recensées et déjà trouvées par DAVEY (1979) et DUXBURY (1977, 1980) en Europe du Nord-Ouest. La plupart de ces espèces y apparaissent avant l'Hauterivien, comme par exemple : *Occiscysta tentoria*, *Pseudoceratium pelliferum*, *Phoberocysta neocomica*, *Meiourogonyaulax pertusa*, *Gonyaulacysta kostromiensis*, *Avelloidinium falsificum*.

4.3. Evolution du milieu entre les coupes de la région de Neuchâtel et celles de la région du Salève

Les pourcentages des pollens par rapport au contenu palynologique total (spores + pollens + dinoflagellés) sont plus élevés dans les deux coupes de la région de Neuchâtel (Ravin du Colas et sondage de Neuchâtel : 5 à 30 %) que dans celles situées plus au sud, du Salève et du Tunnel du Vuache où ils sont fréquemment limités à 5 % et jamais supérieurs à 15 %. Les coupes de la région de Neuchâtel semblent donc témoigner d'un milieu plus littoral.

5. BIBLIOGRAPHIE

- ALBERTI, G. — (1959). Zur Kenntnis der Gattung *Deflandrea* Eisenack (Dinoflag.) in der Kreide und im Alttertiär Nord- und Mitteldeutschlands. *Mitt. geol. Staatinst. Hamburg.* 28: 93-105.
- (1961). Zur Kenntnis mesozoischer und alttertiärer Dinoflagellaten und Hystrichosphaerideen von Nord- und Mitteldeutschland sowie einigen anderen europäischen Gebieten. *Palaeontographica A*, 116: 1-58, 12 pl.
- BELLOW, R. — (1981). Dinoflagellaten-Zystem aus dem Oberen Hauterive bis Unteren Cenoman Süd-West-Marokkos. *Palaeontographica* 176: 1-45, 15 pl.
- BRENNER, G.J. — (1963). The spores and pollen of the Potomac group of Maryland. *Dept. of Geol. Mines and Water Res., Bull.* 27: 1-97, 43 pl.
- BRIDEAUX, W.W. — (1975). Taxonomic note: redefinition of the genus *Broomea* and its relationship to *Batioladinium* gen. nov. (Cretaceous). *Can. J. Bot.* 53: 1239-1243.
- (1977). Taxonomy of Upper Jurassic-Lower Cretaceous microplankton from the Richardson Mountains, District of Mackenzie, Canada. *Bull. Geol. Surv. Canada.* 281: 1-89, 16 pl.
- BRIDEAUX, W.W. & FISCHER, M.J. — (1976). Upper Jurassic-Lower Cretaceous dinoflagellate assemblages from Arctic Canada. *Bull. Geol. Surv. Canada.* 259: 1-53, 7 pl.
- COUPER, R.A. — (1958). British Mesozoic microspores and pollen grains. *Palaeontographica*, B, 103: 75-179, pl. 15-31.
- DAVEY, R.J. — (1974). Dinoflagellate cysts from the Barremian of the Speeton Clay, England. *Birbal. Sahni Inst. of Paleobotany, Spec. Publ.* 3: 41-75, 9 pl.
- (1979b). The stratigraphic distribution of dinocysts in the Portlandian (latest Jurassic) to Barremian (Early Cretaceous) of Northwest Europe. *Amer. Assoc. Strat. Palynol. Contrib.* 5B: 49-81, pl. 1-4.
- DUXBURY, S. — (1977). A palynostratigraphy of the Berriasian to Barremian of the Speeton, England. *Palaeontographica* B; 160: 17-67, pl. 1-15.
- (1979). Three new genera of dinoflagellate cysts from the Speeton Clay (Early Cretaceous) of Speeton, England. *Micropaleontology*, 25: 198-205, pl. 1-2.
- (1980). Barremian phytoplankton from Speeton, East Yorkshire. *Palaeontographica* B, 173: 85-165.
- GOCHT, H. — (1957). Mikroplankton aus dem nordwestdeutschen Neokom (Teil I). *Paläontol. Z.* 31: 163-185, pl. 18-20.
- (1959). Mikroplankton aus dem nordwestdeutschen Neokom (Teil. II). *Paläontol. Z.* 33: 50-89, pl. 3-8.
- HABIB, D. — (1973). Taxonomy, morphology and suggested phylogeny of the dinoflagellate genus *Druggidium*. *Geosci. Man.* 7: 47-55, pl. 1-3.
- (1975). Neocomian Dinoflagellate zonation in the Western North Atlantic. *Micropaleontology*, 21: 373-392, pl. 1-3.
- (1977). Comparison of lower and middle Cretaceous palynostratigraphic zonation in the Western North Atlantic: in *Stratigraphic Micropaleontology of Atlantic Basin and Borderlands*, 6: 341-367.
- (1978). Palynostratigraphy of the Lower Cretaceous section at Deep Sea Drilling Project Site 391, Blake-Bahama Basin and its correlation in the North Atlantic: *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.* 44 : 887-897.
- LENTIN, K.P. & WILLIAMS, G.L. — (1985). Fossil dinoflagellates: index to genera and species, 1985 Edition. *Bedford Inst. oceano. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences*, 60, 1-451.
- MILLIOUD, M.E. — (1969). Dinoflagellates and acritarchs from some Western European Lower Cretaceous type Localities: in BRONNIMAN, P. & RENZ, H.H. (eds.): *Proceed. First Internat. Conf. Plankt. Microfossils*, Geneva, 1967, E.J. Brill, Leiden, 2: 420-434.
- NEALE, J.W. & SARJEANT, W.A.S. — (1962). Mikroplankton from the Speeton Clay of Yorkshire. *Geol. Mag.*, 99: 439-458, pl. 19-20.
- POCOCK, S.A.J. — (1962). Microfloral analysis and age determination of strata at the Jurassic-Cretaceous boundary in the western Canada plains. *Palaeontographica* B, 111: 1-95.
- RENEVILLE, P. & RAYNAUD, J.F. DE. — (1981) Palynologie du stratotype du Barrémien. *Bull. Cent. Rech. Pau* 5, 1: 1-29.
- SARJEANT, W.A.S. — (1966a). Dinoflagellate cysts with *Gonyaulax*-type tabulation: in DAVEY, R.J., DOWNIE, C., SARJEANT, W.A.S. & WILLIAMS, G.L.: Studies on Mesozoic and Cainozoic dinoflagellate cysts. *Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.) Geol.*, Suppl. 3 : 107-156.
- (1966b). Further dinoflagellate cysts from the Speeton Clay: in DAVEY, R.J., DOWNIE, C., SARJEANT, W.A.S. & WILLIAMS, G.L.: Studies on Mesozoic and Cainozoic dinoflagellate cysts. *Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.) Geol.*, Suppl. 3: 199-214.
- SINGH, C. — (1971). Lower Cretaceous microfloras of the Peace River area, north-western Alberta. *Res. Coun. Alberta Bull.*, 28 (2): 301-542, pl. 39-80.
- STOVER, L.E. & EVITT, W.R. — (1978). Analyses of pre-Pleistocene organic-walled dinoflagellates. *Stanford Univ. Publ., Geol. Sci.* 15: 300 pp.

PLANCHE I

- 1 *Cribroperidinium edwardsii* (COOKSON & EISENACK, 1958) DAVEY, 1969a ($\times 500$).
- 2 *Cribroperidinium confossum* (DUXBURY, 1977) HELENES, 1984 ($\times 500$).
- 3 *Gonyaulacysta? fastigiata* DUXBURY, 1977 ($\times 1000$).
- 4 *Cribroperidinium? cornutum* DAVEY, 1974 ($\times 500$).
- 5 *Rhynchodiniopsis fimbriata* (DUXBURY, 1980) JAN DU CHÈNE et al., 1985 ($\times 500$).
- 6, 7 *Gonyaulacysta helicoidea* (EISENACK & COOKSON, 1960) SARJEANT, 1966b.
 - 6 Coupe optique ($\times 1000$).
 - 7 Détail de l'ornementation ($\times 1000$).
- 8, 9 *Gonyaulacysta kostromiensis* (VOZZHENNIKOVA, 1967) SARJEANT, 1969.
 - 8 Coupe optique oblique ($\times 1000$).
 - 9 Détail de l'ornementation ($\times 1000$).
- 10 *Cleistosphaeridium* sp. ($\times 1000$).
- 11 *Chlamydophorella trabeculosa* (GOCHT, 1959) DAVEY, 1978 ($\times 1000$).
- 12 *Chytroeisphaeridia ringnesiorum* (MANUM & COOKSON, 1964) MORGAN, 1980 ($\times 1000$).
- 13 *Apteodinium* cf. *A. maculatum* EISENACK & COOKSON, 1960 ($\times 1000$).

PLANCHE II

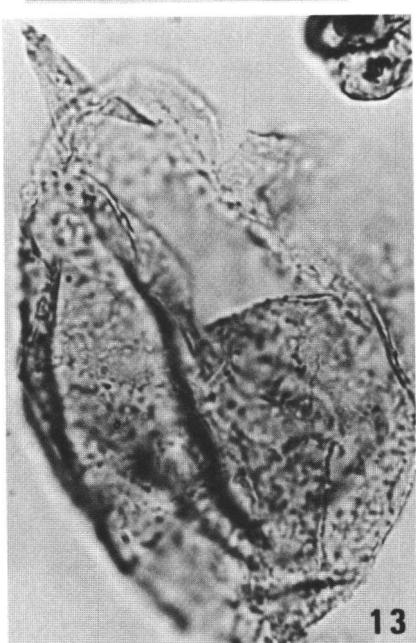
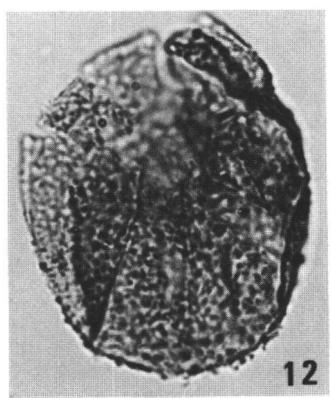
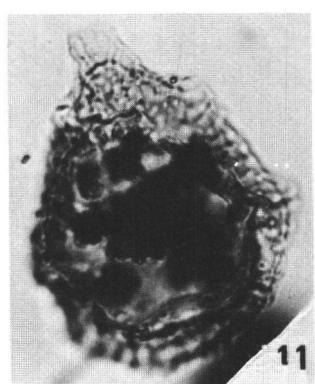
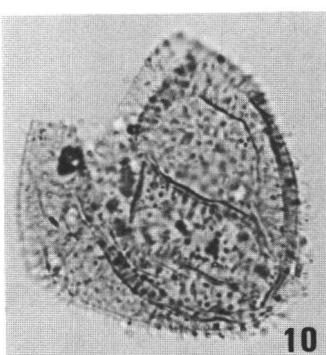
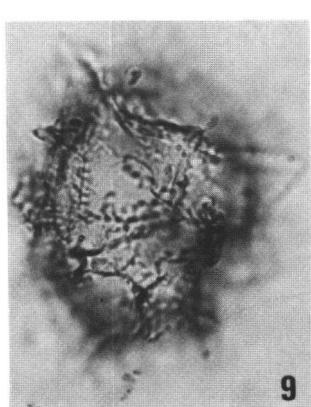
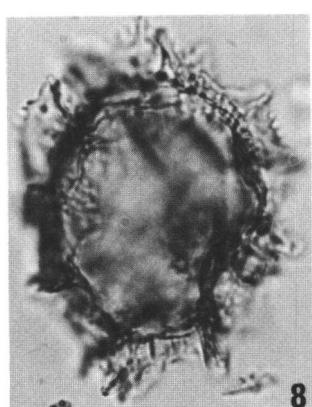
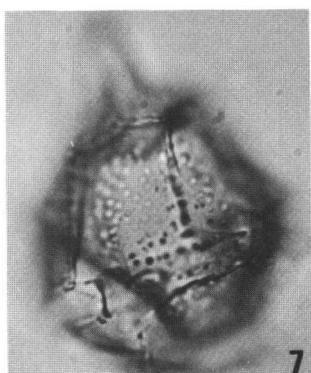
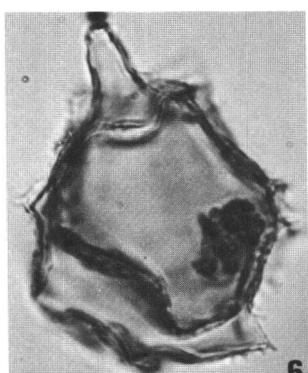
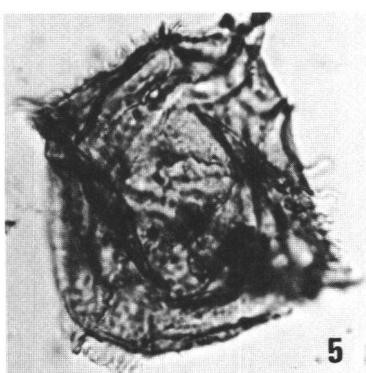
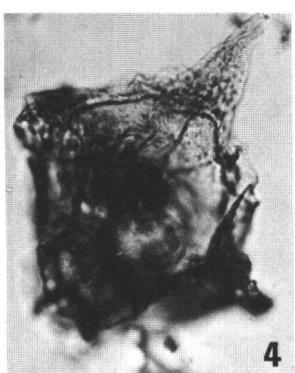
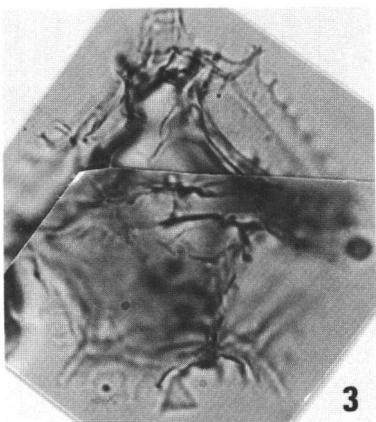
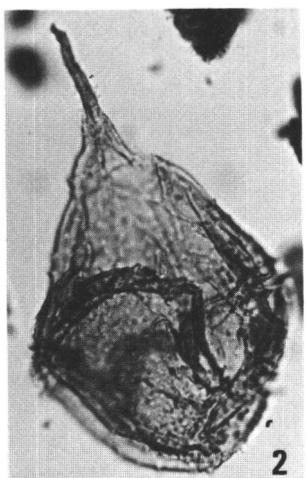
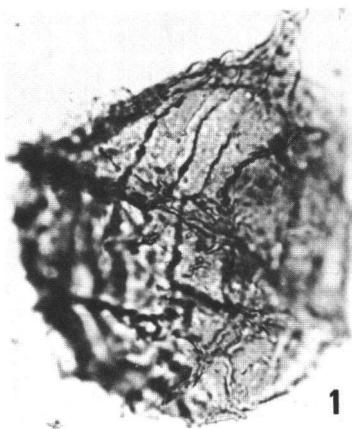
- 1 *Surculosphaeridium* sp. ($\times 1000$).
- 2 *Meiourogonyaulax pertusa* (DUXBURY, 1977) BELOW, 1981 ($\times 1000$).
- 3 *Ctenidodinium elegantulum* MILLIOUD, 1969 emend. BELOW, 1981a ($\times 1000$).
- 4 *Cassiculosphaeridia magna* DAVEY, 1974 ($\times 500$).
- 5 *Wallodinium luna* (COOKSON & EISENACK, 1960b) LENTIN & WILLIAMS, 1973 ($\times 500$).
- 6 *Kleithriasphaeridium fasciatum* (DAVEY & WILLIAMS, 1966b) DAVEY, 1974 ($\times 1000$).
- 7 *Kleithriasphaeridium corrugatum* DAVEY, 1974 ($\times 500$).
- 8, 11 *Aprobolocysta neistosa* DUXBURY, 1980 ($\times 1000$).
- 9, 10 *Discorsia nanna* (DAVEY, 1974) DUXBURY, 1977.
 - 9 Coupe optique ($\times 1000$).
 - 10 Détail des processus ($\times 1000$).

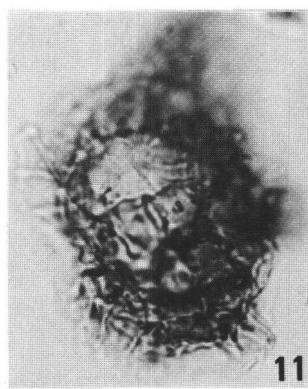
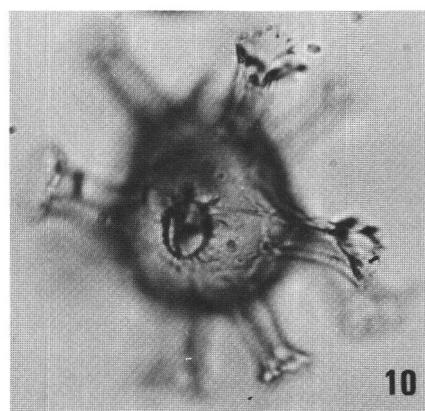
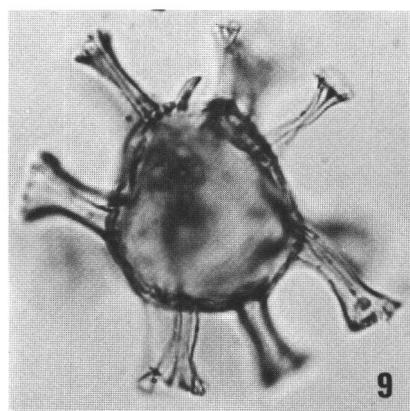
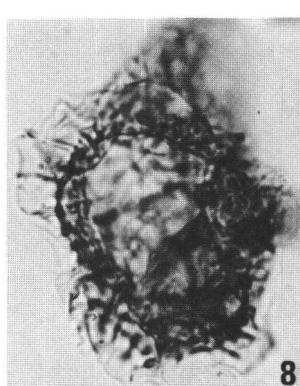
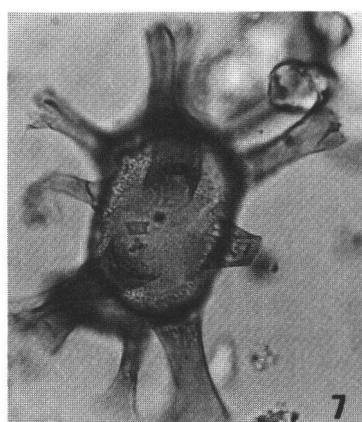
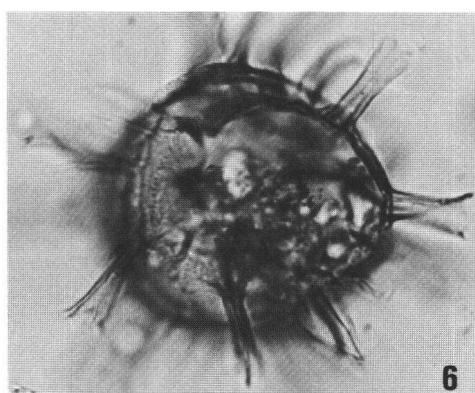
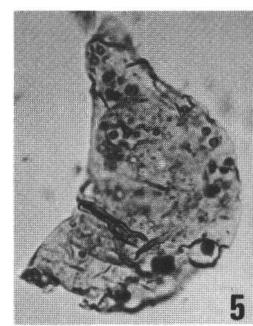
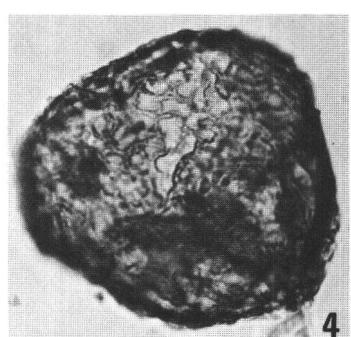
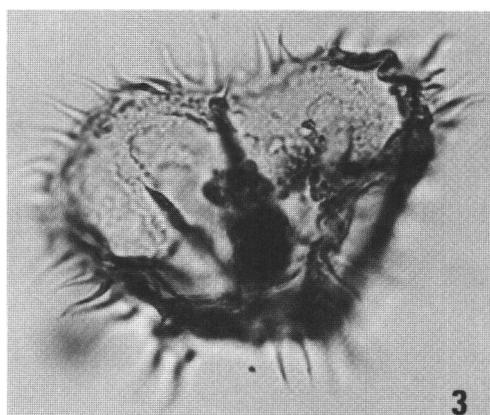
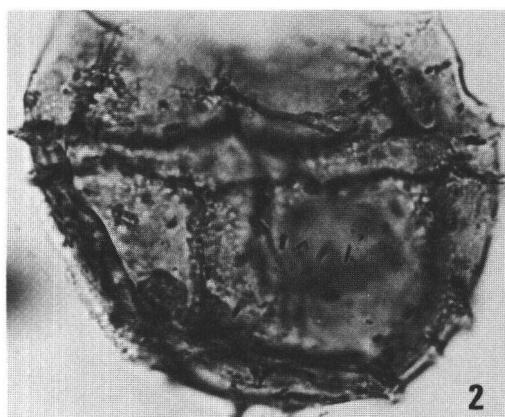
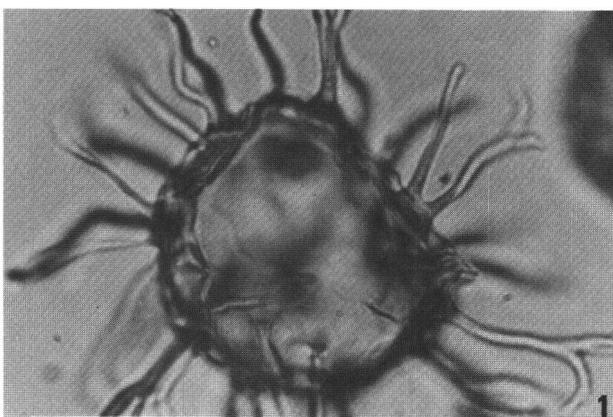
PLANCHE III

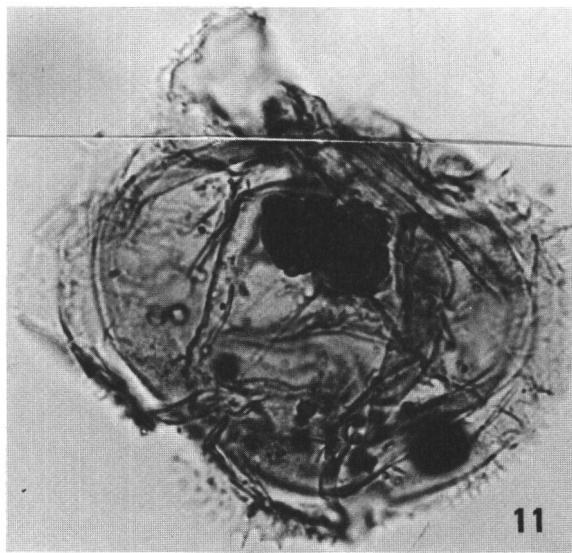
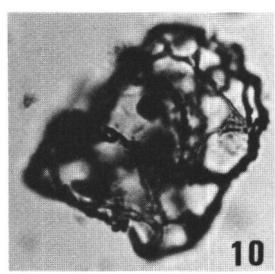
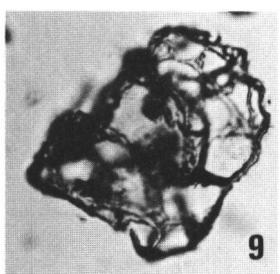
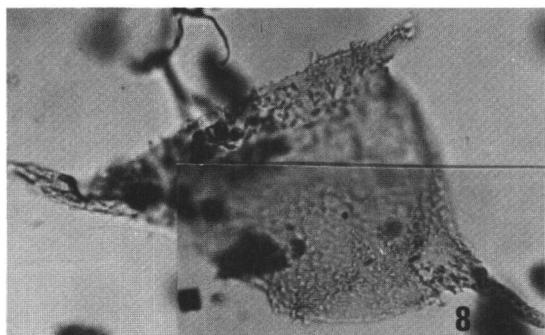
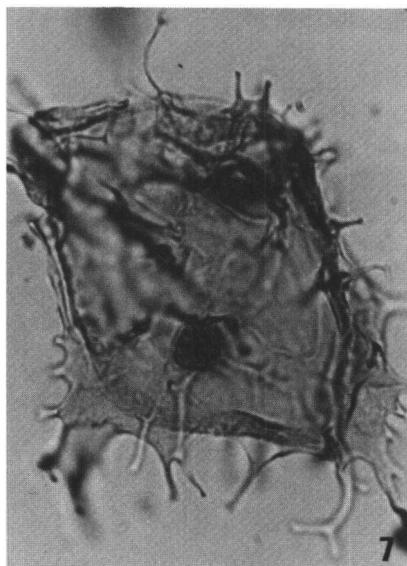
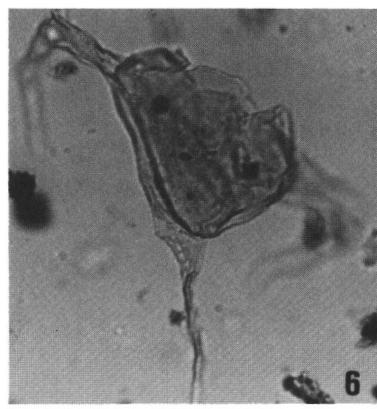
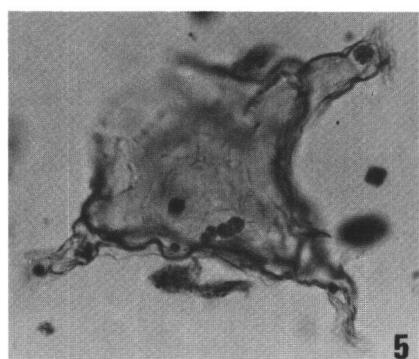
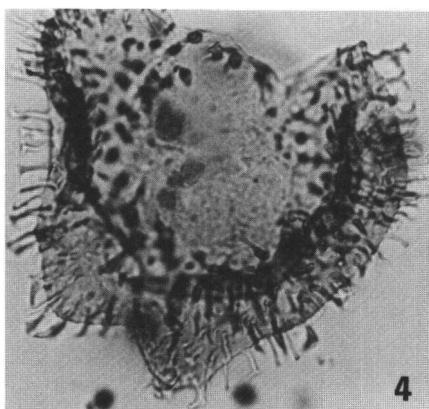
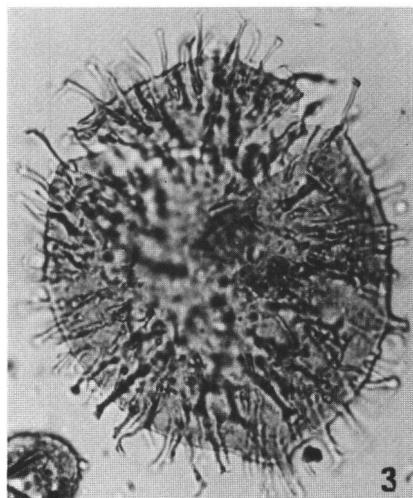
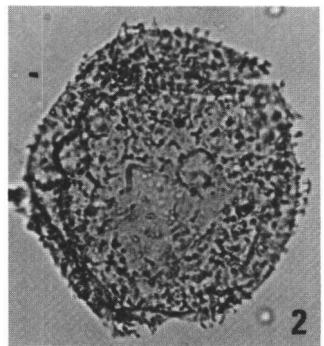
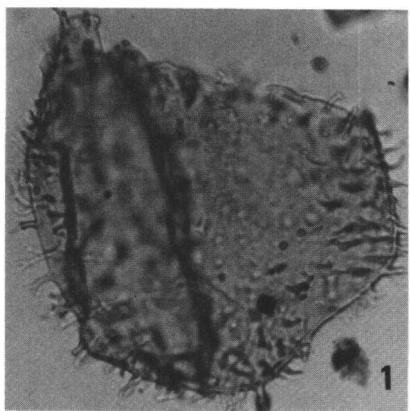
- 1 *Cyclonephelium distinctum* DEFLANDRE & COOKSON, 1955 ($\times 1000$).
- 2 *Cyclonephelium brevispinatum* (MILLIOUD, 1969) BELOW, 1981 ($\times 1000$).
- 3 *Cyclonephelium distinctum* subs. *longispinatum* DAVEY, 1978 ($\times 1000$).
- 4 *Aptea anaphrissa* (SARJEANT, 1966c) SARJEANT & STOVER, 1978 ($\times 1000$).
- 5 *Muderongia staurota* SARJEANT, 1966c ($\times 500$).
- 6 *Muderongia tetricantha* (GOCHT, 1957) ALBERTI, 1961 ($\times 500$).
- 7 *Phoberocysta neocomica* (GOCHT, 1957) MILLIOUD, 1969 ($\times 1000$).
- 8 *Pseudoceratium pelliferum* GOCHT, 1957 emend. DORHOFER & DAVIES, 1980 ($\times 500$).
- 9, 10 *Hapsocysta peridictya* (EISENACK & COOKSON, 1960) DAVEY, 1979b ($\times 500$).
- 11 *Occisucysta tentoria* DUXBURY, 1977 ($\times 1000$).

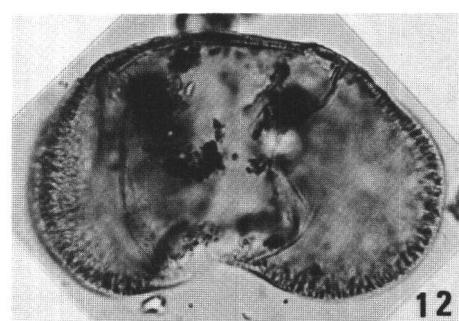
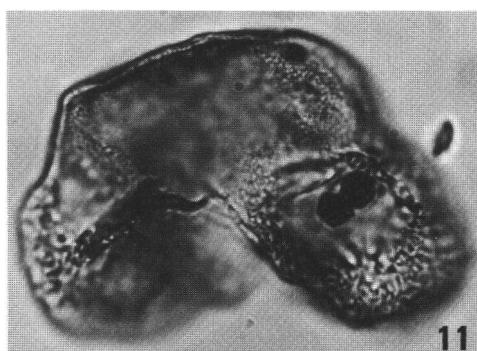
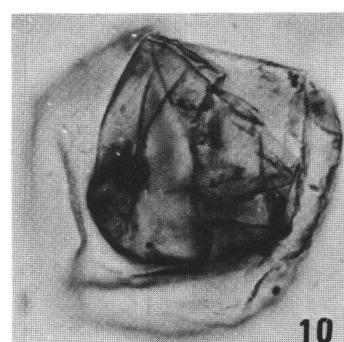
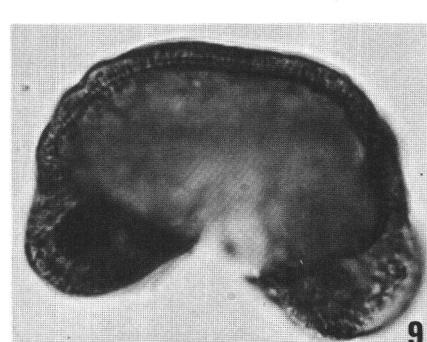
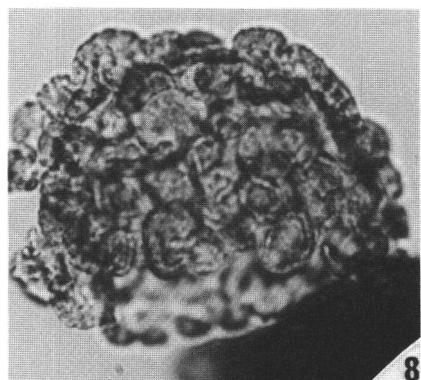
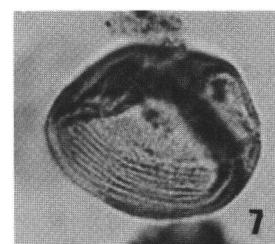
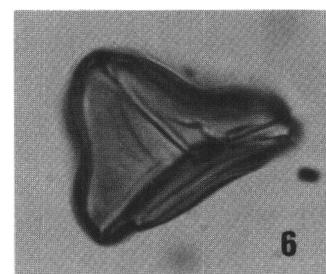
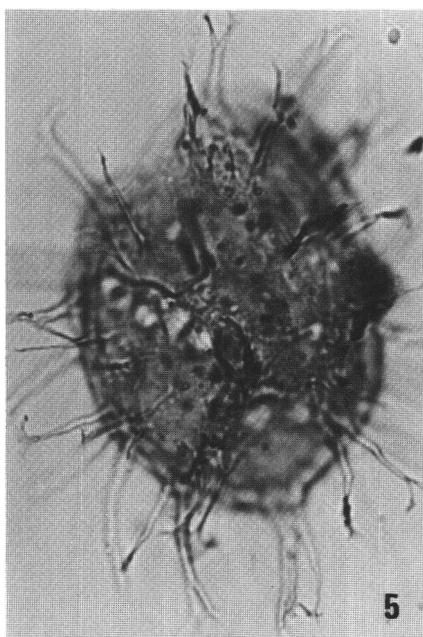
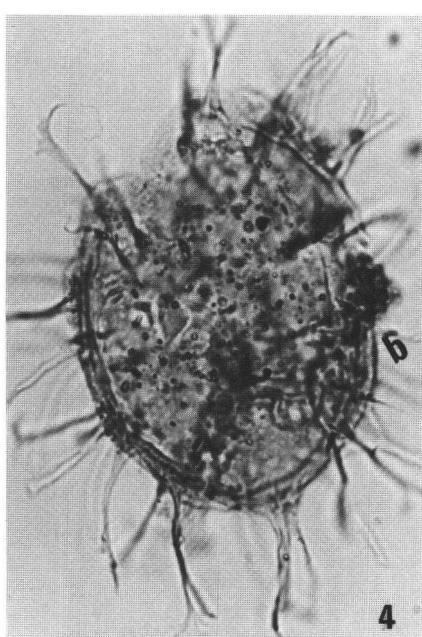
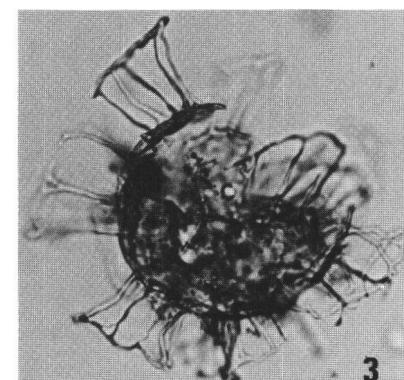
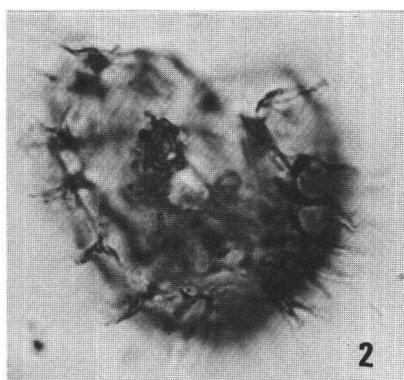
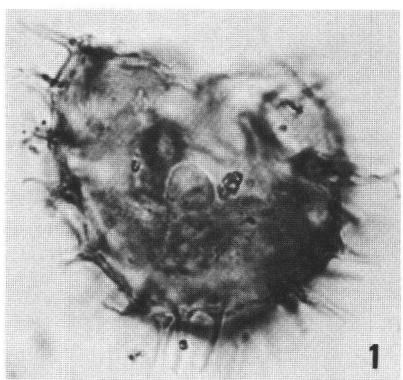
PLANCHE IV

- 1, 2 *Nexosispinum vetusculum* (DAVEY, 1974) DAVEY, 1979b.
 - 1 Coupe optique ($\times 1000$).
 - 2 Détail des processus, reliés à leur base ($\times 1000$).
- 3 *Hystrichosphaerina schindewolfii* ALBERTI, 1961 ($\times 500$).
- 4, 5 *Systematophora complicata* NEALE & SARJEANT, 1962.
 - 4 Coupe optique ($\times 1000$).
 - 5 Détail de l'attache proximale des processus ($\times 1000$)
- 6 *Gleicheniidites senonicus* ROSS, 1949 ($\times 1000$).
- 7 *Classopollis classoides* PFLUG, 1953 ($\times 1000$).
- 8 *Cerebropollenites mesozoicus* (COUPER) NILSSON, 1958 ($\times 1000$).
- 9 *Parvisaccites radiatus* COUPER, 1958 ($\times 1000$).
- 10 Algue *Incertae sedis* ($\times 1000$).
- 11 *Abietinaepollenites minimus* COUPER, 1958 ($\times 1000$).
- 12 *Cedripites cretaceus* POCOCK, 1962 ($\times 500$).









<i>Mémoires de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles</i>	Tome XI	p. 257-276, 2 fig., 2 tabl., 2 pl.	Neuchâtel, 1989
---	---------	------------------------------------	-----------------

**LES FORAMINIFÈRES BENTHIQUES
DES FORMATIONS CARBONATÉES
DE L'HAUTERIVIEN-BARRÉMIEN PRO PARTE DU JURA VAUDOIS
ET NEUCHÂTELOIS (SUISSE)**

par

A. ARNAUD-VANNEAU et J.-P. MASSE

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

ABSTRACT. — The Benthic Foraminifera study of carbonated Formations allows us to show two different associations: (1), small agglutinated Foraminifera without internal structures and Nodosariidae linked to argillaceous micritic limestones, (2); larger Foraminifera with or without internal structures and Miliolidae linked to bioclastic and oobioclastic limestones. Stratigraphically, three associations may be distinguished, the first one with *Citaella? favrei* and *Trochamminoides* sp. characterizing the Lower Formation (Pierre jaune) of the Early Hauterivian—base of the Late Hauterivian, the second one with *Trocholina odukpaniensis*, *Nezzazatinella macovei*, *Eclusia decastroi*, *Paracoskinolina sunnilandensis*, *Dictyorbitolina aff. ichnusae*, *Cribellopsid aff. elongata* and *Urgonina alpicensis protuberans* characterizing the Middle Formation («Lower Urgonian») of the Late Hauterivian, and possibly the Early Barremian, the third one with *Pfenderina globosa*, *Ecogella campiloidea*, *Trocholina sagittaria*, *Melathrokerion valserinensis* and *Paracoskinolina reicheli* characterizing the Upper Formation («Upper Urgonian») of the Barremian (possibly the Late Barremian).

RÉSUMÉ. — L'étude des Foraminifères benthiques des formations carbonatées a mis en évidence deux associations différentes : la première, constituée de petits Foraminifères à test simple agglutiné et de Nodosariidés, est présente dans les calcaires micritiques argileux ; la seconde, formée par de grands Foraminifères à test agglutiné calcaire avec ou sans structures internes, s'observe dans les calcaires bioclastiques et oobioclastiques. Stratigraphiquement, trois ensembles fauniques ont pu être distingués : le premier avec *Citaella? favrei*-*Trochamminoides* sp. dans l'ensemble inférieur (Pierre jaune) d'âge Hauterivien inférieur-Hauterivien supérieur basal (?), le second avec *Trocholina odukpaniensis*, *Nezzazatinella macovei*, *Paracoskinolina sunnilandensis*, *Dictyorbitolina aff. ichnusae*, *Eclusia decastroi*, *Cribellopsid aff. elongata* et *Urgonina alpicensis protuberans* dans l'ensemble moyen («Urgonien inférieur») d'âge Hauterivien supérieur et peut-être Barrémien inférieur, le troisième avec *Pfenderina globosa*, *Ecogella campiloidea*, *Trocholina sagittaria*, *Melathrokerion valserinensis*, *Paracoskinolina reicheli* dans l'ensemble supérieur, d'âge probablement Barrémien (Barrémien supérieur?).

1. INTRODUCTION

Les Foraminifères benthiques qui font l'objet de cet article proviennent des séries carbonatées de l'Hauterivien-Barrémien p.p. du Jura vaudois et neuchâtelois. Les coupes étudiées sont celles de la région de Neuchâtel (Serrières), Buttes, Vaulion, Eclépens, des gorges de l'Orbe, La Russille et Vallorbe (fig. 1 et coupes fig. 2).

Rappelons que les études micropaléontologiques antérieures de GUILLAUME (1966) intéressaient principalement les intercalations marneuses de la série dont il est question, ainsi que l'Urgonien supérieur. Dans les unités carbonatées inférieures, GUILLAUME avait surtout porté son attention sur les Trocholines; par ailleurs, elle avait été la première à figurer les Orbitolinidés provenant de l'Urgonien supérieur.

2. LITHOLOGIE, STRATIGRAPHIE ET PALÉOMILIEUX

Les subdivisions lithostratigraphiques de l'Hauterivien-Barrémien p.p. carbonaté sont indiquées dans le tableau 1 emprunté à CONRAD & MASSE (ce vol.). Nos observations concernent essentiellement les couches superposées aux Marnes d'Uttins.

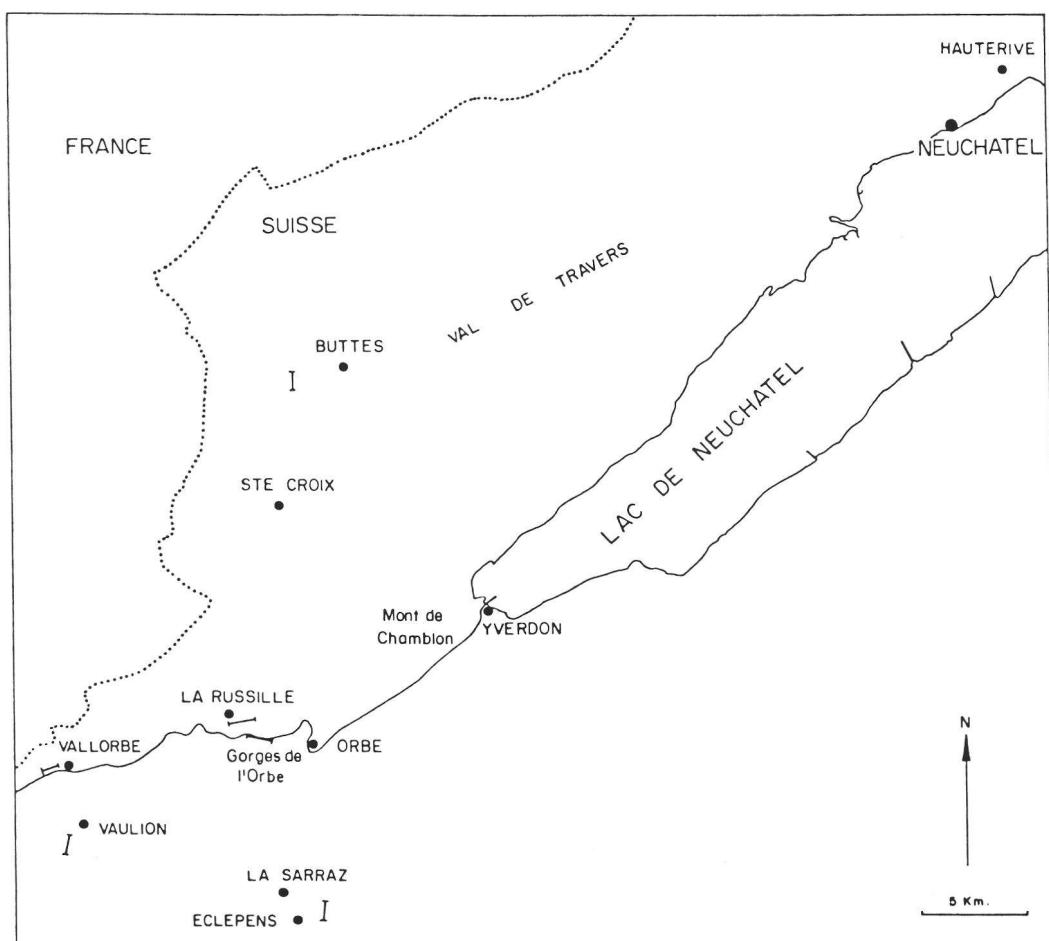


FIG. 1. — Carte de localisation des coupes.

La *Pierre jaune* est constituée de packstones/grainstones bioclastiques à débris d'échinodermes, bryozoaires et mollusques fréquemment associés à de la glauconie. Ce faciès dominant dans la région de Neuchâtel tend à s'enrichir en oolithes en direction des régions vaudoises. Les faciès bioclastiques sont essentiellement circalittoraux mais contiennent fréquemment une certaine proportion de constituants allochtones infralittoraux (Dasycladales notamment). Dans ces couches calcaires s'intercalent des niveaux micritiques, marnocalcaires ou marneux, plus ou moins bioclastiques, dont les Marnes d'Uttins sont l'expression la plus spectaculaire.

«L'*Urgonien inférieur*» est surtout caractérisé par le développement des faciès oolithiques et bioclastiques, principalement infralittoraux, qui comportent encore à différents niveaux des intercalations de faciès circalittoraux, de telle manière que dans le Jura vaudois la distinction entre *Pierre jaune* et «*Urgonien inférieur*» est souvent délicate. Le sommet est marqué par l'apparition de niveaux à cnidaires, accidentés de discontinuités accompagnées ou non d'horizons marneux dont le plus remarquable est celui qui a été identifié sous le nom de Marnes de La Russille.

Tableau 1

Unités lithostratigraphiques	Séquences	Discontinuités	Zones d'Ammonites	Age
«URGONIEN SUPÉRIEUR» p.p.	UB	—	?	BARRÉMIEN ?????????????
Marnes de La Russille	UJ	—	Sayni?	HAUTERIVIEN SUPÉRIEUR
Calcaires à coraux		— ZII		
«URGONIEN INFÉRIEUR»		—	Cruasense ou Nodosoplicatum	
Repère quartzez		—		
		δ		
Pierre jaune supérieure	P			
Marnes d'Uttins			Nodosoplicatum	HAUTERIVIEN INFÉRIEUR
Pierre jaune inférieure	H2	γ		
Marnes d'Hauterive p.p.			Radiatus p.p.	

TABLEAU 1. — Corrélation des unités lithostratigraphiques, des séquences, des discontinuités et des zones d'ammonites.

«*L'Urgonien supérieur*» (ou «*Urgonien blanc*») voit localement le développement des faciès bioclastiques à *Orbitolinidae*. Ce sont cependant surtout les faciès à rudistes (*Requieniidae*) qui le caractérisent.

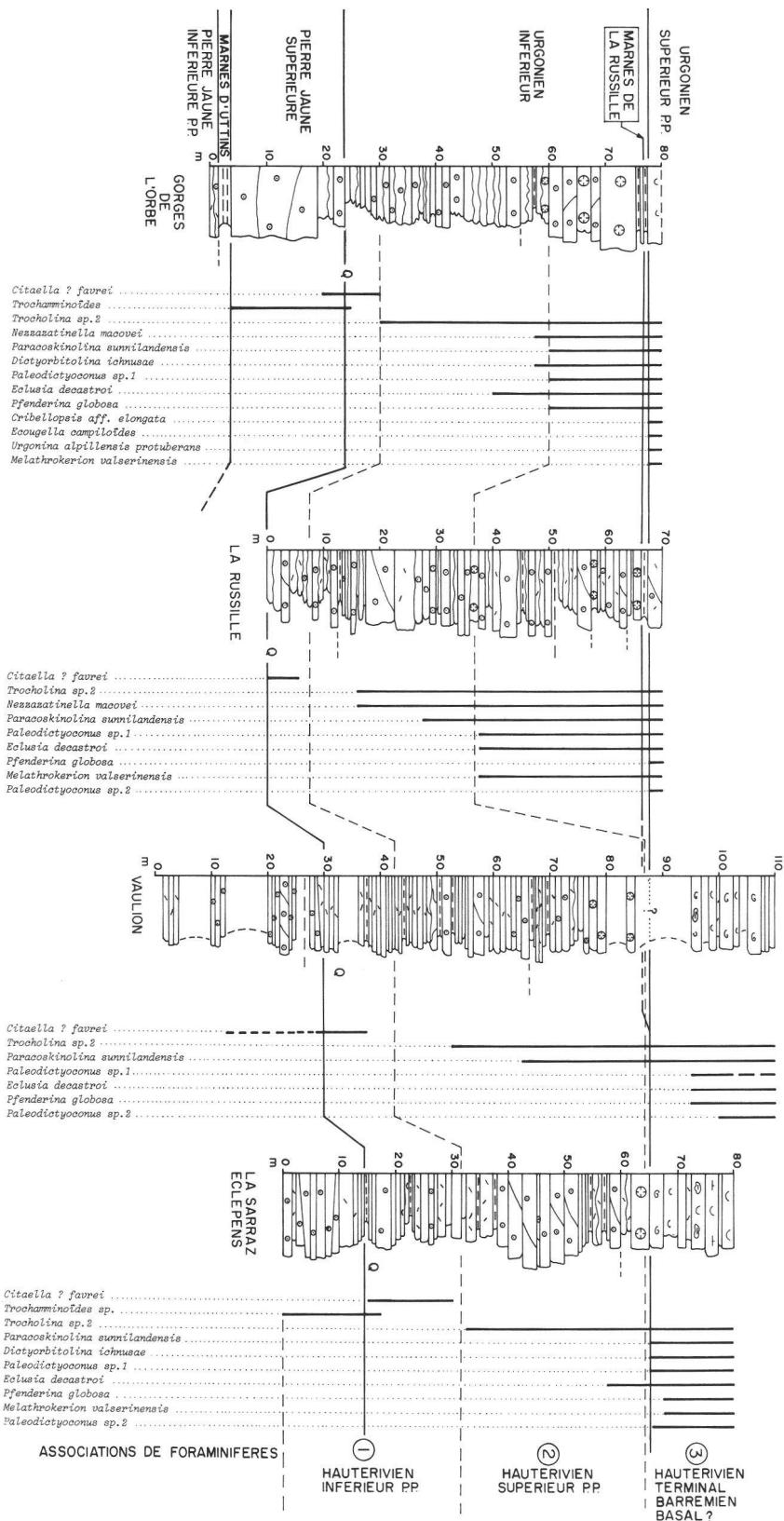


FIG. 2. — Répartition des principaux foraminifères benthiques le long des coupes des gorges de l'Orbe, de La Russille, de Vaulion et de La Sarraz-Eclépens.

La séquence générale qui correspond aux Marnes d'Hauterive, à la Pierre jaune de Neuchâtel, et à «l'Urgonien inférieur» est globalement régressive. On passe de bas en haut de faciès circalittoraux vaseux (Marnes d'Hauterive) à des faciès circalittoraux sableux (Pierre jaune), puis à des faciès essentiellement infralittoraux («Urgonien inférieur»). Cette évolution globale est marquée par de nombreuses oscillations. A partir de «l'Urgonien supérieur», les faciès infralittoraux initialement ouverts deviennent de plus en plus superficiels et tendent vers le confinement.

3. SYSTÉMATIQUE ET RÉPARTITION STRATIGRAPHIQUE

Tous les Foraminifères ont été étudiés en section. Parmi les 31 espèces identifiées, 23 seulement ont été déterminées spécifiquement. La répartition stratigraphique à l'échelle de la Téthys et la localisation précise sur les coupes du Jura neuchâtelois ont été données pour chacune de ces espèces. Enfin leurs affinités circalittorales ou infralittorales, sabulicoles ou vasicoles, ont été précisées quand ces détails pouvaient permettre une meilleure compréhension de la répartition de l'espèce.

3.1. *Ammodiscidae* REUSS 1862

3.1.1. Genre *Glomospira* RZEHAK 1885

Glomospira sp.

Dans toutes les coupes, cette espèce de petite taille a été rencontrée dans les calcaires micritiques légèrement argileux déposés dans des milieux circalittoraux. Sa répartition, seulement liée à la présence ou à l'absence de faciès de ce type, va donc de la Pierre jaune supérieure à «l'Urgonien inférieur».

3.1.2. Genre *Glomospirella* PLUMMER 1945

Glomospirella sp.

Dans toutes les coupes du Jura, cette espèce de petite taille accompagne *Glomospira* sp. dans les calcaires micritiques légèrement argileux caractéristiques des milieux circalittoraux et présente la même distribution stratigraphique.

3.1.3. Genre *Citaella* PREMOLI SILVA 1964

Citaella? *favrei* CHAROLLAIS, BRÖNNIMANN & ZANINETTI 1966 (pl. 1, fig. 24-26).

- * 1966 *Citaella?* *favrei* n. sp. - CHAROLLAIS, BRÖNNIMANN & ZANINETTI, p. 37-42; pl. 2, fig. 3-4; pl. 3, fig. 1-5; pl. 5, fig. 1-2; t. fig. 4-6.
- v 1976 *Meandrospira* sp. - MASSE, pl. 14, fig. 1.
- v 1983 *Citaella?* *favrei* CHAROLLAIS, BRÖNNIMANN & ZANINETTI-VIÉBAN, pl. 2, fig. 1-3.

Cette espèce, fréquemment associée aux deux espèces précédentes, semble avoir cependant une répartition stratigraphique plus limitée puisqu'elle n'a été observée jusqu'à présent que dans les intercalations de calcaires argileux, plus rarement dans les calcaires bioclastiques situés du sommet de la Pierre jaune supérieure à la base de «l'Urgonien inférieur». Elle est citée en Provence dans la partie inférieure de l'Hauterivien (MASSE, 1976) et en Haute-Savoie de la Zone à Radiatus à la Zone Sayni (Hauterivien inférieur et base de l'Hauterivien supérieur), (VIÉBAN, 1983). Dans la région vaudoise elle présente vraisemblablement une répartition comparable.

3.2. *Hormosinidae* HAECKEL 1894

3.2.1. Genre *Reophax* MONTFORT 1808

Reophax? *giganteus* ARNAUD-VANNEAU 1980.

- v * 1980 *Reophax?* *giganteus* n. sp. - ARNAUD-VANNEAU, p. 312-314; pl. 40. fig. 1; pl. 63, fig. 1-2; fig. 105 et 106.

Cette espèce sabulicole de très grande taille, à test constitué essentiellement par des oolithes agglutinées, semble étroitement liée aux faciès oobioclastiques dans lesquels elle est constamment présente. Connue au Barrémien et à l'Aptien dans le sud-est de la France et les chaînes subalpines, elle a été identifiée dans la Pierre jaune et dans «l'Urgonien inférieur».

3.3. *Lituolidae* DE BLAINVILLE 1825

3.3.1. Genre *Trochamminoides* CUSHMAN 1910

Trochamminoides sp. (pl. 1, fig. 10-11).

v 1983 *Trochamminoides* sp. - VIÉBAN, pl. 2, fig. 17.

Ce petit *Trochamminoides* (0,400 à 0,600 mm) a un test très fortement agglutiné constitué par de gros grains de quartz qui occultent en partie la lumière des loges. Cette petite forme rappelle l'espèce *T. obscurus* ARNAUD-VANNEAU, de plus grande taille, connue dans le Barrémien supérieur et le Bédoulien. Jusqu'à présent, *Trochamminoides* sp. a été identifié dans le Valanginien des chaînes subalpines et du Jura (ARNAUD-VANNEAU inédit) et dans l'Hauterivien inférieur de Savoie (VIÉBAN, 1983). On le trouve ici dans la Pierre jaune supérieure et à la base de «l'Urgonien inférieur».

3.3.2. Genre *Charentia* NEUMANN 1965

Charentia cuvillieri NEUMANN 1965 (pl. 1, fig. 8).

v * 1965 *Charentia cuvillieri* n. sp. - NEUMANN, pl. 2, fig. 6 à 12.

1967 *Charentia cuvillieri* NEUMANN - NEUMANN, pl. 16, fig. 2 à 4.

1977 *Charentia cuvillieri* NEUMANN - REY, BILOTTE & PEYBERNÈS, pl. 3, fig. 11-12.

v 1980 *Charentia cuvillieri* NEUMANN - ARNAUD-VANNEAU, fig. 124; pl. 50, fig. 6-7, 10, 11; pl. 76, fig. 7 à 11.

Cette espèce très rare n'a été observée qu'épisodiquement dans l'Urgonien. De plus petite taille que les formes décrites à l'origine dans le Cénomanien, elle est par contre tout à fait comparable à celles qui sont connues depuis le Berriasien moyen jusqu'au sommet du Crétacé inférieur.

3.3.3. Genre *Melathrokerion* BRÖNNIMANN & CONRAD 1966

Melathrokerion valserinensis BRÖNNIMANN & CONRAD 1966 (pl. 1, fig. 6).

* 1966 *Melathrokerion valserinensis* n. sp. - BRÖNNIMANN & CONRAD, fig. 4-11, pl. 1; pl. 2, fig. 1-2; pl. 3, fig. 1-2.

1969 *Melathrokerion praesigali* (BANNER) - CONRAD, fig. 19a.

1976 *Melathrokerion praesigali* (BANNER) - PEYBERNÈS, pl. 23, fig. 18.

v 1976 *Melathrokerion praesigali* (BANNER) - MASSE, pl. 14, fig. 22.

1978 *Melathrokerion praesigali* (BANNER) - BABIĆ & GUŠIĆ, pl. 1, fig. 12-13.

1980 *Melathrokerion valserinensis* BRÖNNIMANN & CONRAD - ARNAUD-VANNEAU, pl. 50, fig. 12-13; pl. 77, fig. 1-4; fig. 177.

Cette espèce n'a été observée jusqu'à présent que dans les couches à rudistes de «l'Urgonien inférieur». Elle est en tout point comparable à celle qui a été décrite dans le Barrémien des chaînes subalpines et du sud-est de la France.

3.3.4. Genre *Choffatella* SCHLUMBERGER 1904

Choffatella decipiens SCHLUMBERGER 1903 (pl. 1, fig. 13).

* 1904 *Choffatella decipiens* n. sp. - SCHLUMBERGER, pl. 18, fig. 1 à 6.

* 1949 *Choffatella decipiens* - SCHLUMBERGER - MAYNC, pl. 11, fig. 1 à 7, 10, 12-15; pl. 12, fig. 2-4, non 5 (= *Ch. pyrenaica*), 6, 7 et 9.

- 1970 *Choffatella decipiens* SCHLUMBERGER - FOURCADE, pl. 32, fig. 9.
? 1970 *Choffatella decipiens* SCHLUMBERGER - BANNER, pl. 4, fig. 1-5.
? 1972 *Choffatella decipiens* SCHLUMBERGER - REY, pl. XII, fig. 4.
1976 *Choffatella decipiens* SCHLUMBERGER - PEYBERNÈS, pl. 23, fig. 16.
1978 *Choffatella decipiens* SCHLUMBERGER - GARCIA-HERNANDEZ, pl. 26, fig. 13-14.
1979 *Choffatella decipiens* SCHLUMBERGER - KOVATCHEVA, pl. 1, fig. 8.
1979 *Choffatella decipiens* SCHLUMBERGER - BELLIER, DÉPÈCHE, MATTHIEU & NEUMANN, pl. 2, fig. 3, 6 et 7.
v 1980 *Choffatella decipiens* SCHLUMBERGER - ARNAUD-VANNEAU, pl. 12, fig. 6-7; pl. 49, fig. 5; fig. 183 et 184.
v 1983 *Choffatella decipiens* SCHLUMBERGER - VIÉBAN, pl. 2, fig. 11.

Cette espèce a été essentiellement observée dans des calcaires micritiques argileux en particulier dans ceux qui sont situés au sommet des couches à cnidaires de «l'Urgonien inférieur». Elle est présente en abondance dans les calcaires argileux et les marnes des plates-formes du Barrémien-Aptien inférieur dans tout le domaine téthysien.

3.3.5. Genre *Eclusia* SEPTFONTAINE 1971

Eclusia decastroi CHERCHI & SCHROEDER 1975 (pl. 1, fig. 14).

- * 1975 *Eclusia decastroi* n. sp. - CHERCHI & SCHROEDER, Texte-fig. 2; pl. 1, fig. 1-4; pl. 2, fig. 1-4; pl. 3, fig. 1-3, 5-6.
v 1976 *Eclusia* sp. MASSE, pl. 9, fig. 16.
1976 F. indéterminée proche de *Eclusia moutyi* - PEYBERNÈS, pl. 23, fig. 1-2.
v 1980 *Eclusia decastroi* CHERCHI & SCHROEDER - ARNAUD-VANNEAU, pl. 75, fig. 10.
v 1983 *Eclusia decastroi* CHERCHI & SCHROEDER - VIÉBAN, pl. 2, fig. 21.

Cette espèce a été trouvée dans «l'Urgonien», généralement au niveau des couches à rudistes. Bien que les sections soient assez mauvaises, il semble qu'il s'agisse d'une forme primitive, assez éloignée des formes beaucoup plus développées observées non seulement dans le Barrémien et l'Aptien du sud-est de la France et des chaînes subalpines mais également dans les Pyrénées et en Sardaigne. Cette espèce pourrait débuter à l'Hauterivien comme en Provence (MASSE, 1976).

3.3.6. Genre *Nautiloculina* MOHLER 1983

Nautiloculina cretacea PEYBERNÈS 1976 (pl. 1, fig. 7).

- 1959 *Nautiloculina* sp. aff. *oolithica* MOHLER - THIEULOUY, pl. 15, fig. 8.
1963 *Nautiloculina* aff. *oolithica* MOHLER - BILLARD & DELOFFRE, pl. XVIII, fig. 7-8.
1969 *Nautiloculina* sp. 1 - CONRAD, fig. 16e.
1974 *Nautiloculina* n. sp. - CANÉROT, pl. 16, fig. 12.
v * 1976 *Nautiloculina cretacea* n. sp. - PEYBERNÈS, pl. 40, fig. 15-16 (non fig. 17 à 22 = *N. bronni-manni*).
v 1976 *Nautiloculina* sp. - MASSE, pl. 9, fig. 3.
v 1978 *Nautiloculina cretacea* PEYBERNÈS - ARNAUD-VANNEAU & PEYBERNÈS, pl. 1, fig. 1-5; pl. 2, fig. 1-3.
v 1980 *Nautiloculina cretacea* PEYBERNÈS - ARNAUD-VANNEAU, fig. 120; pl. 50, fig. 1-2; pl. 76, fig. 1-3.

Cette espèce de la Pierre jaune supérieure et de «l'Urgonien», présente en petit nombre dans les calcaires oobioclastiques, devient plus abondante dans les couches à rudistes. Sa répartition est très large puisqu'elle est connue du Berriasien à l'Aptien (ARNAUD-VANNEAU & PEYBERNÈS, 1978).

Nautiloculina bronnimanni ARNAUD-VANNEAU & PEYBERNÈS 1978, (pl. 1, fig. 9).

- 1969 *Nautiloculina* sp. 1 - CONRAD, pl. IV, fig. 3.
1973 *Nautiloculina* n. sp. - MOULLADE & PEYBERNÈS, pl. 3, fig. 3-4.
1975 *Nautiloculina* sp. NEAGU, pl. 108, fig. 31-32.
v 1976 *Nautiloculina cretacea* n. sp. PEYBERNÈS, pl. 40, fig. 17-22 (non fig. 15-16).
v * 1978 *Nautiloculina bronnimanni* n. sp., ARNAUD-VANNEAU & PEYBERNÈS, pl. 1, fig. 6-8; pl. 2, fig. 4-11.
1980 *Nautiloculina cretacea* PEYBERNÈS - GARCIA-HERNANDEZ, pl. 32, fig. 15.
v 1980 *Nautiloculina bronnimanni* ARNAUD-VANNEAU & PEYBERNÈS - ARNAUD-VANNEAU, fig. 121-122; pl. 50, fig. 3-4; pl. 76, fig. 4-6.

Cette espèce assez rare n'a été observée que dans les couches à rudistes de «l'Urgonien supérieur». Cependant, elle pourrait tout aussi bien se rencontrer dans les calcaires oobioclastiques de l'Urgonien inférieur dont les faciès pourraient lui convenir. En effet, cette espèce est connue depuis le Berriasien jusqu'à l'Aptien.

3.4. *Textulariidae* EHRENCBERG 1838

3.4.1. Genre *Bolivinopsis* YAKOVLEV 1891

Bolivinopsis bernardi (CHEVALIER) 1961.

- * 1961 *Textularia bernardi* n. sp. - CHEVALIER, pl. 1, fig. 1 à 5.
1964 *Spiroplectammina magna* n. sp. - ANTONOVA & KALUGINA, pl. 4, fig. 4 a, b, c, 5 a, b, c.
1972 *Textularia* aff. *bernardi* - CHEVALIER - MAGNIEZ & RAT, pl. 1, fig. 38.
1972 *Spiroplectommina schulzei* (REUSS) - NEAGU, pl. 2, fig. 12-14.
1975 *Spiroplectommina marginotruncana* n. sp. - NEAGU, pl. 11, fig. 10-28.
v 1980 *Bolivinopsis bernardi* (CHEVALIER) - ARNAUD-VANNEAU, pl. 5, fig. 1-6; pl. 13, fig. 1-7; fig. 142.

Cette espèce, très rare, n'a été rencontrée que dans les intercalations de calcaires argileux à la limite de la Pierre jaune supérieure et de «l'Urgonien inférieur». Décrite sous des noms différents en Russie et en Roumanie, cette espèce a toujours été trouvée dans des sédiments fins à affinités circalittorales situés dans l'intervalle Hauterivien-Albien du sud de la France, d'Espagne, de Crimée et de Roumanie.

3.5. *Ecougellidae* LOEBLICH & TAPPAN 1985

3.5.1. Genre *Ecougella* ARNAUD-VANNEAU

Ecougella campiloides ARNAUD-VANNEAU 1980 (pl. 1, fig. 15-16).

- v * 1980 *Ecougella campiloides* n. sp. - ARNAUD-VANNEAU, p. 511-515; pl. 47, fig. 7-9; pl. 73, fig. 13-19; fig. 186.

Les rares sections de cette espèce ont été identifiées dans les couches à rudistes de «l'Urgonien supérieur» (Vaulion, gorges de l'Orbe); elles sont tout à fait comparables à celles qui sont connues dans le Barrémien et l'Aptien de la plate-forme subalpine et en Espagne.

3.6. *Ataxophragmiidae* SCHWAGER 1877

3.6.1. Genre *Verneuilina* D'ORBIGNY 1839

Verneuilina cf. polonica CUSHMAN & GLAZIEWSKI 1949.

- v 1980 *Verneuilina cf. polonica* - CUSHMAN & GLAZIEWSKI - ARNAUD-VANNEAU, pl. 41, fig. 6; pl. 64, fig. 2-5; fig. 149 et 150.

Cette espèce de grande taille a été observée dans les couches à rudistes de «l'Urgonien supérieur». Assez courante dans les calcaires urgoniens barrémo-aptiens de la région subalpine, elle existe en petit nombre dans les calcaires berriaso-valanginiens de cette même région.

3.6.2. Genre *Gaudryina* D'ORBIGNY 1839

Gaudryina tuchaensis ANTONOVA 1964, (pl. 1, fig. 23).

- * 1964 *Gaudryina tuchaensis* n. sp. - ANTONOVA (in ANTONOVA, SHMIGINATA, GNEDINA, KHALILOVA, pl. 6, fig. 3 à 6).
- 1972 *Dorothia kummi* (ZEDLER) - NEAGU, pl. 2, fig. 29-32; pl. 3, fig. 42-43.
- 1975 *Dorothia kummi* (ZEDLER) - NEAGU, pl. 22, fig. 14-35.
- 1977 *Marssonella kummi* (ZEDLER) - BARTENSTEIN & BOLLI, pl. 1, fig. 23-24.
- v 1980 *Gaudryina tuchaensis* ANTONOVA - ARNAUD-VANNEAU, pl. 6, fig. 1-5; pl. 13, fig. 42-47.
- v 1983 *Gaudryina tuchaensis* ANTONOVA - VIÉBAN, pl. 2, fig. 6-7.

Cette *Gaudryina* a été trouvée en petit nombre dans les intercalations de calcaires micritiques légèrement argileux déposés dans des milieux circalittoraux. Elle n'a été observée que dans celles qui sont situées à la limite de la Pierre jaune et de «l'Urgonien inférieur». Cette espèce fait son apparition au Valanginien et se poursuit jusque dans l'Aptien en montrant une légère augmentation de taille.

3.6.3. Genre *Arenobulimina* CUSHMAN 1927

Arenobulimina corniculum ARNAUD-VANNEAU 1980.

- 1969 *Arenobulimina?* sp. (gr. 2) - CONRAD, fig. 11f.
- 1975 *Arenobulimina cf. flandrini* MOULLADE - NEAGU, pl. 20, fig. 24-25.
- v * 1980 *Arenobulimina corniculum* n. sp. - ARNAUD-VANNEAU, p. 441-445; pl. 53, fig. 1-3; pl. 81, fig. 1-8; fig. 164 et 165.

Cette espèce assez rare a été trouvée uniquement dans les couches à rudistes de «l'Urgonien supérieur». Cette espèce, plus ou moins abondante, est toujours présente dans les couches à rudistes barrémiennes et aptiennes de l'Urgonien des chaînes subalpines où elle a d'ailleurs été décrite. Dans le Jura, elle est en outre connue dès le Berrasiens.

3.6.4. Genre *Nezzazatinella* DARMOIAN 1976

Nezzazatinella macovei NEAGU 1979 (pl. 1, fig. 18).

- 1969 «*Valvulammina*» sp. - CONRAD, fig. 17e, f, h.
- * 1979 *Nezzazatinella macovei* n. sp. - NEAGU, pl. 3, fig. 1-3; pl. 4, fig. 11-13; Texte-fig. 1-4, 5?
- v 1980 *Nezzazatinella macovei* NEAGU - ARNAUD-VANNEAU, pl. 52, fig. 1-4; pl. 80, fig. 1-13; fig. 169-171.
- v 1983 *Nezzazatinella macovei* NEAGU - VIÉBAN, pl. 2, fig. 16.

Quelques représentants de cette espèce ont été trouvés dans les calcaires urgoniens, précisément dans les niveaux où les débris d'origine infralittoriale sont les plus abondants.

Cette espèce est connue de l'Hauterivien à l'Aptien sur les plates-formes nord téthysiennes et italiennes.

3.6.5. Genre *Dobrogelina* NEAGU 1979

Dobrogelina cf. anastasiui NEAGU 1979 (pl. 1, fig. 19 à 22).

En dehors de la Pierre jaune supérieure où elle est absente, diverses sections attribuées à cette espèce ont été observées à différents niveaux de «l'Urgonien».

Cette espèce ressemble beaucoup à l'espèce-type décrite dans le Berriasiens de Roumanie. Cependant, en l'absence d'individus dégagés qui permettraient de reconnaître les caractères spécifiques décrits sur les échantillons roumains, aucune identification formelle ne peut être faite avec *D. anastasiui*.

3.6.6. Genre *Cuneolina* D'ORBIGNY 1839

Cuneolina laurentii SARTONI & CRESCENTI 1962 (pl. 1, fig. 17).

* 1962 *Cuneolina laurentii* n. sp. - SARTONI & CRESCENTI, p. 277-278; pl. 48, fig. 7-9; pl. 49, fig. 1-3.

Cette espèce très rare n'a été observée qu'au niveau des couches de «l'Urgonien inférieur».

En Italie, où cette espèce a été décrite, il est classiquement admis qu'elle se rencontre du Valanginien à l'Aptien.

3.7. *Pavonitinaidae* LOEBLICH & TAPPAN 1961

3.7.1. Genre *Pfenderina* HENSON 1948

Pfenderina globosa FOURY 1968 (pl. 1, fig. 12).

* 1968 *Pfenderina globosa* n. sp. - FOURY, pl. 20, fig. 9-16; fig. 7.

1969 «*Pfenderina*» sp. 1 - CONRAD, Fig. 20 a-g.

1976 *Pfenderina globosa* FOURY - PEYBERNÈS, pl. 23, fig. 7-8.

v 1976 *Pfenderina globosa* FOURY - MASSE, fig. 17, pl. 10.

1979 *Pfenderina globosa* FOURY - PEYBERNÈS, CONRAD, CUGNY, pl. 1, fig. 20.

v 1980 *Pfenderina globosa* FOURY - ARNAUD-VANNEAU, pl. 48, fig. 15-16; pl. 77, fig. 5-10.

v 1983 *Pfenderina globosa* FOURY - VIÉBAN, pl. 2, fig. 19.

Pfenderina globosa a été trouvée presque uniquement dans les couches à rudistes de «l'Urgonien supérieur» bien que quelques exemplaires aient été déjà identifiés dans les couches à cnidaires. Cette espèce, inconnue au Valanginien, est par contre assez répandue au Barrémien et à l'Aptien inférieur, dans tout le sud de la France, l'Espagne et la Sardaigne. Elle est citée dès l'Hauterivien en Provence (MASSE, 1976).

3.8. *Orbitolinidae* MARTIN 1880

3.8.1. Genre *Dictyorbitolina* CHERCHI & SCHROEDER 1975

Dictyorbitolina? aff. *ichnusae* CHERCHI & SCHROEDER, 1975 (pl. 2, fig. 1-2).

v 1980 *Dictyorbitolina?* aff. *ichnusae* CHERCHI & SCHROEDER, ARNAUD-VANNEAU, pl. 101, fig. 7-9.

v * 1983 *Dictyorbitolina ichnusae* CHERCHI & SCHROEDER - VIÉBAN, pl. 3, fig. 4-5.

Cette espèce apparaît dans les couches à cnidaires de «l'Urgonien inférieur» mais se développe surtout dans les couches à rudistes de «l'Urgonien supérieur» où elle abonde dans certains niveaux.

L'espèce décrite dans le Barrémien de Sardaigne semble tout à fait comparable à celle qui a été observée dans le Jura.

3.8.2. Genre *Paleodictyoconus* MOULLADE 1965

Paleodictyoconus sp. 1 (pl. 2, fig. 3, 4, 5).

Ce *Paleodictyoconus* est caractérisé par sa très grosse crosse excentrée, par la minceur de son plancher qui s'épaissit assez peu même dans sa partie centrale, et par ses cloisons-piliers qui déterminent un reticulum au contour flou (pl. 2, fig. 5).

Cette espèce, présente en petit nombre dans les couches à cnidaires de «l'Urgonien inférieur», devient fréquente dans les couches à rudistes de «l'Urgonien supérieur».

Paleodictyoconus sp. 2 (pl. 2, fig. 6).

Ce *Paleodictyoconus* est connu uniquement par quelques sections axiales ou subaxiales qui n'ont malheureusement pas recoupé la crosse initiale. Il s'agit d'une espèce de grande taille dont les planchers s'épaissent très vite à peu de distance de la surface du test. La zone centrale est divisée par des larges cloisons-piliers de section triangulaire.

Cette espèce n'a été observée que dans les couches à rudistes de «l'Urgonien supérieur». Il est intéressant de noter que quelques sections de celle-ci ont été également reconnues dans les échantillons du Barrémien d'Orosei (Sardaigne), aimablement communiqués par I. DIENI.

3.8.3. Genre *Paracoskinolina* MOULLADE 1965

Paracoskinolina sunnilandensis (MAYNC 1955), (pl. 2, fig. 8-9).

- * 1955 *Coskinolina sunnilandensis* n. sp. - MAYNC, pl. 16, fig. 1-2, 5-7; pl. 17, fig. 1-9.
- 1960 *Coskinolina sunnilandensis* MAYNC - MOULLADE, pl. 1, fig. 1-9.
- 1966 *Meyendorffina (Paracoskinolina) sunnilandensis* (MAYNC) - MOULLADE, pl. 10, fig. 10.
- 1969 *Dictyoconus sunnilandensis* (MAYNC) - MEHÈS, pl. IV, fig. 11.
- 1976 *Paracoskinolina sunnilandensis* (MAYNC) - PEYBERNÈS, pl. XXI, fig. 12.
- v 1976 *Dictyoconus sunnilandensis* (MAYNC) - MASSE, pl. 11, fig. 10.
- v 1980 *Paracoskinolina sunnilandensis* (MAYNC) - ARNAUD-VANNEAU, pl. 61, fig. 9; pl. 101, fig. 1-4.
- v 1983 *Paracoskinolina sunnilandensis* (MAYNC) - VIÉBAN, pl. 3, fig. 3.

Comme dans le cas précédent, les premières sections de cette espèce ont été identifiées dans la partie supérieure de «l'Urgonien inférieur», mais c'est seulement dans les couches à rudistes de «l'Urgonien supérieur» que cette espèce devient plus abondante. Ces sections de *P. sunnilandensis* sont tout à fait comparables à celles qui ont été observées du Barrémien à l'Aptien sur les plates-formes nord téthysiennes.

3.8.4. Genre *Cribellopsis* ARNAUD-VANNEAU 1980

Cribellopsis aff. *elongata* (DIENI, MASSARI & MOULLADE, 1963), (pl. 2, fig. 7).

Ce *Cribellopsis* très allongé présente une zone centrale confuse. Cette espèce, très rare, n'a été trouvée que dans les derniers bancs des couches de «l'Urgonien inférieur» de la coupe de Serrières.

Par ailleurs, elle a été reconnue dans les couches du passage Hautevivien-Barrémien du Vercors méridional. Dans ce secteur, cette espèce se rencontre dans la partie inférieure d'un ensemble de calcaires bioclastiques intercalés dans les calcaires argileux à Céphalopodes datés à la base par *Plesiospididiscus ligatus* de l'Hauterivien supérieur et au sommet par les Torcapelles du Barrémien basal (H. ARNAUD, 1981, fig. 30, p. 80). Elle débuterait donc dès l'Hauterivien terminal/Barrémien basal.

3.8.5. Genre *Urgonina* FOURY & MOULLADE 1966

Urgonina alpicensis protuberans FOURY & MOULLADE, 1966 (pl. 2, fig. 10).

- v * 1963 *Coskinolina alpicensis* n. sp. - FOURY, pl. 1, fig. 7, non 8; pl. 3, fig. 1-9.
- v 1966 *Urgonina protuberans* n. sp. - FOURY & MOULLADE, pl. 1, fig. 7-19; pl. 2, fig. 1-11.
- 1976 *Urgonina (Urgonina) protuberans* FOURY & MOULLADE - PEYBERNÈS, pl. XXI, fig. 1.
- 1976 *Urgonina protuberans* FOURY & MOULLADE - MASSE, pl. 12, fig. 20.
- v 1980 *Urgonina alpicensis protuberans* FOURY & MOULLADE - ARNAUD-VANNEAU, pl. 91, fig. 1-3.

Cette sous-espèce qui semble correspondre à la forme peu évoluée d'*Urgonina alpicensis* se rencontre en quelques exemplaires dans les derniers bancs des couches de «l'Urgonien inférieur» de Serrières, où elle accompagne *Cribellopsis* aff. *elongata*.

Elle est connue dans tout le Barrémien inférieur du sud de la France et des Pyrénées ainsi que dans les couches de passage Hautevivien-Barrémien.

3.9. *Involutinidae* BÜTSCHLI 1880

3.9.1. Genre *Trocholina* PAALZOW 1922

Trocholina sagittaria ARNAUD-VANNEAU, BOISSEAU, DARSAC 1988 (pl. 1, fig. 5).

- v 1980 *Trocholina* aff. *elongata* (LEUPOLD) - ARNAUD-VANNEAU, pl. 79, fig. 18-20.
- v * 1988 *Trocholina sagittaria* n. sp. - ARNAUD-VANNEAU, BOISSEAU, DARSAC, pl. 1, fig. 5; pl. 6, fig. 1 à 10.

Cette forme, extrêmement rare, n'a été trouvée que dans les couches à rudistes de «l'Urgonien supérieur» de la coupe de Buttes.

Trocholina odukpaniensis DESSAUVAGIE 1968 (pl. 1, fig. 3-4).

- 1963 *Trocholina* sp. 1 - GUILLAUME, 268-270; pl. 6, fig. 111-118.
- * 1968 *Trocholina odukpaniensis* n. sp. - DESSAUVAGIE, p. 64-76, pl. 1, fig. 1-4; pl. 2, fig. 3-5, 7.
- 1969 *Trocholina* cf. *friburgensis* (GUILLAUME & REICHEL) - CONRAD, p. 59, fig. 18 c-d.
- v 1976 *Trocholina aptiensis* IOCHEVA - MASSE, pl. 14, fig. 13.
- v 1976 *Trocholina* sp. - MASSE, pl. 14, fig. 14.
- v 1980 *Trocholina* sp. - ARNAUD-VANNEAU, p. 753-754; pl. 79, fig. 1-5.
- v 1988 *Trocholina odukpaniensis* DESSAUVAGIE - ARNAUD-VANNEAU, BOISSEAU, DARSAC, pl. 5, fig. 7-22.

Cette espèce, assez fréquente, est présente dans la Pierre jaune et «l'Urgonien». Dans la Pierre jaune, il s'agit essentiellement d'individus de petite taille, dans «l'Urgonien» d'individus de plus grande taille.

Cette espèce apparaît vraisemblablement au Berriasiens, reste très rare au Berriasiens et au Valanginien, et devient particulièrement abondante à l'Hauterivien et au Barrémien.

3.9.2. Genre *Neotrocholina* REICHEL 1955

Neotrocholina infragranulata (NOTH) 1951 (pl. 1, fig. 2).

- * 1951 *Trocholina infragranulata* n. sp. - NOTH, pl. 1, fig. 32.
- 1960 *Trocholina infragranulata* NOTH - CHEVALIER, pl. 7, fig. 141.
- 1975 *Trocholina infragranulata infragranulata* NOTH - NEAGU, pl. 96, fig. 1-12, 25-26, 29-30.
- v 1980 *Neotrocholina infragranulata* (NOTH) - ARNAUD-VANNEAU, pl. 8, fig. 1-5; pl. 15, fig. 29-34.

Cette petite Néotrocholine à base plate montre une face orale très indentée en raison des nombreux piliers qui l'accidentent. Sa petite taille (diamètre 0,460 à 0,600 mm) et l'ornementation de sa face orale visible en section ont permis de l'identifier à *N. infragranulata*, espèce décrite à l'aide d'exemplaires dégagés. Cette Néotrocholine a été observée dans toutes les coupes, dans tous les faciès et à tous les niveaux. Elle ne semble pas connue avec certitude au Valanginien; par contre elle a été retrouvée de l'Hauterivien au Bédoulien de l'Aquitaine à la Crimée.

Neotrocholina aff. *friburgensis* GUILLAUME & REICHEL 1957 (pl. 1, fig. 1).

- 1966 *Trocholina* sp. aff. *friburgensis* GUILLAUME & REICHEL - MOULLADE, pl. 6, fig. 1-3.
- 1978 *Neotrocholina friburgensis* GUILLAUME & REICHEL - GARCIA-HERNANDEZ, pl. 27, fig. 12.
- v 1980 *Neotrocholina* aff. *friburgensis* GUILLAUME & REICHEL - ARNAUD-VANNEAU, pl. 48, fig. 8-11; pl. 79, fig. 12-17.

Il s'agit d'une Néotrocholine de grande taille (diamètre 0,640 à 0,860 mm), à base plane ou légèrement convexe et plus large que haute. Sa taille peut atteindre le double de celle de *N. infragranulata*. En l'absence de sections suffisamment bonnes pour avoir une idée correcte de l'ornementation, il n'est pas possible de proposer une détermination spécifique précise. Par contre, ces sections sont tout à fait semblables à celles des grandes Néotrocholines du Valanginien et du Barrémien inférieur qui ont été attribuées à cette espèce. Dans les coupes du Jura, cette Néotrocholine apparaît beaucoup plus tard que *N. infragranulata* puisqu'elle n'a été mise en évidence qu'à partir du sommet des calcaires oobioclastiques de «l'Urgonien inférieur». Comme pour *Trocholina odukpaniensis* de grande taille, son apparition coïncide avec l'augmentation notable des débris d'origine infralittorale.

3.10. *Nodosariidae EHRENBERG 1838*

Genre *Lenticulina* LAMARCK 1804.

Les représentants de ce genre se rencontrent essentiellement dans les faciès circalittoraux de la Pierre jaune et de «l'Urgonien inférieur».

3.11. *Incertae Sedis*

Sabaudia minuta (HOFKER jr.) 1965.

- * 1965 *Textulariella minuta* n. sp. - HOFKER (p. 186-187); pl. 3, fig. 5-6; pl. 4, fig. 1-9.
- 1965 *Sabaudia minuta* (HOFKER) - CHAROLLAIS & BRÖNNIMANN - Texte - fig. 2f; pl. 1, fig. 5-6.
- 1966 *Textulariella minuta* HOFKER - CHIOCCHINI & DI NAPOLI-ALLIATA, pl. 1, fig. 1-6, 8; pl. 2, fig. 1-6; pl. 3, fig. 1-2?
- 1970 *Sabaudia minuta* (HOFKER) - FOURCADE, pl. 33, fig. 3.
- 1976 *Sabaudia minuta* (HOFKER) - MASSE, pl. 14, fig. 18-19.
- 1977 *Sabaudia minuta* (HOFKER) - VELIĆ, pl. 21, fig. 1-3; pl. 24, fig. 1-3; pl. 26, fig. 1-4.
- 1977 *Sabaudia minuta* (HOFKER) - DECROUEZ, fig. 1.
- * 1978 *Sabaudia minuta* (HOFKER) - BABIĆ et GUŠIĆ, pl. 2, fig. 5-7.
- 1978 *Sabaudia minuta* (HOFKER) - GARCIA-HERNANDEZ, pl. 25, fig. 12.
- 1979 *Sabaudia minuta* (HOFKER) - LUPERTO SINNI, pl. 8, fig. 11.
- v 1980 *Sabaudia minuta* (HOFKER) - ARNAUD-VANNEAU, pl. 8, fig. 15-16; pl. 16, fig. 6-13; fig. 191 et 192.

Cette espèce a été trouvée très épisodiquement dans tous les faciès des couches à cnidaires et des couches à rudistes de «l'Urgonien». Sa répartition stratigraphique est très large puisqu'elle est connue du Valanginien à l'Albien.

4. RÉPARTITION PALÉOÉCOLOGIQUE ET STRATIGRAPHIQUE

La répartition des foraminifères benthiques obéit à deux impératifs : le premier, d'ordre stratigraphique, est lié à l'évolution biologique ; le second est d'ordre écologique car ces formes sont étroitement liées notamment à la nature du substrat (vase, sable, etc.) et à l'étagement benthique (étage infralittoral ou circalittoral). Le tableau 2 rend compte de la répartition des foraminifères en fonction de ces impératifs et permet de visualiser les associations de faunes rencontrées dans les différents niveaux des coupes.

4.1. Répartition paléoécologique

Quatre types d'association ont été distingués en fonction de l'étagement benthique et de la nature du substrat.

4.1.1. Groupe des espèces vasicoles à mixticoles à affinités circalittorales

Dans cette association se rencontrent essentiellement des espèces de petite taille (*Glomospira* sp., *Glomospirella* sp., *Citaella? favrei*, *Gaudryina tuchaensis*, *Bolivinopsis bernardi*), une seule espèce de grande taille à test complexe (*Choffatella decipiens*), et d'autres espèces appartenant au groupe des Lenticulines. Toutes ces espèces s'observent dans des niveaux de marnes ou de calcaires micritiques plus ou moins argileux et sont associées à une épifaune macrobenthique à tendance sciophile (bryozoaires, spongiaires). Les petites espèces se rencontrent surtout dans les niveaux marneux ou les calcaires argileux situés à la base de la Pierre jaune supérieure, et dans les niveaux de marnes et de calcaires argileux intercalés entre la Pierre jaune et les calcaires oobioclastiques de «l'Urgonien». *Choffatella decipiens* est par contre surtout abondante dans les bancs calcaires micritiques plus ou moins argileux situés dans les couches à cnidaires et pourrait avoir une signification à la fois circalittorale et infralittorale.

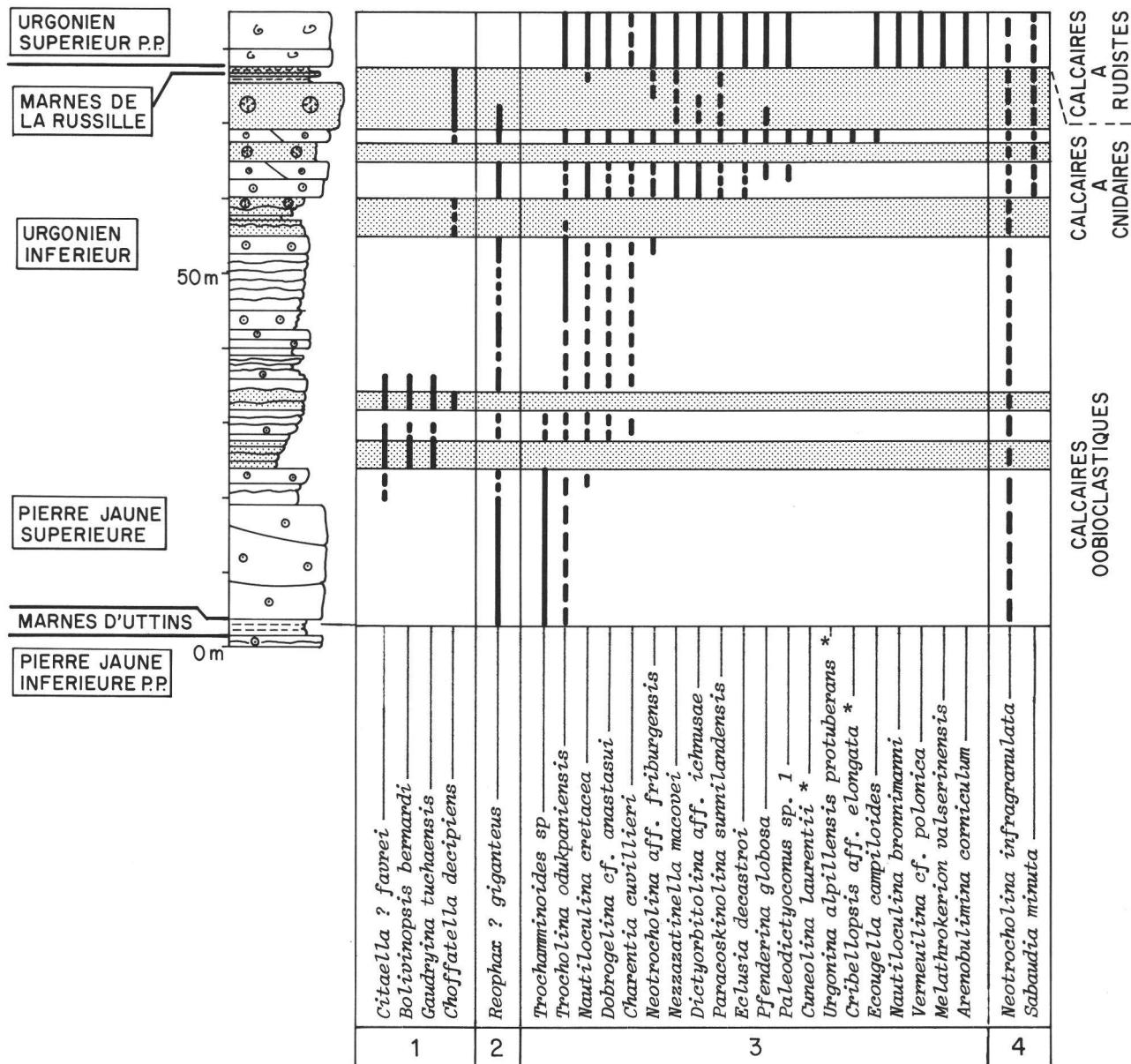


TABLEAU 2. — Répartition des principaux foraminifères benthiques dans la coupe des gorges de l'Orbe. — En blanc sont figurés les calcaires oobioclastiques (oosparites, biosparites) et à rudistes (biosparites) des milieux circalittoraux et surtout infralittoraux. En pointillé, les calcaires micritiques parfois argileux (biomicrites) des milieux circalittoraux. Les espèces de foraminifères ont été réparties en quatre groupes :

1, espèces essentiellement vasicoles à affinités circalittorales;

2, espèce sabulicole limitée aux oosparites et biosparites;

3, espèces essentiellement sabulicoles à mixticoles à affinités plutôt infralittorales;

4, espèces ubiquistes.

La répartition apparemment plus large de certaines espèces tient compte de l'existence d'un remaniement dans des biotopes adjacents.

* Espèces rencontrées seulement dans l'Urgonien inférieur de Serrières.

4.1.2. Espèces sabulicoles liées aux faciès oolithiques

Il s'agit de *Reophax? giganteus* dont le test agglutine des oolithes et qui se rencontre presque toujours dans des faciès oolithiques ou oobioclastiques.

4.1.3. Groupe des espèces sabulicoles à mixticoles montrant plutôt des affinités infralittorales

Contrairement à ceux du premier groupe, il s'agit de foraminifères d'assez grande taille qui peuvent être regroupés en deux ensembles.

- Le premier rassemble des foraminifères à test agglutiné calcaire et à structure simple comme *Trochamminoides* sp., *Dobrogelina* cf., *anastasiui*, *Nautiloculina cretacea*, *Nautiloculina bronnimanni*, *Nezzazatinella macovei*, *Verneuilina* cf. *polonica*, *Arenobulimina corniculum* ou à test hyalin comme *Trocholina odukpaniensis* et *Neotrocholina* aff. *friburgensis*. Ce premier ensemble est plus ou moins présent dans tous les niveaux des calcaires bioclastiques qui peuvent être soit infralittoraux soit circalittoraux.
- Le deuxième est constitué de foraminifères à test agglutiné calcaire montrant un test ou une structure interne plus ou moins complexe: *Orbitolinidae*, *Eclusia decastroi*, *Cuneolina laurentii*, *Pfenderina globosa*, *Melathrokerion valserinensis*, *Ecogella campiloides*. Ces foraminifères ont été observés essentiellement dans les parties sommitales des coupes. Présents dans les calcaires oobioclastiques pour autant que la proportion des bioclastes d'origine infralittorale, Dasycladales notamment, soit importante, ils deviennent plus nombreux dans les couches à cnidaires et sont encore plus fréquents dans les couches à rudistes. Ces foraminifères sont accompagnés de nombreux miliolidés.

4.1.4. Groupe des espèces ubiquistes

En fait ce groupe rassemble seulement deux espèces, *Neotrocholina infragranulata* et *Sabaudia minuta*, qui peuvent être présentes dans n'importe quel faciès de l'intervalle étudié.

4.2. Répartition stratigraphique

Quelques espèces ont une répartition stratigraphique très large qui s'étend du Valanginien au Bédoulien et parfois au-delà. Il s'agit de *Charentia cuvillieri*, *Nautiloculina cretacea*, *Nautiloculina bronnimanni*, *Gaudryina tuchaensis*, *Arenobulimina corniculum*, *Sabaudia minuta*, *Cuneolina laurentii*, *Trocholina odukpaniensis* et peut-être *Neotrocholina* aff. *friburgensis* et *Neotrocholina infragranulata*.

D'autres espèces ont une répartition plus limitée.

- 1) Certaines n'apparaissent en nombre significatif qu'à l'Hauterivien: *Choffatella decipiens*, *Trocholina sagittaria*.
- 2) D'autres ne semblent vraiment connues qu'à partir de l'Hauterivien: *Bolivinopsis bernardi*, *Reophax? giganteus*, *Nezzazatinella macovei*, *Eclusia decastroi*, *Paracoskinolina sunnilandensis*, *Dictyorbitalina?* aff. *ichnusae* et *Paleodictyoconus* sp. 1.
- 3) Certaines pourraient apparaître soit à l'Hauterivien terminal, soit au Barrémien basal, comme *Pfenderina globosa*, *Cribellopsis* aff. *elongata*, *Ecogella campiloides*, *Urgonia alpicensis protuberans*, *Melathrokerion valserinensis* et *Paleodictyoconus* sp. 2.

Enfin deux espèces seulement semblent avoir une répartition plus restreinte: *Citaella? favrei* et *Trochamminoides* sp. qui, apparues dès le Valanginien, ne semblent pas dépasser la base de l'Hauterivien supérieur dans la région étudiée. Notons qu'en Provence, *Citaella? favrei* avait déjà la même répartition.

5. CONCLUSIONS

Cette étude sur les foraminifères benthiques permet de formuler les deux conclusions suivantes.

1. Du point de vue des paléoenvironnements, les foraminifères permettent de séparer quatre groupes de faciès:

- les calcaires micritiques argileux et les marnes à tendance circalittorale renfermant une faune de petits foraminifères à test agglutiné calcaire et des *Nodosariidae*;
 - les calcaires bioclastiques et oobioclastiques renfermant une faune de foraminifères de plus grande taille dont le test ne montre pas des structures internes;
 - les calcaires bioclastiques et oobioclastiques, riches en bioclastes d'origine infralittorale, caractérisés en outre par des grands foraminifères à test agglutiné calcaire dont la structure interne devient complexe;
 - les calcaires à rudistes riches en *Miliolidae* et grands foraminifères.
2. Du point de vue stratigraphique il est possible de distinguer trois ensembles.
- *L'ensemble inférieur* qui correspond à la Pierre jaune et à la base de «l'Urgonien inférieur» est caractérisé dans les calcaires oobioclastiques par *Trochamminoides* sp. et dans les calcaires argileux par *Citaella? favrei*. Il a été daté de l'Hauterivien inférieur p.p. et peut-être de la base de l'Hauterivien supérieur.
 - *L'ensemble moyen* qui correspond essentiellement à «l'Urgonien inférieur» (partie basale exceptée) renferme *Trocholina odukpaniensis*, *Nezzazatinella macovei*, *Paracoskinolina sunnilandensis*, *Dicytorbitolina? aff. ichnusae*, *Paleodictyoconus* sp. 1, *Eclusia decastroi* et, surtout au sommet de cet ensemble, dans «l'Urgonien» de Serrières, *Cribellopsis* aff. *elongata* et *Urgonina alpillensis protuberans*. Ces deux dernières espèces sont connues à la limite Hauterivien-Barrémien et dans le Barrémien inférieur. Il serait ainsi possible d'attribuer à cet ensemble un âge Hauterivien supérieur et peut-être déjà Barrémien inférieur.
 - *L'ensemble supérieur* qui correspond à la partie basale de «l'Urgonien supérieur» est caractérisé par *Pfenderina globosa*, *Ecogella campiloides*, *Trocholina sagittaria*, *Melathrokerion valserinensis* et *Paleodictyoconus* sp. 2. Ces espèces sont bien connues au Barrémien et apparaissent vraisemblablement à l'Hauterivien. Il n'est donc pas possible d'attribuer un âge précis à cette formation sur la foi de ces seules données. Cependant la découverte par ZWEIDLER (1985) de *Paracoskinolina reicheli* à la base des calcaires à rudistes d'Eclépens permet d'être plus précis. En effet, cette espèce bien connue apparaît à la limite Barrémien inférieur-Barrémien supérieur (MASSE 1976, ARNAUD-VANNEAU 1980, MOULLADE, PEYBERNÈS, REY & SAINT-MARC 1985) et caractérise le Barrémien supérieur et la base de l'Aptien inférieur. Sa présence dès la base de cette formation permet donc de la dater du Barrémien, probablement même du Barrémien supérieur.

6. BIBLIOGRAPHIE

- ANTONOVA, Z. A., SHMIGINATA, T. A., GNEDINA, A. G. & KHALIOVA — (1964). Foraminiferi neocomia i apta Mejtureciaia. *Trudy Krasnodarsk Fil. Vses. Neftegaz nol. in. ta. Vyp*, Moscow, 12: 3-72, 14 pl.
- ARNAUD, H. — (1981). De la plate-forme urgonienne au bassin vocontien: le Barrémio-Bédoulien des Alpes occidentales entre Isère et Bœch (Vercors méridional, Diois oriental et Dévoluy). *Géologie Alpine*, Grenoble, mem. 12, 3 v: 804 p., 297 fig., 115 pl.
- ARNAUD-VANNEAU, A. — (1980). Micropaléontologie, paléoécologie et sédimentologie d'une plate-forme carbonatée de la marge passive de la Téthys. L'Urgonien du Vercors septentrional et de la Chartreuse (Alpes occidentales). *Géologie Alpine*, Grenoble, mém. 11, 3 v: 874 p., 254 fig., 115 pl.
- ARNAUD-VANNEAU, A., BOISSEAU, T. & DARSAC, C. — (1988). Le genre *Trocholina* Paalzow 1922 et ses principales espèces au Crétacé. Revue de Paléobiologie, vol. spéc. N° 2, Genève, p. 353-377, 8 fig., 6 pl.
- ARNAUD-VANNEAU, A. & PEYBERNÈS, B. — (1978). Les représentants éocrétacés du genre *Nautiloculina* Mohler, 1938 (Foraminifera, fam. Lituolidae?) dans les chaînes subalpines septentrionales (Vercors) et les Pyrénées franco-espagnoles. Révision de *Nautiloculina cretacea* Peybernès 1976 et description de *Nautiloculina bronnimanni* n. sp. *Géobios*, Lyon 11, 1: 67-81, 5 fig., 2 pl.
- BRÖNNIMANN, P. & CONRAD, M. A. — (1966). Cinquième note sur les Foraminifères du Crétacé inférieur de la région genevoise. «*Melathrokerion valserinensis*» n. gen., n. sp., un Foraminifère nouveau du Barrémien à faciès urgonien dans le Jura français. *C. R. Scéances S.P.H.N.*, Genève, N. Ser., 1, 3: 129-151.
- CHAROLLAIS, J., BRÖNNIMANN, P. & ZANINETTI, L. — (1966). Troisième note sur les Foraminifères du crétacé inférieur de la région genevoise. Remarques stratigraphiques et description de *Pseudotextulariella salevensis* n. sp., *Haplophragmoides joukowskyi* n. sp., *Citaella? favrei* n. sp. *Arch. Sci. Genève* 19, 1: 23-48.

- CHERCHI, A. & SCHROEDER, T. — (1975). *Dictyorbitolina ichnusae* n. gen., n. sp. (Foram.) del Barremiano della Sardegna Nord-occidentale. *Boll. Soc. Paleont. Ital.*, Modena 14, 1: 47-54, tav. 2, 4 fig.
- CHEVALIER, J. — (1961). Quelques nouvelles espèces de Foraminifères dans le Crétacé inférieur méditerranéen. *Rev. Micropal.*, Paris 4, 1: 30-36, 1 pl.
- CONRAD, M. A. — (1969). Les calcaires urgoniens de la région entourant Genève. *Ecl. géol. helv.* Bâle 62, 1: 1-79, 7 pl.
- 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. neuchât. Sci. nat.* 11: 307-322, Neuchâtel.
- FOURY G. — (1963). Deux espèces nouvelles d'Orbitolinidae du facies urgonien des Alpilles (Bouches du Rhône). *Rev. Micropal.*, Paris, vol. 6, N° 1, p. 3-12.
- (1968). Le Crétacé inférieur des Alpilles. Contribution à l'étude stratigraphique et micropaléontologique. *Géobios*, Lyon 1: 119-164, 12 fig., pl. 18-20.
- FOURY, G. & MOULLADE, M. — (1966). Orbitolinidae nouveaux du Barrémien (Faciès urgonien) des Alpilles (Bouches du Rhône). *Rev. Micropal.* Paris 8, 4: 249-257.
- GUILLAUME, S. — (1963). Les Trocholines du Crétacé inférieur du Jura. *Rev. Micropal.* Paris 5, 4: 257-276.
- (1966). Le Crétacé du Jura français. *Bull. B.R.G.M.*, Paris 15: 217 p., 94 fig., 6 pl.
- HOFKER, J. Jr. — (1965). Some foraminifera from the Aptian-Albian passage of northern Spain. *Leids geol. med.*, Leiden, 33: 183-189.
- LEUPOLD, W. & BIGLER, H. — (1935). *Coscinoconus*, eine neue Foraminiferenform aus Tithon-Unterkreide. Gesteinen der helvetischen Zone. *Ecl. geol. Helv.*, Bâle 28, 2: 606-624, pl. XVIII.
- MASSE, J.-P. — (1976). Les calcaires urgoniens de Provence, Valanginien - Aptien inférieur. Stratigraphie, paléontologie, les paléoenvironnements et leur évolution. *Thèse de doctorat d'Etat*, Université d'Aix-Marseille II, U.E.R. Sci de la mer et de l'environnement, Marseille, 445 p., 125 fig., 60 pl., 11 tabl.
- MAYNC, W. — (1955). *Coskinolina sunnilandensis* n. sp., a lower cretaceous (Urgo-Albian) species. *Contr. Cushman Fds. Forma. Res.*, Washington 6, 3: 105-111, pl. 16-17.
- MOULLADE, M., PEYBERNÈS, B., REY, J. & SAINT-MARC, P. — (1985). Biostratigraphic interest and paleobiogeographic distribution of Early and Mid-Cretaceous Mesogean Orbitolinids (Foraminiferida). *Jour. Foram. Res.*, Washington, vol. 15, N° 3, p. 149-158, pl. 1-2.
- NEAGU, T. — (1975). Monographie de la faune des Foraminifères éocrétacés du couloir de Dîmbovicioara, de Codlea et des Monts Persani (couches des Carhaga). *Mem. Inst. Geol. Geoph.*, Bucarest, XXV: 141 p., 110 pl.
- (1979). Données nouvelles concernant les représentants de la famille des *Pfenderinidae* de l'Eocrétacé de la Dobrogea méridionale (Roumanie). *Rev. Esp. Micropaléont.*, Madrid, XI, 3: 479-504, 4 pl., 7 fig.
- NEUMANN, M. — (1965). Contribution à l'étude de quelques Lituolidés du Cénomanien de l'Île Madame (Charente-Maritime). *Rev. Micropal.*, Paris 8, 2: 90-95, 2 pl.
- NOTH, R. — (1951). Foraminiferen aus unter und oberkreide des österreichischen Anteils an Flysch, helvetikum und vorland vorkommen. *Jb. geol. Bundesanst. Sonderband* 3, Wien: 91 p., 9 pl.
- PEYBERNÈS, B. — (1976). Le Jurassique et le Crétacé inférieur des Pyrénées franco-espagnoles entre la Garonne et la Méditerranée. *Thèse de doctorat ès Sciences naturelles*, Toulouse: 459 p., 149 fig., XLII pl.
- SARTONI, S. & CRESCENTI, U. — (1960-1961). Ricerche biostratigrafiche nel Mezozoico dell'Apennino Meridionale. *Giornale di Geologia*, Bologna XXIX, Ser. 2a: 162-304.
- SCHLUMBERGER, Ch. — (1904). Note sur le genre *Choffatella* n. gen. *Bull. Soc. France*, Paris, série 4, 4: 763-764, pl. XVIII.
- VIÉBAN, F. — (1983). Installation et évolution de la plate-forme urgonienne (Hauterivien à Bédoulien) du Jura méridional aux chaînes subalpines (Ain, Savoie, Haute-Savoie). *Thèse 3^e Cycle*, Grenoble, 293 p., 136 fig.
- VIÉBAN, F., ARNAUD-VANNEAU, A., ARNAUD, H. & THIEULOY, J.-P. — (1982). Coupures sédimentologiques et stratigraphiques de l'Hauterivien inférieur entre le Jura méridional et les massifs subalpins septentrionaux. 9^e R.A.S.T., Paris: p. 621.
- ZWEIDLER, D. — (1985). Genèse des gisements d'asphalte des formations de la Pierre Jaune de Neuchâtel et des Calcaires Urgoniens du Jura. (Jura neuchâtelois et nord-vaudois, Suisse). *Thèse Université de Neuchâtel*, 107 p., 72 fig., 7 pl.

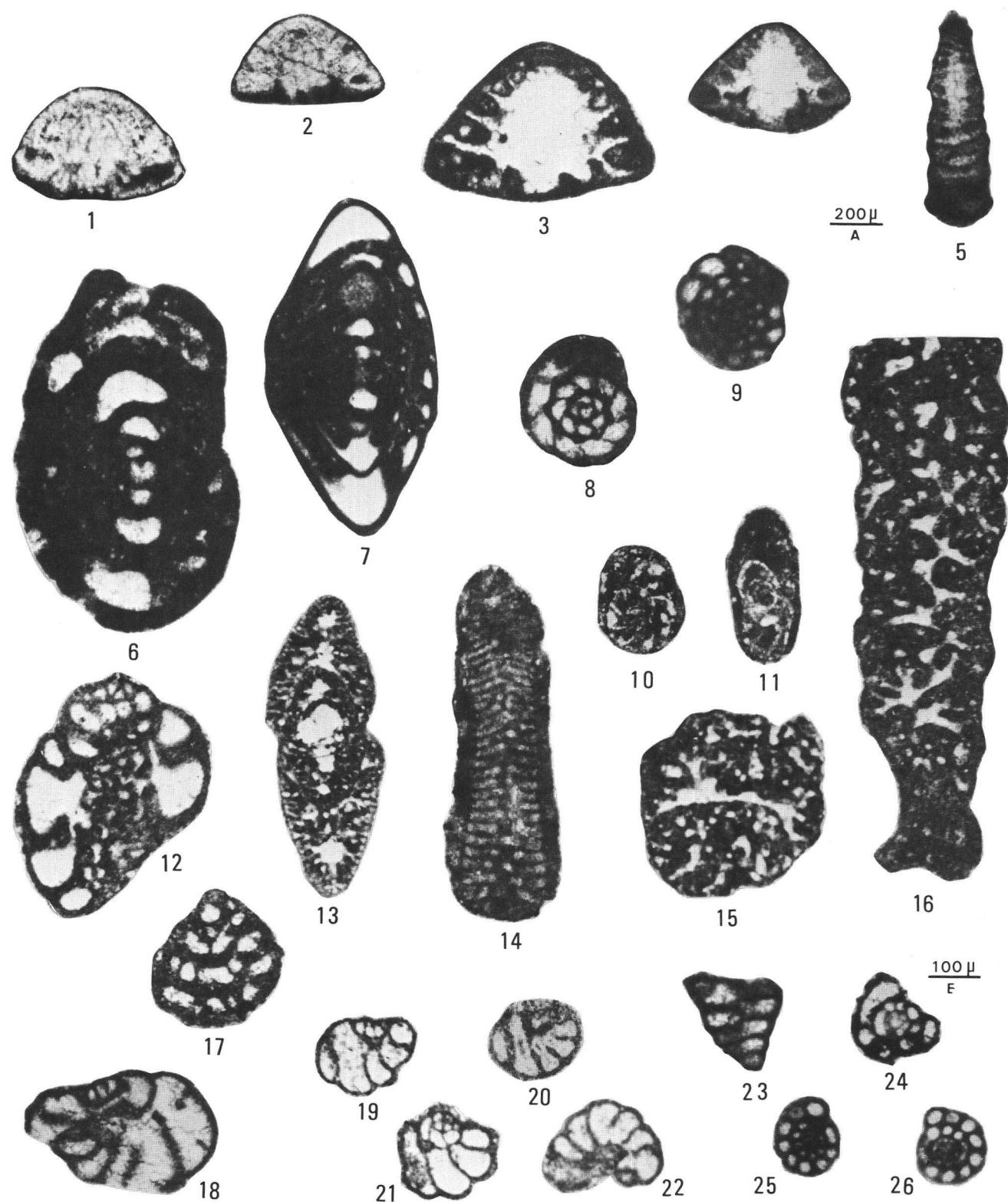
PLANCHE I

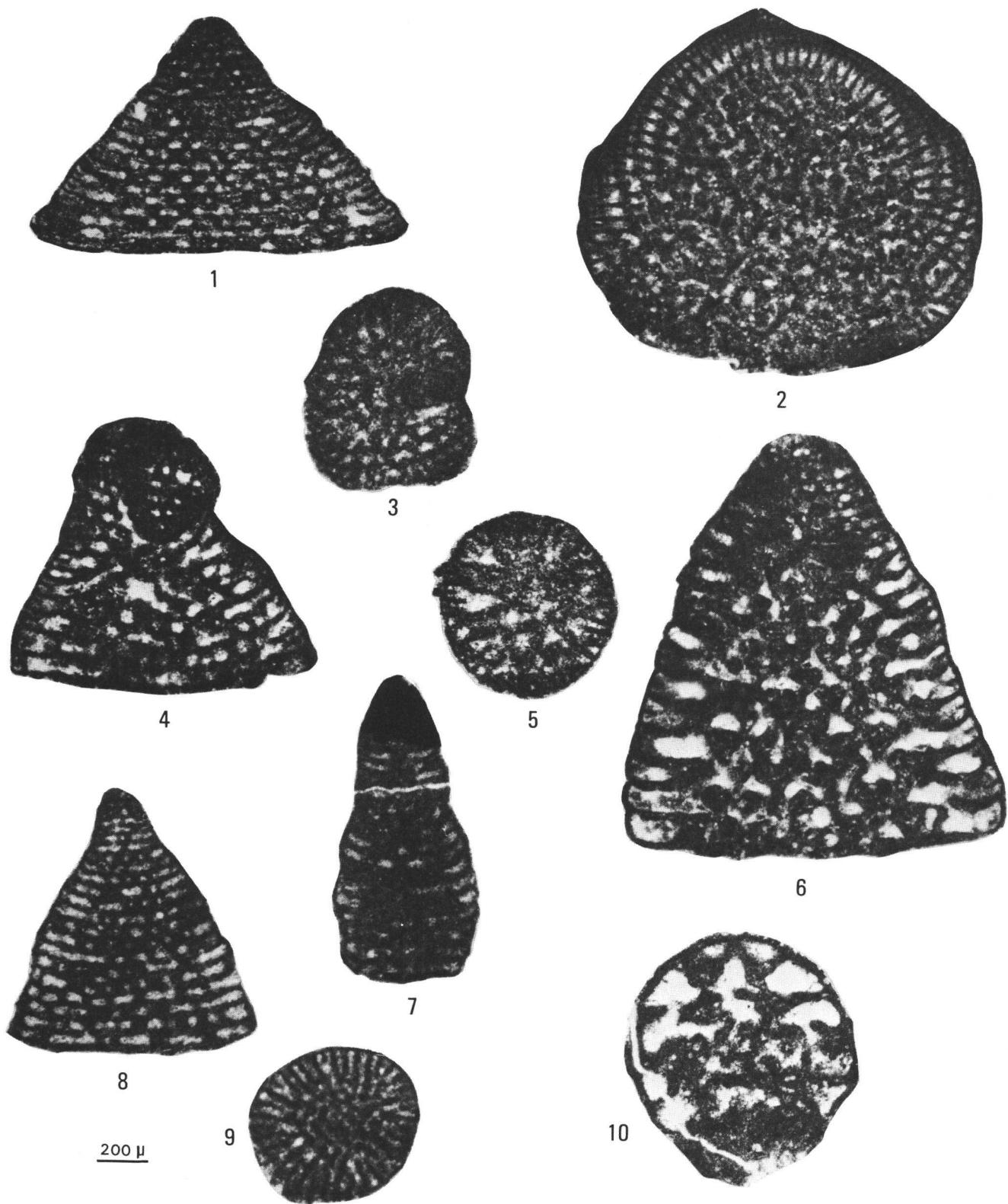
- 1 *Neotrocholina aff. friburgensis* — GUILLAUME & REICHEL — Section subaxiale — A 534, couches à cnidaires — Gorges de l'Orbe.
- 2 *Neotrocholina infragranulata* (NOTH) — Section axiale — 7074, couches à cnidaires — Gorges de l'Orbe.
- 3 *Trocholina odukpaniensis* DESSAUVACIE — Grands individus — Section subaxiale — 7179, couches à cnidaires et couches à rudistes — Vaulion.
- 4 *Trocholina odukpaniensis* DESSAUVACIE — Petits individus — Section subaxiale — 7073, couches à cnidaires — La Sarraz.
- 5 *Trocholina sagittaria* ARNAUD-VANNEAU, BOISSEAU & DARSAC — Section subaxiale — 631, couches à rudistes — Buttes.
- 6 *Melathrokerion valserinensis* BRÖNNIMANN & CONRAD — Section subaxiale A 540, couches à rudistes — Gorges de l'Orbe.
- 7 *Nautiloculina cretacea* PEYBERNÈS — Section subaxiale légèrement oblique — 7153, calcaires oobioclastiques — Vaulion.
- 8 *Charentia cuvillieri* NEUMANN — Section transverse équatoriale — A 545, calcaires oobioclastiques — Gorges de l'Orbe.
- 9 *Nautiloculina bronnimanni* ARNAUD-VANNEAU & PEYBERNÈS — Section transverse équatoriale — 7117, couches à rudistes — Vaulion.
- 10 *Trochamminoides* sp. — Section transverse subéquatoriale — 7041, base des calcaires oobioclastiques — La Sarraz.
- 11 *Trochamminoides* sp. — Section subaxiale — 7040, base des calcaires oobioclastiques — La Sarraz.
- 12 *Pfenderina globosa* FOURY — Section subaxiale — 173 E, couches de «l'Urgonien inférieur» — Serrières.
- 13 *Choffatella decipiens* SCHLUMBERGER — Section axiale — A 167, couches à cnidaires — Gare de Vallorbe.
- 14 *Eclusia decastroi* CHERCHI & SCHROEDER — Section transverse — 5977, couches à cnidaires — Gare de Vallorbe.
- 15 *Ecogella campiloïdes* ARNAUD-VANNEAU — Section transverse de la partie déroulée — 174 C, couches de «l'Urgonien inférieur» — Serrières.
- 16 *Ecogella campiloïdes* ARNAUD-VANNEAU — Section subaxiale sagittale dans la partie déroulée, 174 C, couches de «l'Urgonien inférieur» — Serrières.
- 17 *Cuneolina laurentii* SARTONI & CRESCENTI — Section axiale frontale — 172 D, couches de «l'Urgonien inférieur» — Serrières.
- 18 *Nezzazatinella macovei* NEAGU — Section axiale oblique — 7082, couches de «l'Urgonien inférieur» — Serrières.
- 19 *Dobrogelina cf. anastasiui* NEAGU — Section subaxiale — 173 D, couches de «l'Urgonien inférieur» — Serrières.
- 20 *Dobrogelina cf. anastasiui* NEAGU — Section subaxiale — 173 D, couches à rudistes — La Sarraz.
- 21 *Dobrogelina cf. anastasiui* NEAGU — Section transverse de la face dorsale — 173 E, couches de «l'Urgonien inférieur» — Serrières.
- 22 *Dobrogelina cf. anastasiui* NEAGU — Section transverse de la face ventrale — 173 C, couches de «l'Urgonien inférieur» — Serrières.
- 23 *Gaudryina tuchaensis* ANTONOVA — Section subaxiale sagittale — A 524, calcaires oobioclastiques — Gorges de l'Orbe.
- 24 *Citaella? favrei* CHAROLLAIS, BRÖNNIMANN & ZANINETTI — Section transverse — 7048, calcaires oobioclastiques — La Sarraz.
- 25 *Citaella? favrei* CHAROLLAIS, BRÖNNIMANN & ZANINETTI — Section transverse — 7059, calcaires oobioclastiques — La Sarraz.
- 26 *Citaella? favrei* CHAROLLAIS, BRÖNNIMANN & ZANINETTI — Section transverse — 7059, calcaires oobioclastiques — La Sarraz.

N.B. — Les numéros correspondent aux numéros d'échantillons de CONRAD, MASSE & REMANE.

PLANCHE II

- 1 *Dictyorbitolina? aff. ichnusae* CHERCHI & SCHROEDER — Section subaxiale — 7080, couches à rudistes — La Sarraz.
- 2 *Dictyorbitolina? aff. ichnusae* CHERCHI & SCHROEDER — Section transverse — MP 617, couches de «l'Urgonien inférieur» — Serrières.
- 3 *Paleodictyoconus* sp. 1 — Section subaxiale recouvrant une partie de la crosse — 7080, couches à rudistes — La Sarraz.
- 4 *Paleodictyoconus* sp. 1 — Section subaxiale passant dans la crosse — 6500, route d'Orbe à Vallorbe.
- 5 *Paleodictyoconus* sp. 1 — Section transverse légèrement oblique — A — 172, couches à rudistes — Gare de Vallorbe.
- 6 *Paleodictyoconus* sp. 2 — Section subaxiale — 7178, couches à rudistes — Vaulion.
- 7 *Cribellopsis* aff. *elongata* (DIENI, MASSARI & MOULLADE) — Section subaxiale — MP 172 F, couches de «l'Urgonien inférieur» — Serrières.
- 8 *Paracoskinolina sunnilandensis* (MAYNC) — Section subaxiale — MP 172 F, couches de «l'Urgonien inférieur» — Serrières.
- 9 *Paracoskinolina sunnilandensis* (MAYNC) — Section transverse — 5697, couches à cnidaires — Gare de Vallorbe.
- 10 *Urgonina alpicensis protuberans* MOULLADE — Section transverse oblique — MP 174 E, couches de «l'Urgonien inférieur» — Serrières.





Mémoires de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles	Tome XI	p. 277-290, 1 fig., 1 tabl., 2 pl.	Neuchâtel, 1989
--	---------	------------------------------------	-----------------

LES ALGUES CALCAIRES DES FORMATIONS CARBONATÉES DE L'HAUTERIVIEN-BARRÉMIEN PRO PARTE DU JURA VAUDOIS ET NEUCHÂTELOIS (SUISSE)

par

Marc A. CONRAD et Jean-Pierre MASSE

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

ABSTRACT. — Algal content of Hauterivian limestones was investigated in north-west Switzerland and nearby France. The 90 meters thick sequence displays an upward shoaling trend with open marine environments ranging from deeper subtidal to shallow subtidal and reefal. A total of 12 species of Dasycladales and six species belonging to other groups of algae have been found within an interval ranging from the Early Hauterivian (*L. nodosoplicatum* Zone) to the probable Late Hauterivian. Abundance and variety of the algal assemblage gradually increase towards the top of the sequence, suggesting facies control and taxonomic renewal as well. Three assemblages of Dasycladales were found:

- Assemblage A1 consists of two species, *Dissocladella hauteriviana* and *Pseudoactinoporella fragilis*; it covers approximately part of the younger Early Hauterivian.
- Assemblage A2 includes the seven following species: *D. hauteriviana*, *P. fragilis*, *Likanella?* aff. *danilovae*, *Salpingoporella genevensis*, *Neomeris* cf. *cretacea*, *Montenegrella* cf. *corbarica*, *Angioporella neocomiensis*, n. sp.; it covers approximately part of the early and part of the Late Hauterivian.
- Assemblage A3 includes eleven species: same species as in A2, plus *Salpingoporella melitae*, *Salpingoporella muehlbergii*, *Heteroporella?* *paucicalarea* and *Montiella?* *elitzae*; the age is Hauterivian, probably Late Hauterivian.

No Valanginian species of Dasycladales was found in the Hauterivian. On the other hand, three Hauterivian species are also found in the Barremian.

1. INTRODUCTION

Les Algues calcaires (Dasycladales, Gymnocodiacees, Corallinacées et formes d'affinités taxonomiques incertaines) qui font l'objet de cet article proviennent des séries carbonatées de l'Hauterivien-Barrémien pro parte. Elles ont été étudiées dans le Jura du nord-ouest vaudois principalement (Eclépens, Vaulion, La Russille, gorges de l'Orbe et Vallorbe), ainsi que dans le Jura neuchâtelois (Buttes et Serrières) et franc-comtois (Gellin/Rochejean, Oye-et-Pallet). Les observations stratigraphiques faites dans le nord-ouest vaudois sont brièvement évoquées ci-dessous. Pour plus de détails, le lecteur est prié de se référer aux articles suivants parus dans le même volume: REMANE et al. pour la région neuchâteloise, CONRAD & MASSE pour le nord-ouest vaudois, MASSE, CONRAD & REMANE pour le Jura franc-comtois (calcaires à *Pachytraga*).

Les séries carbonatées dont il est question n'avaient pas jusqu'ici fait l'objet d'études micropaléontologiques détaillées concernant les Algues calcaires. On connaissait seulement la présence des genres *Acicularia* et *Clypeina*, mentionnés par GUILLAUME (1966) dans le Jura franc-comtois.

2. LITHOLOGIE, STRATIGRAPHIE ET PALÉOMILIEUX

Les subdivisions lithostratigraphiques et biostratigraphiques de la série dans le nord-ouest vaudois sont indiquées dans le tableau 1. Nos observations concernent les couches superposées aux Marnes d'Uttins. Sous ces marnes, la Pierre jaune inférieure est formée de calcaires glauconieux bioclastiques, circalittoraux, pratiquement dépourvus d'Algues calcaires.

La Pierre jaune supérieure est essentiellement formée de grainstones bioclastiques et oolithiques, riches en débris d'Echinodermes, Mollusques et Bryozoaires. La glauconie est rare. Les faciès bioclastiques sont surtout circalittoraux, mais comportent habituellement une certaine proportion de constituants allochtones infralittoraux (Dasycladales notamment).

«L'Urgonien inférieur» également oolithique et bioclastique, est marqué par une nette augmentation du matériel infralittoral. La glauconie est absente. On observe toutefois des récurrences cycliques de faciès

Unités lithostratigraphiques	Séquences et discontinuités	Ammonites de zone	Age	Associations de Dasycladales
URGONIEN SUPERIEUR (BLANC) P. P.	UB		BARREMIEN	
Couches à Cnidaires et Marne de La Russille	ε		HAUTERIVIEN (SUPERIEUR?)	A3
URGONIEN INFERIEUR (JAUNE) P. P.	UJ			A2
Repère quartzeux	δ			A1
PIERRE JAUNE DE NEUCHATEL	Pj	nodosoplicatum	HAUTERIVIEN INFÉRIEUR	
Marnes d'Uttins	η			
P. j. inférieure		radiatus		
MARNES D'HAUTERIVE P. P.	H2			

TABLEAU 1. — Subdivisions lithostratigraphiques et biostratigraphiques dans l'Hauterivien et le Barrémien pro parte du nord-ouest vaudois. Voir aussi REMANE et al., ce volume.

essentiellement circalittoraux. «L'Urgonien inférieur» est couronné par des calcaires à Cnidaires, accidentés de discontinuités et de marnes, au nombre desquelles on trouve la Marne de La Russille rendue célèbre par JACCARD (1869) et les paléontologues qui en ont étudié sa riche faune d'invertébrés.

Les calcaires blancs de «l'Urgonien supérieur» voient localement le développement de faciès bioclastiques à *Orbitolinidae*. Ce sont cependant surtout des faciès à Rudistes (*Requieniidae*) qui le caractérisent.

La séquence générale correspondant aux Marnes d'Hauterive, à la Pierre jaune de Neuchâtel et à «l'Urgonien inférieur» est globalement régressive: on passe de faciès circalittoraux vaseux (Marnes d'Hauterive) à des faciès circalittoraux sableux (Pierre jaune), puis à des faciès infralittoraux de milieu ouvert (Urgonien inférieur). Cette évolution est marquée par de nombreuses oscillations, visibles surtout dans «l'Urgonien inférieur». Dès la base de «l'Urgonien supérieur», les faciès infralittoraux initialement ouverts deviennent de plus en plus superficiels et tendent au confinement.

3. SYSTÉMATIQUE ET RÉPARTITION STRATIGRAPHIQUE

3.1. Classe Chlorophyceae KUTZING, 1843

3.1.1. Ordre Dasycladales PASCHER, 1931

3.1.1.1. Famille Dasycladaceae KUTZING, 1843

Genre *Angioporella* MASSE, CONRAD & RADOIČIĆ, 1973, emend.

La découverte d'*Angioporella neocomiensis*, n. sp. dans l'Hauterivien, nous incite à émender la diagnose du genre, dont les caractères essentiels sont l'alternance de verticilles stériles et fertiles, ces derniers étant en petit nombre, et l'absence d'ampoules fertiles dans la partie apicale du thalle. Les autres critères précédemment retenus, tels que la forme des ampoules et des rameaux (enveloppants ou non), la présence des ramules secondaires sur les ampoules, et les différences de calcification, doivent être considérées comme relevant du niveau spécifique. La diagnose émendée donnée ci-dessus est basée sur les espèces *A. fouryae* et *A. neocomiensis*, n. sp.

Emendation du genre Angioporella

Thalle simple, fortement calcifié. Siphon axial cylindrique pourvu ou non d'étranglements aux points d'insertion des rameaux stériles, porteur de verticilles alternativement fertiles et stériles. Les rameaux stériles sont nombreux, minces et flexueux; ils sont fortement recourbés à la périphérie du thalle au point d'envelopper les verticilles fertiles intercalaires. Les ampoules fertiles sont peu nombreuses, et peuvent donner naissance à de minces ramules secondaires. Les rameaux stériles peuvent être seuls présents dans la partie apicale du thalle, avec un espace interverticillaire réduit. Le manchon calcaire peut être simple ou différencié au niveau des ampoules, étant formé soit de sparite claire (composition initialement aragonitique), soit encore de calcite brunâtre.

Angioporella neocomiensis, n. sp.; pl. I, fig. 1 à 9

Holotype

L'holotype est illustré par la pl. I, fig. 1.

La lame mince porte l'indication MP 617 (6) et est déposée dans les collections de l'Institut de géologie de l'Université de Neuchâtel. Les paratypes (pl. I, fig. 4-6, 9) sont au nombre de quatre et proviennent du niveau-type.

Niveau-type

Les types de *Angioporella neocomiensis* n. sp. proviennent de la coupe dite de «la Brunette» à Serrières, près de Neuchâtel (REMANE et al., ce vol.). En face des Fabriques de Tabac Réunies S.A. «La Brunette» (coord. 558,92/203,45, carte nationale de la Suisse au 1: 25 000, feuille Neuchâtel), un banc (le niveau-type) de calcaire bioclastique blanc grossier (grainstone), épais de 80 cm, est intercalé entre les deux bancs suivants : au mur 1 m de calcaire à Polypiers en place, précédés par une double vire marneuse ; au toit 1,7 m de calcaire jaune massif (biomicrite à Polypiers) avec «flasers» argileux.

Le niveau-type est situé dans des couches établissant la transition entre «l'Urgonien inférieur» (jaune) et «l'Urgonien supérieur» (blanc). Son âge est Hauterivien, probablement Hauterivien supérieur.

Description

Le thalle est simple, fortement calcifié, cylindrique et acuminé. Le siphon axial est cylindrique, porteur de nombreux rameaux stériles disposés en verticilles espacés. La partie cylindrique du thalle admet des verticilles fertiles intercalaires formés par des ampoules plus ou moins développées, pouvant être surmontées par des ramules secondaires. Les rameaux stériles sont flexueux, progressivement inclinés vers le haut, puis fortement recourbés à la périphérie du thalle, au point d'enrober le verticille fertile sous-jacent. Chez l'holotype (pl. I, fig. 1) les ampoules sont bien développées et serrées autour du siphon axial, auquel elles semblent reliées par un mince pédoncule allongé, issu d'une zone située à proximité immédiate du verticille stérile sous-jacent. Toujours chez l'holotype, les ampoules donnent naissance à en tout cas deux minces ramules secondaires divergents.

Dans la partie supérieure du thalle, les verticilles stériles sont seuls présents, avec un espace interverticillaire réduit. Les rameaux diminuent progressivement de longueur, tout en s'inclinant progressivement vers le haut. A l'apex, un spécimen montre un verticille terminal très redressé (pl. I, fig. 5), alors que chez un autre (pl. I, fig. 4) on note un évasement distal des rameaux appartenant aux verticilles les plus élevés.

Le manchon calcaire, probablement aragonitique à l'origine, est formé de calcite hyaline et incolore. Chez l'holotype, par exemple, le manchon est bien conservé et remplit tout l'espace disponible entre le siphon, les ampoules et la périphérie du thalle. Chez d'autres spécimens par contre, la mince pellicule comprise entre le siphon et les ampoules a cédé, d'où une cavité axiale beaucoup plus large que le siphon (pl. I, fig. 3, 7).

Dimensions

Diamètre externe	D = 1.3 - 2.4 mm
Diamètre du siphon	st = 0.3 - 0.6 mm
Nombre de rameaux stériles par verticille	w = 18 - 40
Nombre d'ampoules par verticille	ns = 7 - 12 environ
Nombre de ramules secondaires	w ¹ = 4?
Ecart entre deux verticilles stériles successifs	hst = 0.3 - 0.52 mm

Rapport et différences

Il existe une ressemblance frappante entre *A. neocomiensis* et *Angioporella fouryae* MASSE, CONRAD & RADOIČIĆ, l'espèce-type du genre, connue dans le Barrémien. La ressemblance porte sur les dimensions du thalle, le nombre réduit d'ampoules, le nombre et le caractère enveloppant des rameaux stériles, ainsi que sur l'importance de la calcification, formant un manchon marqué par l'empreinte des rameaux enveloppants. Pour le reste, *A. fouryae* porte les traits d'une algue nettement plus évoluée : ampoules beaucoup plus grandes, dépourvues de ramules secondaires ; espace interverticillaire plus grand ; siphon étranglé au niveau des verticilles stériles ; présence enfin (chez certains spécimens) d'une calcification brunâtre intéressant les verticilles fertiles.

Remarquons encore que les rameaux stériles d'*A. neocomiensis* sont plus flexueux que chez *A. fouryae*, et que l'examen de la pl. I, fig. 2 montre que les rameaux, après s'être orientés vers le haut, plongent brusquement vers le bas ; l'inverse semble en effet difficilement acceptable. Chez *A. fouryae*, par contre,

nous avions admis en 1973 que les rameaux étaient redressés, plutôt qu'inclinés à la périphérie du thalle. Avec les deux espèces *A. neocomiensis* et *A. fouryae*, l'évolution du genre se fait donc dans un intervalle de temps ayant approximativement la valeur d'un étage. Elle se fait dans le sens d'une différenciation au niveau du siphon, d'un meilleur usage de l'espace disponible chez les ampoules, d'une disparition des ramules secondaires et, enfin, d'une calcification des ampoules distinctes de celle des rameaux stériles. Les rapports avec *Angioporella? bakalovae* CONRAD & PEYBERNÈS, 1978, une espèce du Bédoulien de Bulgarie, sont moins évidents. *A. ? bakalovae* est entre autres caractérisée par une calcification uniformément brunâtre, ne formant pas un manchon, ainsi que par des verticilles stériles moins fournies, avec des rameaux phloïophores ou donnant naissance à des ramules secondaires enveloppants. Les dimensions d'*A. ? bakalovae* sont aussi plus réduites et l'algue vivait dans des milieux relativement protégés, alors qu'*A. fouryae* et *A. neocomiensis* semblent avoir vécu dans les milieux infralittoraux plus ouverts. Il semble pour l'heure raisonnable d'inscrire *A. ? bakalovae* dans une lignée issue par exemple des Heteroporellales du Jurassique et d'admettre que l'analogie avec le genre *Angioporella* ressort d'un phénomène de convergence. Les principales dimensions des trois espèces sont résumées dans le tableau ci-dessous :

	<i>A. neocomiensis</i>	<i>A. fouryae</i>	<i>A. (?) bakalovae</i>
D	1,3 - 2,4 mm	1,75 - 4 mm	0,9 - 1,2 mm
st	0,3 - 0,6 mm	0,25*	0,23 - 0,32 mm
hst	0,3 mm - 0,52 mm	1,0 - 1,25 mm	0,14 - 0,17
w	18 - 40	30 - 40	14 - 19
ns	7 - 12 (?)	8	6 - 8

* correction.

Répartition de Angioporella neocomiensis, n. sp.

Dans sa localité-type, *A. neocomiensis* est présente dans plusieurs niveaux, au-dessous du niveau-type. Dans le canton de Neuchâtel, *A. neocomiensis* est aussi présente dans des calcaires bioclastiques attribués à la Pierre jaune de Neuchâtel, à Buttes, à 5,5 m au-dessous du niveau à *Pachytraga tubiconcha* (cf. MASSE et al., ce vol.; REMANE et al., ce vol.), c'est-à-dire dans l'Hauterivien inférieur, vraisemblablement. Elle a également été observée à Gellin-Rochejean, dans les calcaires à *Pachytraga tubiconcha*, également placés dans l'Hauterivien inférieur.

Enfin, *A. neocomiensis* a été rencontrée par l'un de nous (JPM) en Sardaigne, dans les niveaux datés de l'Hauterivien terminal/Barrémien basal (presqu'île de San Antioco).

Genre *Dissocladella* PIA, 1936.

Dissocladella hauteriviana MASSE, 1976; pl. II, fig. 4, 5.

1976 *Dissocladella hauteriviana* n. sp. — MASSE, p. 180; pl. 4, fig. 8-16.

L'espèce est connue dans l'Hauterivien du sud-est de la France, des Pyrénées et de la Sardaigne. Dans notre matériel, les premiers spécimens font leur apparition au sommet de la Pierre jaune de Neuchâtel. L'espèce devient commune dans «l'Urgonien inférieur» et se raréfie considérablement à la base de «l'Urgonien supérieur». En Provence, elle débute dans l'Hauterivien inférieur et n'est connue que par de rares spécimens, d'assez grande taille d'ailleurs, dans le Barrémien basal.

Genre *Heteroporella* PRATURLON 1966, emend. OTT, 1968.

Heteroporella? paucicalcarea CONRAD, 1970; pl. II, fig. 11.

1978 *Heteroporella? paucicalcarea* CONRAD, 1970 — BASSOULET et al., p. 133; pl. 15. fig. 5-8.

Les plus anciens spécimens connus ont été rencontrés dans la partie sommitale de «l'Urgonien inférieur», à la gare de Vallorbe. L'espèce est commune dans les calcaires bioclastiques du Barrémien inférieur. Sa présence dans la partie supérieure de l'Hauterivien a déjà été signalée par MASSE (1976, p. 177).

Genre *Pseudoclypeina* RADOIČIĆ 1970.

Pseudoclypeina sp.

1970 *Pseudoactinoporella fragilis* — CONRAD, pl. 1, fig. 4.

1976 *Pseudoclypeina* sp. nov. — MASSE, pl. 5, fig. 16.

1977 *Griphoporella?* *iailensis* (MASLOV) — CONRAD & PEYBERNÈS, fig. 14a.

1980 *Pseudoclypeina* sp. — ARNAUD-VANNEAU & ARNAUD; pl. 110, fig. 6-8.

Il s'agit de quelques rameaux isolés, en forme de massues plus ou moins allongées et surmontées de ramules de second ordre. Ils ont été rencontrés dans les calcaires à Mandréporaires, dans la partie supérieure de «l'Urgonien inférieur». Des formes analogues bien que différentes sont connues dans un intervalle compris entre le Tithonique et l'Aptien.

Genre *Likanella* MILANOVIC, 1966.

Likanella? aff. *danilovae* RADOIČIĆ, 1968, pl. II, fig. 7.

aff. 1978 *Likanella?* *danilovae* RADOIČIĆ, 1968 — BASSOULET et al., p. 142-143; pl. 16, fig. 9-11.

aff. 1976 *Likanella* (?) sp. — MASSE, p. 171; pl. 3, fig. 1-2.

1980 *Likanella* (?) sp. — ARNAUD-VANNEAU, pl. 110, fig. 3-5.

Cette forme, faiblement calcifiée et de taille plutôt réduite, est présente dans la partie inférieure de «l'Urgonien inférieur» (Hauterivien inférieur), toujours en débris, qui rendent quelque peu problématique son attribution à *Likanella* (?) sp. sensu MASSE & ARNAUD-VANNEAU. Des spécimens mieux conservés ne sont pas rares dans la partie supérieure de «l'Urgonien inférieur».

Genre *Montenegrella* SOKAC & NIKLER, 1973.

Montenegrella cf. *corbarica* JAFFREZO, 1975.

cf. 1975 *Montenegrella corbarica* n. sp. — JAFFREZO, pl. I-II.

1976 *Montenegrella* gr. *verae-fustiformis* — MASSE, pl. 5, fig. 4, 5, 6.

Cette forme d'identification spécifique délicate se rencontre essentiellement dans «l'Urgonien inférieur». Quoique peu commune elle est présente aussi à la base de «l'Urgonien supérieur». Les spécimens bien conservés et de grande taille sont rares. Généralement on n'observe que des fragments montrant les rameaux de troisième ordre en liaison avec l'ampoule fertile. Le groupe des *Montenegrella verae-fustiformis* est connu en Provence dès l'Hauterivien inférieur (MASSE, 1976).

Genre *Montiella* L. & J. MORELLET, 1922.

Montiella? *elitzae* (BAKALOVA 1971), RADOIČIĆ 1980 (pl. II, fig. 1-3).

1978 *Cylindroporella elitzae* Bakalova, 1971 — BASSOULET et al., p. 71; pl. 7, fig. 6, 7.

1980 *Montiella?* *elitzae* (BAKALOVA) comb. nov. — RADOIČIĆ, p. 114; pl. I-III.

De magnifiques exemplaires de cette espèce sont présents dans la partie moyenne et supérieure de «l'Urgonien inférieur». L'holotype de *M.?* *elitzae* provient du «Barrémien-Aptien» de Bulgarie, alors que les spécimens illustrés par R. RADOIČIĆ proviennent du Crétacé inférieur de Serbie, dans un contexte sédimentaire semblable à celui de «l'Urgonien inférieur». On remarquera que *M.?* *elitzae* est ainsi rencontrée pour la première fois dans nos régions et qu'elle manque complètement dans les calcaires urgoniens du Jura franco-suisse, datés du Barrémien et de l'Aptien inférieur.

Genre *Neomeris* LAMOUROUX, 1816.

Neomeris cf. *N. cretacea* STEINMANN, 1899.

1976 *Neomeris* cf. *cretacea* — MASSE, p. 185; pl. 6, fig. 1.

cf. 1978 *Neomeris cretacea* — BASSOULET & al., p. 175; pl. 20, fig. 7-9.

Quelques débris attribuables à *N. cretacea* ont été rencontrés dans les calcaires à Cnidaires de «l'Urgonien inférieur». En Provence, l'espèce apparaît à l'Hauterivien inférieur (MASSE 1976, p. 185) et monte jusque dans le Crétacé supérieur. On notera cependant que la diagnose des espèces du genre *Neomeris* connues dans le Crétacé est délicate, et basée sur des critères sans doute peu significatifs.

Genre *Pseudoactinoporella* CONRAD, 1970.

Pseudoactinoporella fragilis CONRAD, 1970; pl. II, fig. 8.

1978 *Pseudoactinoporella fragilis* CONRAD, 1970 — BASSOULET et al., p. 212; pl. 25, fig. 6, 7, 8.

P. fragilis est l'algue la plus communément rencontrée dans l'Hauterivien de la région étudiée. Elle apparaît dans la Pierre jaune supérieure, sous forme de débris, et devient fréquente dans «l'Urgonien inférieur», de très beaux spécimens étant présents dans les calcaires à Cnidaires qui couronnent cette formation. Jusqu'ici, *P. fragilis* n'était connue que dans le Barrémo-Bédoulien.

Genre *Salpingoporella* PIA, 1918.

Salpingoporella genevensis (CONRAD), 1969; pl. II, fig. 9, 10.

1978 *Salpingoporella genevensis* (CONRAD), 1969 — BASSOULET et al., p. 239; pl. 29, fig. 5-8.

Les premiers, rares spécimens de cette espèce font leur apparition dans la partie moyenne de «l'Urgonien inférieur». Il s'agit de formes bien caractérisées par la morphologie de leurs ramifications, mais dont la taille est inférieure à celle de la majorité des spécimens rencontrés dans la localité-type, attribuée au Barrémien inférieur. Nos observations confirment donc celles de MASSE (1976) faites en Provence, où *S. genevensis* est connue dès l'Hauterivien supérieur et se développe dans le Barrémien inférieur.

Salpingoporella melitae RADOIČIĆ, 1965; pl. II, fig. 12.

1978 *Salpingoporella melitae* RADOIČIĆ, 1965 — BASSOULET et al., p. 244; pl. 29, fig. 16, 17.

Les premiers, rares spécimens attribuables à *S. melitae* font leur apparition dans la partie supérieure de «l'Urgonien inférieur», sous les couches à Cnidaires (coupe de Vaulion). L'espèce est également présente dans les calcaires à *Pachytraga* de la vallée du Doubs, ce qui confirme les observations faites en Italie méridionale (LUPERTO-SINNI & MASSE, 1984) et en Tunisie (CONRAD et al., sous presse), où *S. melitae* est présente dans l'Hauterivien.

Salpingoporella muehlbergii (LORENZ), 1902; pl. II, fig. 6.

1978 *Salpingoporella muehlbergii* (LORENZ), 1902 — BASSOULET et al., p. 245; pl. 30, fig. 1-4.

Les premiers, rares spécimens attribuables à cette espèce bien connue font leur apparition dans les calcaires à *Pachytraga tubiconcha* de la vallée du Doubs où ils sont associés à *S. genevensis* et *S. melitae*. Des petits spécimens sont aussi présents dans les calcaires à Cnidaires placés au sommet de «l'Urgonien inférieur». *S. muehlbergii* devient commune dans les calcaires à Rudistes du Barrémien. Dans les Pyrénées et en Provence, elle est connue dans un intervalle compris entre l'Hauterivien probable et le Gargasien (CONRAD & PEYBERNÈS, 1977; MASSE, 1976).

Genre *Terquemella* MUNIER-CHALMAS, 1977.

Terquemella sp. spp.

Ces corpuscules oblongs ou sphériques, munis de logettes, sont très communs dans les calcaires bioclastiques de «l'Urgonien inférieur». Ils correspondent au contenu calcifié d'ampoules fertiles appartenant probablement à plusieurs genres de Dasycladidae. Les critères dimensionnels et morphologiques couramment utilisés pour désigner les «espèces» ne nous semblent pas suffisamment significatifs pour justifier leur usage à des fins stratigraphiques dans le cadre de cette étude.

3.1.2. Ordre Caulerpales FELDMANN, 1946

3.1.2.1. Famille *Udoteaceae* FELDMANN, 1946

Genre *Boueina* TOULA, 1884.

Boueina sp. spp.

1976 *Boueina* sp. 2 — MASSE, p. 191; pl. 7, fig. 7, 8.

Il existe dans les calcaires bioclastiques, notamment dans «l'Urgonien inférieur», plusieurs types de *Boueina* qui diffèrent par leur degré de calcification médullaire, leurs dimensions externes, et la régularité de leurs réseaux de filaments corticaux. Les critères de subdivision spécifique de genre ne nous semblent actuellement pas suffisamment clairs, ni surtout hiérarchisés, de sorte qu'un essai de subdivision stratigraphique nous semble prématué.

3.2. Classe Rhodophyceae RUPRECHT, 1901

3.2.1. Ordre Nemalionales SCHMITZ in ENGLER, 1892

3.2.1.1. Famille *Gymnocodiaceae* ELLIOTT, 1955

Genre *Permocalculus* ELLIOTT, 1955.

Permocalculus sp. spp.

Des débris attribuables au genre *Permocalculus* sont communs dans «l'Urgonien inférieur», notamment dans les faciès micritiques à Cnidaires. Ils sont sans grand intérêt sur le plan stratigraphique, du fait de la difficulté de séparer les espèces.

3.2.2. Ordre Cryptonemiales SCHMITZ in ENGLER, 1892

3.2.2.1. Famille *Corallinaceae* (LAMOUROUX) HARVEY, 1849

Genre *Archaeolithothamnium* ROTHPLETZ, 1891.

Archaeolithothamnium rude LEMOINE, 1925.

1976 *Archaeolithothamnium rude* — MASSE, p. 166, pl. I, fig. 7-8.

Nous avons rencontré cette espèce dans les calcaires à Cnidaires de l'Urgonien inférieur. Les Corallinacées sont rares dans l'Hauterivien. *A. rude* est signalée dans l'Hauterivien provençal (MASSE, 1976). L'espèce est connue jusque dans l'Albien.

3.2.2.2. Famille *Solenoporaceae* PIA, 1927

Genre *Solenopora* DYBOWSKI, 1878.

Solenopora cf. *urgoniana* PFENDER, 1930.

Cette forme, rare, a été reconnue à Buttes (Jura neuchâtelois) dans les couches à Cnidaires qui précèdent les calcaires à *Pachytraga*. Elle était connue, jusqu'ici, dans le Barrémien.

Formes *incertae sedis*, rapprochées des Cyanophycées.

A ce groupe nous rattachons des sections du type de celles du genre *Cayeuxia* FROLLO, 1983 (Rivulariacées) ainsi que *Marinella lugeoni* PFENDER, 1939. *Cayeuxia (?) anae* DRAGSTAN, 1971, pourrait également y prendre place. Ces diverses formes sont assez rares et ont été rencontrées épisodiquement, principalement dans l'Urgonien inférieur.

4. RÉPARTITION STRATIGRAPHIQUE

La fréquence et la diversité des Algues calcaires augmente de la base vers le sommet et la série, en liaison avec le développement des sédiments infralittoraux. Au-dessus de la discontinuité δ , la distribution des Dasycladales présente un hiatus, dû à l'accentuation du caractère circalittoral des dépôts. Compte tenu de ces réserves, il ne semble pas que le contrôle écologique joue un rôle essentiel dans la répartition verticale des espèces de Dasycladales, du fait qu'il existe, dans la plupart des faciès circalittoraux, des éléments infralittoraux allochtones.

Les Dasycladales sont principalement associées à des packstones et grainstones oobioclastiques. Elles sont plus rares dans les faciès à Rudistes, ainsi que dans les faciès à Cnidaires, où les Udotéacées et les Gymnocodiacees sont bien représentées.

La distribution stratigraphique des différentes espèces de Dasycladales met en évidence les trois associations suivantes (fig. 1):

- L'association A1 est formée par *Pseudoactinoporella fragilis* et *Dissoclarella hauseriana*, cette dernière étant la plus fréquente; elle est présente dans la Pierre jaune supérieure ainsi que dans la partie inférieure de l'Urgonien inférieur. L'âge est probablement Hauerivien inférieur, dans la Zone à *Nodosoplicatum* ou au-dessus.
- L'association A2 est formée par *P. fragilis* et *D. hauseriana* auxquelles s'ajoutent *Likanella?* aff. *danilovae*, *Salpingoporella genevensis*, ainsi que de rares spécimens de *Neomeris* cf. *cretacea*, *Montenegroella* cf. *corbarica* et *Angioporella neocomiensis*. Elle se développe dans la partie moyenne de «l'Urgonien inférieur», c'est-à-dire soit encore dans l'Hauerivien inférieur, soit dans la partie supérieure de l'étage.
- L'association A3 est caractérisée par l'apparition de *Salpingoporella melitae*, *S. muehlbergii*, *Heteroporella?* *paucicalcarea*, et *Montiella?* *elitzae*; on la trouve dans la partie supérieure de «l'Urgonien inférieur», dans les couches à Cnidaires, ainsi que dans leur équivalent latéral probable: les calcaires à *Pachytraga* de la vallée du Doubs. L'âge est Hauerivien, peut-être Hauerivien supérieur. L'association A3 se poursuit à la base de «l'Urgonien supérieur», où l'on note l'extrême raréfaction de *D. hauseriana* et *M. cf. corbarica*.

5. CONCLUSIONS

Cette étude montre la présence de 12 espèces de Dasycladales, dont une est nouvelle, ainsi que 6 formes appartenant à d'autres familles ou classes d'Algues. Dans l'état actuel de nos connaissances, seules les Dasycladales présentent un intérêt sur le plan stratigraphique, les autres formes, en particulier les Udotéacées, étant relativement mal connues.

Les Dasycladales se répartissent en trois groupes, ou associations d'espèces, ayant pour le moins une valeur stratigraphique régionale:

- L'association A1 est présente dans un intervalle correspondant approximativement à la partie supérieure de l'Hauerivien inférieur. Elle comprend deux espèces seulement: *Pseudoactinoporella fragilis* et *Dissoclarella hauseriana*.

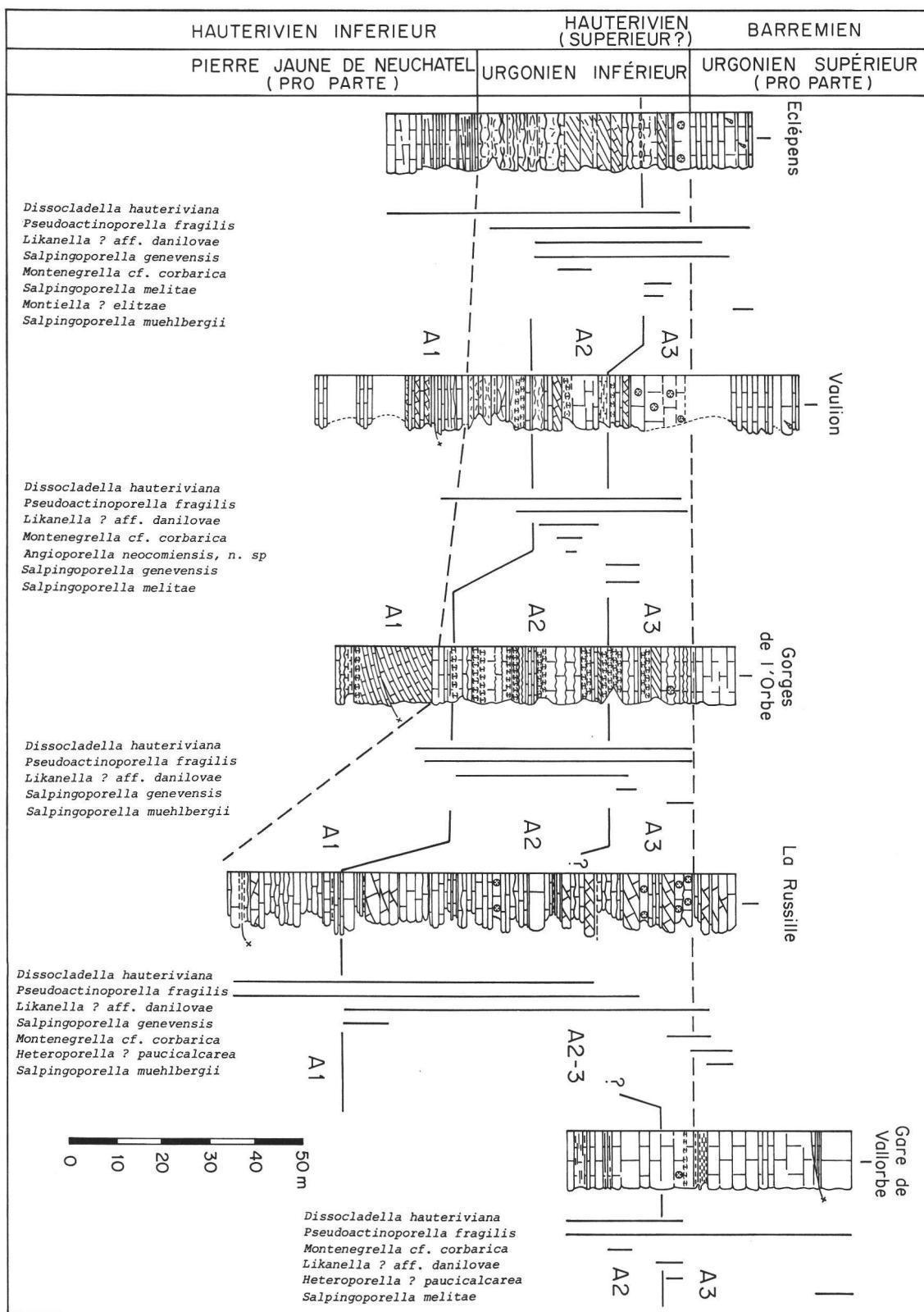


FIG. 1. — Distribution des Dasycladales dans l'Hauterivien et le Barrémien pro parte du nord-ouest vaudois. A1, A2, A3 : associations de Dasycladales (voir texte).

- L'association A2 correspond toujours à l'Hauterivien inférieur pro parte et atteint peut-être l'Hauterivien supérieur. Elle comprend les sept espèces suivantes: *Pseudoactinoporella fragilis*, *Dissocladella hauteriviana*, *Likanella?* aff. *danilovae*, *Salpingoporella genevensis*, *Neomeris cf. cretacea*, *Montenegrella cf. corbarica* et *Angioporella neocomiensis*, n. sp.
- L'association A3 est toujours située dans l'Hauterivien, peut-être dans la partie supérieure de l'étage. Elle comprend les onze espèces suivantes: *Pseudoactinoporella fragilis*, *Dissocladella hauteriviana*, *Likanella?* aff. *danilovae*, *Salpingoporella genevensis*, *Salpingoporella melitae*, *Salpingoporella muehlbergii*, *Neomeris cf. cretacea*, *Montenegrella cf. corbarica*, *Angioporella neocomiensis*, n. sp., *Heteroporella?* *paucicalcarea* et *Montiella?* *elitzae*.

Le stock d'espèces connues dans la Valanginien est entièrement renouvelé à l'Hauterivien, tout au moins à partir de la Zone à Nodosoplicatum. Ce phénomène explique, dans une certaine mesure, l'augmentation graduelle du nombre d'espèces dans l'Hauterivien, et permet d'envisager autre chose qu'un contrôle strictement écologique.

Quatre espèces faisant déjà partie de l'association A3 (*H.?* *paucicalcarea*, *S. genevensis*, *S. melitae* et *S. muehlbergii*) s'épanouissent au Barrémien inférieur, alors que disparaissent plus ou moins rapidement *A. neocomiensis*, *M.?* *elitzae* et *D. hauteriviana*.

6. BIBLIOGRAPHIE

- ARNAUD-VANNEAU, A. — (1980). Micropaléontologie, paléoécologie et sédimentologie d'une plate-forme carbonatée de la marge passive de la Téthys: l'Urgonien du Vercors septentrional et de la Chartreuse (Alpes occidentales). *Géologie Alpine*, mém. 11, Grenoble.
- BASSOULET, P., BERNIER, P., CONRAD, M. A., DELOFFRE, R. & JAFFREZO, M. — (1978). Les Algues Dasycladales du Jurassique et du Crétacé. *Géobios*, mém. spéc. 2, Lyon.
- CONRAD, M. A. — (1969). Les calcaires urgoniens dans la région entourant Genève. *Ectogae geol. Helv.* 62: 1-80.
- CONRAD, M. — (1970). Barremian and lower Aptian Dasycladaceae in the area surrounding Geneva (Switzerland). *Geol. Romana* 9: 63-100.
- 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. neuchât. Sci. nat.* 11: 307-322.
- CONRAD, M., MASSE, J.-P. & PEYBERNÈS, B. — (Sous presse). Dasycladales et Floridées du Jurassique et du Crétacé d'Afrique: intérêt biostratigraphique et paléobiogéographique. P.I.C.G. UNESCO N° 183, Corrélations du Mésozoïque de l'Afrique de l'Ouest, 2^e Conf. Scient. Rabat (Maroc).
- CONRAD, M. A. & PEYBERNÈS, B. — (1977). Hauterivian-Albian Dasycladaceae from the urgonian limestones in the French and Spanish Eastern Pyrenees. *Geol. Romana* 15: 175-197, Roma.
- (1978). Sur quelques Dasycladales de l'Urgo-Aptien du Prébalkan bulgare. *C.R. Soc. Phys. Hist. nat. Genève*, NS 12 (2-3): 69-83.
- DRAGASTAN, O. — (1971). New algae in the upper Jurassic and lower Cretaceous in the Bicaz valley, east Carpathians (Romania). *Rev. españ. de Micropaleont.* 3 (2): 155-192, Madrid.
- ELLIOTT, G. F. — (1955). The Permian calcareous alga *Gymnocodium*. *Micropaleontology* 1/1: 83-90, New York.
- FROLLO, M. M. — (1938). Sur un nouveau genre de codiacées du jurassique supérieur des Carpates orientales. *Bull. Soc. géol. Fr.*, sér. 5, 8 (3-4): 267-271, Paris.
- GUILLAUME, S. — (1966). Le Crétacé du Jura français. *Bull. B.R.G.M.*, N° 15, Paris.
- JACCARD, A. — (1869). Description géologique du Jura vaudois et neuchâtelois. *Matér. Carte géol. Suisse*, 6.
- JAFFREZO, M. — (1975). *Montenegrella corbarica* n. sp., Algue Dasycladacée du Néocomien des Corbières (France), avec une clé de détermination des Dasycladacées jurassiennes et crétaciées à deux ordres de ramifications. *Geol. Romana*, 14: 155-163, Roma.
- (1980). Les formations carbonatées des Corbières (France) du Dogger à l'Aptien: micropaléontologie, stratigraphie, biozonation, paléoécologie. Extension des résultats à la Mésogée. *Thèse ès sci.*, Université P. et M. Curie (Paris VI), 614 p.
- LAMOURoux, M. — (1816). Histoire des Polypiers coralligènes flexibles vulgairement appelés Zoophytes. 559 p., Caen.
- LEMOINE, M^{me} Paul — (1925). Contribution à l'étude des corallinacées fossiles. 8. Melobesiées de l'Aptien et de l'Albien. *Bull. Soc. géol. Fr.*, ser. 4, 25: 3-10, Paris.
- LUPERTO-SINNI, E. & MASSE, J.-P. — (1984). Données nouvelles sur la micropaléontologie et la stratigraphie de la partie basale du «Calcare di Bari» (Crétacé inférieur) dans la région des Murges (Italie méridionale). *Riv. ital. Paleont. (Strat.)*, 90 (3): 331-374, Milano.

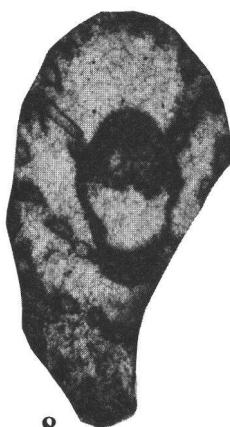
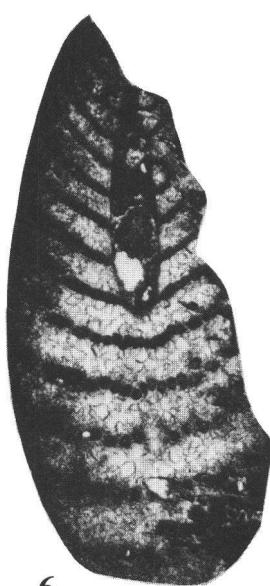
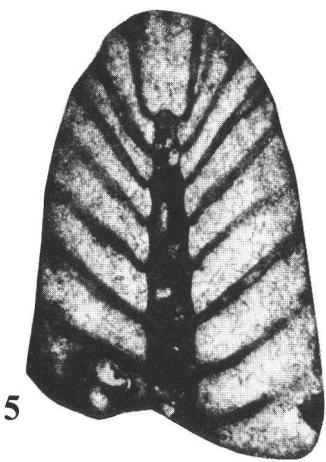
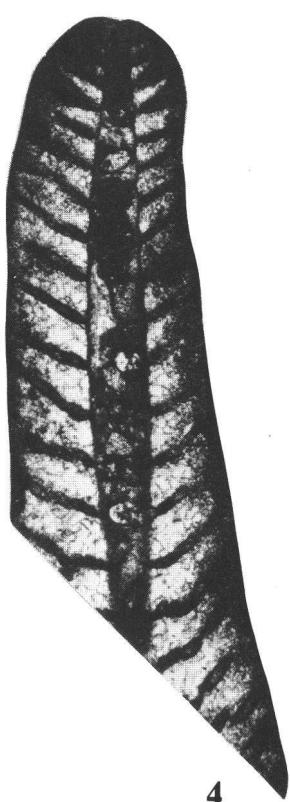
- MASSE, J.-P. — (1976). Les calcaires urgoniens de Provence. Valanginien-Aptien inférieur. Stratigraphie. Paléontologie. Les paléoenvironnements et leur évolution. *Thèse ès sci.*, Université d'Aix-Marseille II, 445 p.
- MASSE, J.-P., CONRAD, M. A. & RADOIČIĆ, R. — (1973). *Angioporella fouryae* n. gen., n. sp., une algue calcaire (*Dasycladaceae*) du Barrémien du sud de la France. *Elogae geol. Helv.* 66/2: 383-387, 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. neuchât. Sci. nat.* 11: 73-80, Neuchâtel.
- MILANOVIĆ, M. — (1966). *Likanella* — a new permian genus of the family *Dasycladaceae*. *Geol. Viesn.* 19: 9-13, Zagreb.
- MORELLET, L. & MORELLET, J. — (1922). Nouvelle contribution à l'étude des Dasycladacées du Tertiaire parisien. *Mém. Soc. géol. Fr.*, sér. Pal., 58: 37 p., Paris.
- MUNIER-CHALMAS, E. P. — (1877). Observations sur les Algues calcaires appartenant au groupe des siphonées verticillées (*Dasycladacées Harv.*) et confondues avec les Foraminifères. *C. R. Acad. Sci. (Paris)*, 85: 814-817.
- PIA, J. von — (1918). Dasycladaceae, in F. TRAUTH: Das Eozänvorkommen bei Radstadt im Pongau. *K. Akad. Wiss.*, 95: 171-278, Wien.
- (1936). Calcareous green Algae from the upper Cretaceous of Tripoli (North Africa). *Journ. Pal.* 10/1: 3-13, Tulsa.
- PFENDER, J. — (1930). Les Solénopores du Jurassique supérieur en Basse-Provence calcaire et celles du bassin de Paris. *C. R. Soc. géol. France*, 8: 52, Paris.
- (1939). Sur un calcaire phytogène du Lias inférieur d'Espagne et l'extension de ce faciès en quelques autres régions. *Bull. Lab. Géol. etc. Univ. Lausanne* 66: 16 p., Lausanne.
- RADOIČIĆ, R. — (1965). *Salpingoporella melitae* spec. nov. des sédiments crétacés inférieurs des Dinarides externes. *Zap. Srpskog geol. drustva*, 27: 120-127, Beograd.
- (1968). *Likanella? danilovae* spec. nov. et quelques autres Dasycladacées crétacées inférieures des Dinarides externes. *Vesn. Zavoda geol. geofiz. Istraž.*, ser. A, 26: 177-194, Beograd.
- (1970). The new Dasycladacean genus *Pseudoclypeina* (a preliminary report). *Bull. scient. Conseil Acad. R.S.F. Yougoslavie*, sect. A, XV: 4-5, Zagreb.
- (1980). Contribution to the reconsideration of a group of cylindroporelliform dasyclads. *Bull. Acad. serbe Sci. et Arts*, Sc. nat. N° 20, Beograd.
- REMANE, J., BUSNARDO, R., CHAROLLAIS, J., CLAVEL, B. & THIEULOY, J.-P. — (1989). 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. *Mém. Soc. neuchât. Sci. nat.* 11: 19-48, Neuchâtel.
- ROTHPLETZ, A. — (1891). Fossile Kalkalgen aus den Familien der Codiaceen und der Corallineen. *Z. dtsch. geol. Ges.* 43: 295-322.
- SOKAC, B. & NIKLER, L. — (1973). Calcareous algae from the Lower Cretaceous of the environs of Niksic, Crna Gora (Montenegro). *Pal. jugoslavica* 13, 57 p., Zagreb.
- TOULA, F. — (1884). Geologische Untersuchungen im westlichen Theile des Balkan und in den angrenzenden Gebieten. *Sb. Akad. Wiss. Wien* 88/1: 1279-1348, Vienne.

Remarque. — Pour plus de détails concernant les Dasycladales, le lecteur est prié de se référer à BASSOULET et al., 1978.

PLANCHE I

Angioporella neocomiensis, n. sp. Toutes les sections $\times 22$.

- 1 Holotype. Section oblique de quatre verticilles stériles et trois verticilles fertiles. Au-dessus du troisième verticille stérile, on note la présence de ce qui semble être le point d'attache d'un pédoncule supportant une ampoule sparitisée. Noter aussi les rameaux de second ordre issus du premier verticille fertile.
- 2 Section longitudinale-oblique dans un spécimen arqué. Noter les dimensions réduites des ampoules. Ech. MP 177, lame C. La Brunette, Neuchâtel.
- 3 Section oblique dans un spécimen usé à la périphérie et endommagé autour du siphon. San Antioco, Sardaigne, éch., MASSE 6733.
- 4-6 Paratypes. Sections obliques recoupant la partie supérieure du thalle. Une ampoule est visible en bas à gauche de la section 5. La Brunette, Neuchâtel, éch. MP 617, lames 3 et 5.
- 7 Section perpendiculaire-oblique recoupant trois verticilles, de bas en haut successivement fertile, stérile (estompé) et fertile. Le siphon n'est pas visible. San Antioco, Sardaigne, éch. MASSE 6733.
- 8-9 Sections obliques. Petits spécimens (immatures?), dépourvus d'ampoules malgré l'espace interverticillaire. 8: San Antioco, Sardaigne, éch. MASSE 6733. 9: paratype, La Brunette, Neuchâtel, éch. MP 617, lame 5.



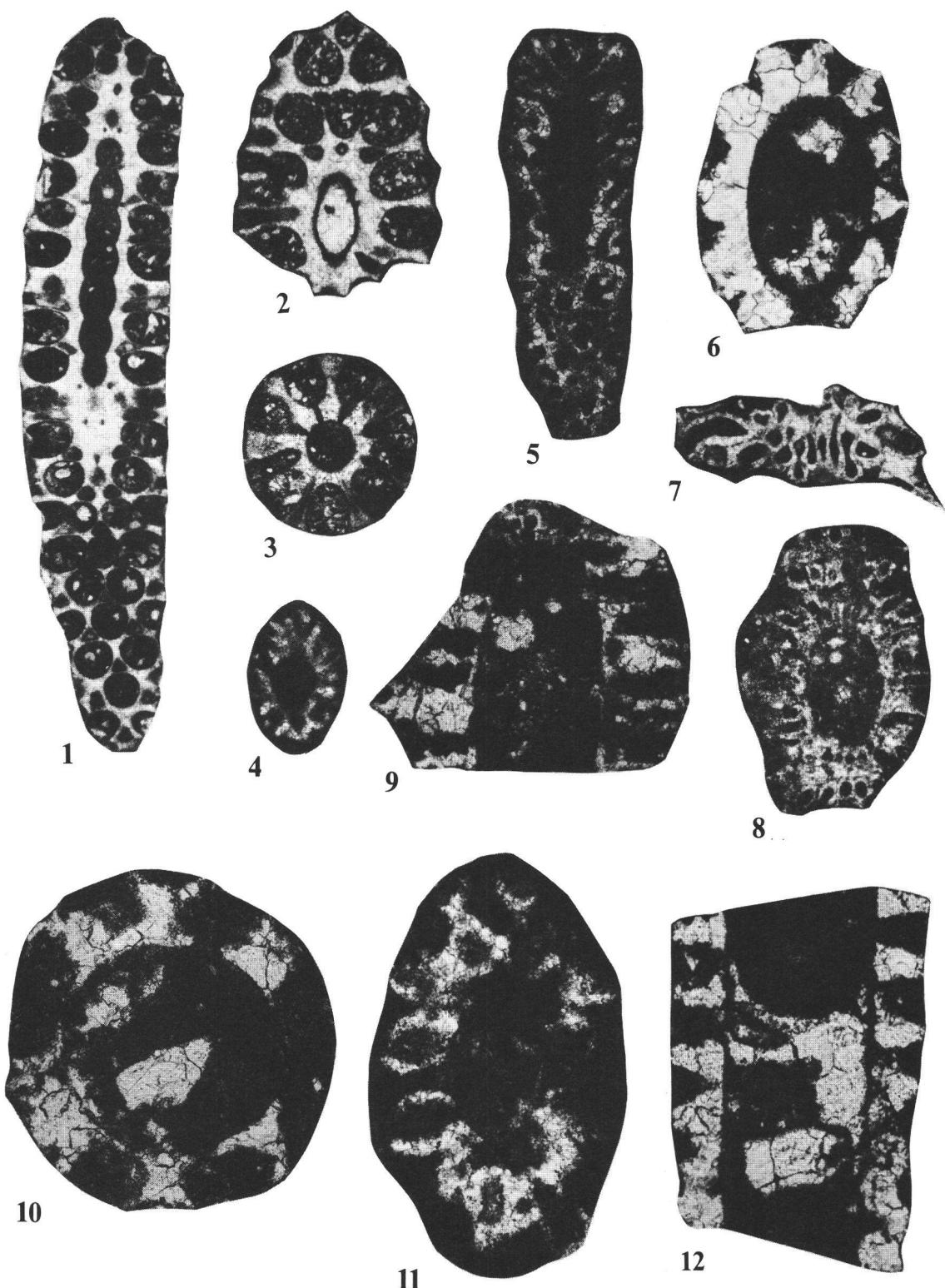


PLANCHE II

- 1-3 *Montiella? elitzae* (BAKALOVA). La Brunette (Neuchâtel), Hauterivien (? supérieur). 1: section très oblique, $\times 20$.
 2: section oblique, $\times 26$. 3: section perpendiculaire, $\times 26$.
- 4, 5 *Dissocladella hauteriviana* MASSE. Sections obliques, $\times 67$. 4: La Russille (Vaud), Hauterivien inférieur. 5: Gellin-Rochejean (Doubs), calcaires à *Pachytraga*, Hauterivien (? supérieur).
- 6 *Salpingoporella muehlbergii* (LORENZ). Section oblique, $\times 66$; Gellin-Rochejean (Doubs), Hauterivien (? supérieur).
- 7 *Likanella?* aff. *danilovae* RADOIČIĆ. Section tangentielle, $\times 26$. La Brunette (Neuchâtel), Hauterivien (? supérieur).
- 8 *Pseudoactinoporella fragilis* CONRAD. Section oblique, $\times 22$. Gare de Vallorbe (Vaud), Hauterivien (? supérieur).
- 9, 10 *Salpingoporella genevensis* (CONRAD). Gellin-Rochejean (Doubs), calcaires à *Pachytraga*, Hauterivien (? supérieur).
 $\times 53$. 9: section oblique, partielle. 10: section presque perpendiculaire.
- 11 *Heteroporella? paucicalcarea* CONRAD. Section oblique, $\times 67$. Gare de Vallorbe (Vaud), Hauterivien (? supérieur).
- 12 *Salpingoporella melitae* RADOIČIĆ. Section subaxiale, $\times 53$. Gellin-Rochejean (Doubs), calcaires à *Pachytraga*, Hauterivien (? supérieur).

<i>Mémoires de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles</i>	Tome XI	p. 291-298, 3 fig.	Neuchâtel, 1989
---	---------	--------------------	-----------------

V. CORRÉLATIONS

BIOSTRATIGRAPHIE DE L'HAUTERIVIEN DU JURA MÉRIDIONAL

par

Bernard CLAVEL et Jean CHAROLLAIS

Recherche subventionnée

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

RÉSUMÉ. — L'étude stratigraphique et sédimentologique de l'Hauterivien du Jura méridional met en évidence six discontinuités principales limitant cinq séquences régressives. La collecte d'une abondante faune significative permet, pour la première fois, une attribution biostratigraphique précise de chacune d'entre elles. Le schéma stratigraphique admis jusqu'à ce jour, est sensiblement modifié.

ABSTRACT. — Stratigraphical and sedimentological studies of Southern Jura Hauterivian led to the discovery of five main, regressive sequences. They can be biostratigraphically defined on the basis of an abundant, significant fauna. The hitherto accepted stratigraphical framework is thus sensibly modified.

ZUSAMMENFASSUNG. — Stratigraphisch-sedimentologische Untersuchungen im Hauterivian des Südjura erlauben den Nachweis von 6 grösseren Diskontinuitäten, die die Grenzen von 5 regressiven Sequenzen bilden. Zahlreiche Neufunde von reichen, stratigraphisch signifikanten Faunen ermöglichen erstmals die genaue biostratigraphische Einstufung aller Sequenzen. Das bislang angenommene stratigraphische Schema wird dadurch erheblich modifiziert.

1. INTRODUCTION

Le Jura méridional représente le domaine sédimentaire le plus oriental de la plate-forme jurassienne, en bordure du bassin alpin dont il est actuellement séparé par le front de chevauchement subalpin; de ce fait, il est caractérisé par des faciès plus externes que ceux du Jura de la région stratotypique. L'étude de trois coupes au Salève, au Vuache et au Mont-de-Musièges (CHAROLLAIS et al., ce vol.) a permis, en dépit de variations d'épaisseur et de faciès d'établir des corrélations basées d'une part sur les ammonitofaunes récoltées dans ces trois sections et d'autre part sur les discontinuités limitant des séquences (fig. 1); celles-ci ont fait l'objet d'une description détaillée au Mont-de-Musièges.

Dans le Jura méridional, les formations de l'Hauterivien comportent relativement plus d'épisodes hémiplégiques qu'au N (stratotype) et ceux-ci se retrouvent décalés dans le temps (plus haut dans les séries méridionales que septentrionales) du fait de la progradation de la plate-forme, dirigée du NW vers le SE. Les études menées depuis les dix dernières années dans le Crétacé inférieur de l'ensemble du Jura méridional ont permis de confirmer une remarquable identité dans l'organisation séquentielle de toutes les coupes, des environs de Genève (fig. 1) à la région chambérienne. Elles ont en même temps permis la collecte d'une

ammonitofaune significative. Certaines des ammonites¹ recueillies n'avaient jamais été signalées auparavant; d'autres, précédemment citées, avaient fait l'objet d'interprétations erronées.

En fonction de ces éléments nouveaux, il est actuellement possible de proposer pour l'Hauterivien du Jura méridional un schéma stratigraphique dont la cohésion a été vérifiée en de nombreux affleurements, et qui, pour la première fois, est basé sur la biozonation des ammonites.

¹ Déterminations et révision de R. BUSNARDO.

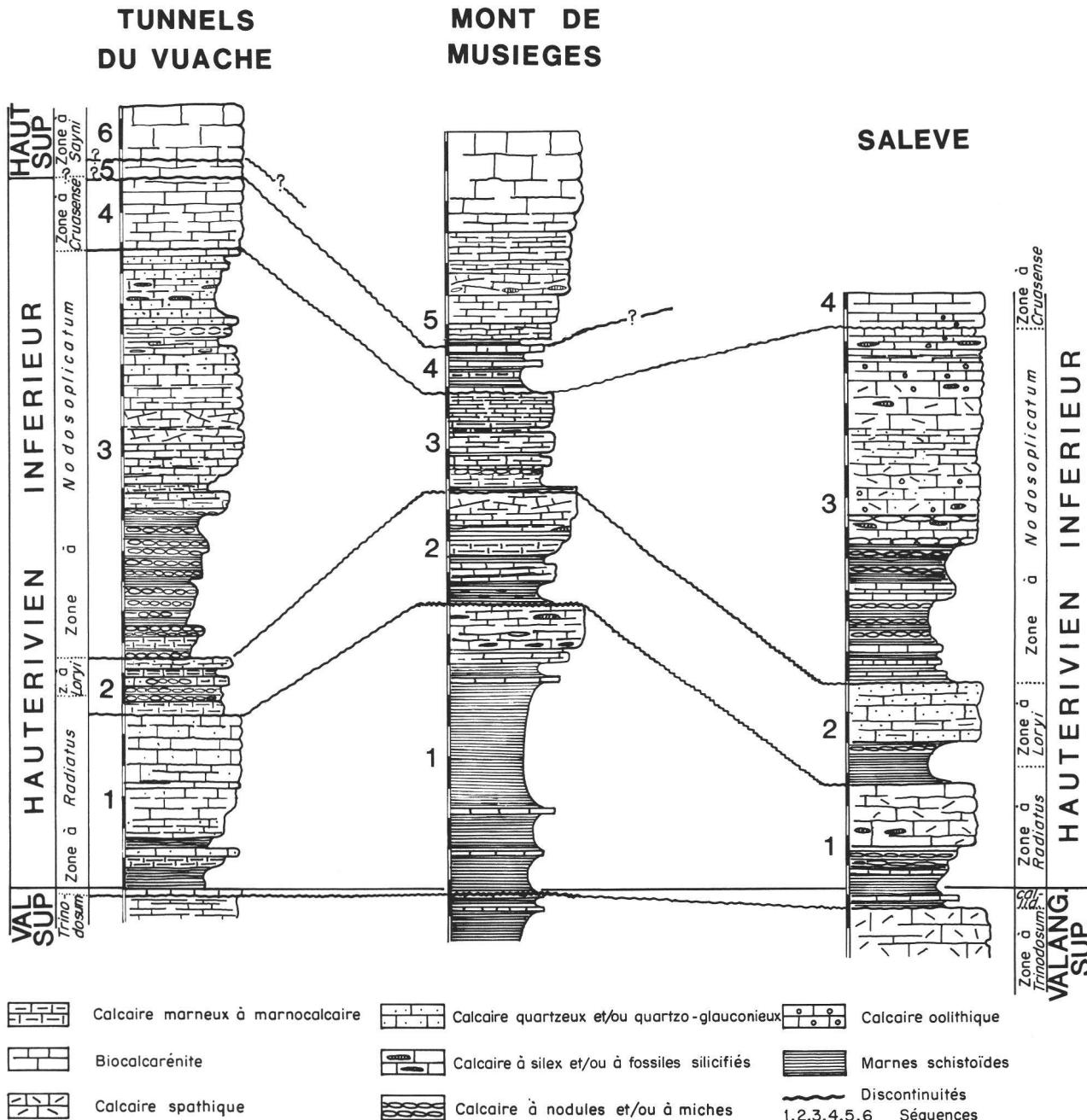


FIG. 1. — Corrélations basées sur la biostratigraphie et les discontinuités, entre trois coupes relevées dans la région genevoise : Vuache, Mont-de-Musièges, Salève. Le plan de référence correspond à la limite Valanginien/Hauterivien.

2. HISTORIQUE

L'étude historique de REMANE (ce vol.) rappelle les différents concepts adoptés par nos prédecesseurs qui ont défini l'étage Hautevien.

La fig. 2 résume les conclusions stratigraphiques de divers auteurs ayant étudié le Jura méridional depuis la fin du XIX^e siècle: ces conclusions étaient communément admises jusqu'aux travaux récents dont il est rendu compte ici.

SCHARDT (1891) (Reculet-Vuache)	JOUKOWSKY & FAVRE (1913) (Salève)	REVIL (1911) (Jura savoisien)
Urgonien II ou sup. (calc. à <u>Requienia</u>)	Barrémien sup. à faciès urgonien (calc. blanc zoogène à rudistes)	Barrémien sup. masse urgonienne inf. (calc. à <u>R. ammonia</u>)
Urgonien I ou inf. (marnes et calc. jaunes de la Russille)	Barrémien inf. (calc. marneux oolitique = c. de la Russille)	Barrémien inf. (calc. jaunes oolit. à <u>C. emerici</u> , <u>P. cruasensis</u>)
Hautevien III ou sup (P. jaune de Neuchâtel)	Hautevien sup. (P. jaune de Neuchâtel)	Hautevien sup. (calc. marn. à <u>T. retusus</u>)
Hautevien II ou inf. p.p. (Marnes d'Hautevive)	Hautevien inf. (Marnes d'Hautevive)	Hautevien inf. (marno-calcaires à <u>A. radiatus</u>)
Hautevien I ou inf. p.p. (calc. à <u>O. rectangularis</u>)	Valanginien sup. (calc. à <u>A. rectangularis</u>)	Valanginien sup. (calc. à <u>A. rectangularis</u>)

FIG. 2. — Stratigraphie du Jura méridional, classiquement adoptée pour les formations comprises entre le Valanginien supérieur et le Barrémien.

Le découpage stratigraphique accepté pour le Jura neuchâtelois était transposé dans l'ensemble du domaine jurassien, tant en raison de la remarquable similarité des successions de faciès que de l'interprétation des faunes collectées :

- calcaires à *Alectryonia rectangularis*, dont l'équivalence avec les marnes à *Astieria astieri* du Jura neuchâtelois était reconnue;
- partie inférieure essentiellement marneuse et partie supérieure essentiellement calcaire assimilées respectivement aux Marnes d'Hautevive et à la Pierre jaune de Neuchâtel;
- calcaires marneux oolitiques jaunes correspondant à l'ensemble «Urgonien jaune»/Marnes de La Russille;
- calcaires blancs à rudistes parallélisés avec «l'Urgonien blanc» neuchâtelois.

Les datations de ces divers ensembles ne différaient en rien du schéma neuchâtelois, l'attribution à l'Hautevien par SCHARDT (1891) des calcaires à *A. rectangularis* n'étant que le reflet de l'indécision qui régnait à l'époque sur l'attribution de ce niveau, définitivement considéré comme Valanginien quelques années plus tard. La citation par RÉVIL (1911) de *Crioceras emerici* dans les calcaires oolitiques jaunes situés sous les calcaires à rudistes confirmait l'attribution de ces niveaux au Barrémien inférieur. La présence simultanée de *Parahoplites cruasensis* ne laissait alors pas planer de doutes sur cette datation, cette ammonite étant alors considérée, à la suite de KILIAN (1895: 746), comme une forme du Barrémien inférieur.

Mais, la présence de *P. (Cruasiceras) cruasensis*, dans le domaine jurassien n'est sans doute qu'une extrapolation de RÉVIL (1911): le seul *P. cruasensis* qu'il cite dans sa thèse ne provient pas du Jura mais du domaine subalpin (Mont-Granier). D'autre part, les «*Crioceras (Emericiceras) emerici* D'ORB.» cités par RÉVIL (1911) en diverses pages de sa thèse sont à l'origine de l'attribution définitive des calcaires jaunes oolithiques jurassiens et des «couches à panopées» présubalpines au Barrémien inférieur par l'ensemble des auteurs récents. Leur interprétation repose cependant sur un double malentendu: de l'auteur et de ses successeurs. Il convient ici de réexaminer l'ensemble de la question.

À PROPOS DE «*CRIOCERAS EMERICI*» DANS LE JURA MÉRIDIONAL

Dans le premier volume de sa thèse, publié en 1911, RÉVIL traite en deux pages du «Barrémien inférieur» jurassien, sans énumérer de coupes. Pour justifier cette datation, il cite (p. 401) «quelques Brachiopodes (Rynchonelles, Térébratules), d'assez nombreux bivalves (Panopées, Huîtres) et des fragments de grands Criocères (*Crioceras emerici* d'ORBIGNY?)». A la page suivante (p. 402), il conclut que «le Barrémien de notre Jura méridional pourra se subdiviser en deux sous-étages:

1. Calcaires jaunes grenus oolithiques à intercalations marneuses à *Crioceras emerici* d'ORB., bivalves (panopées, huîtres) et brachiopodes.
2. Calcaires compacts zoogènes blancs...»

D'une page à l'autre, le doute quant à la détermination des fragments de Criocères a disparu. On comprend mieux cette soudaine certitude quand on lit, quelques lignes plus haut, que l'attribution par RÉVIL au Barrémien supérieur de la masse inférieure des calcaires à rudistes est essentiellement basée sur les datations de PAQUIER (1900) pour la même formation dans le Vercors. Il était dès lors évident pour RÉVIL que les niveaux sous-jacents ne pouvaient représenter que le Barrémien inférieur, et donc que les Criocères étaient des *C. emerici* caractéristiques de la base du Barrémien.

La lecture de la thèse laisse également de sérieux doutes sur la localisation géographique de la coupe ayant fourni ces *C. emerici*. En effet (p. 454), RÉVIL (1911) propose à nouveau une subdivision de l'Urgonien en Barrémien inférieur et supérieur, le sous-étage inférieur étant défini comme «calcaires oolithiques jaunes avec délit marneux à *Toxaster*, Panopées, Brachiopodes et *Crioceras emerici* d'ORB.». Mais, il s'agit alors de la stratigraphie du domaine subalpin. Or, dans sa liste faunique du Barrémien inférieur subalpin (p. 466), il ne cite qu'un seul gisement pour *C. emerici*: route de Saint-Sulpice au Col de l'Epine, qui se trouve dans son domaine jurassien.

Dans le second volume de sa thèse, paru en 1913, RÉVIL donne le détail de certaines coupes significatives, dont celle de la Montagne de l'Epine: le Barrémien inférieur n'y est constitué que de «quelques bancs calcaires que surmontent directement les marnes bariolées de l'Aquitainien». Il n'y est pas fait mention de la moindre ammonite, et notamment pas de «Criocères» censés provenir des «intercalations marneuses des calcaires jaunes inférieurs».

Les collections de RÉVIL ayant disparu au Musée de Chambéry, il n'est pas possible de vérifier ni la détermination des fragments, ni leur faciès. On vient d'autre part de voir que leur localisation géographique n'est même pas certaine dans les écrits de l'auteur. Il était donc abusif de fonder sur une seule citation fortement douteuse l'attribution biostratigraphique des calcaires jaunâtres de «l'Urgonien inférieur».

Les conclusions de RÉVIL (1911) pour le Jura savoisien, de JOUKOWSKY & FAVRE (1913) pour le Jura des environs de Genève sont restées d'actualité jusqu'à nos jours. Des travaux récents les ont même développées, à l'aide d'arguments nouveaux. Elles ne peuvent ici être acceptées: les corrélations de faciès établies par ces auteurs se trouvent confirmées, mais leurs conclusions biostratigraphiques doivent être sérieusement révisées.

3. BIOSTRATIGRAPHIE

Si l'équivalence des grands ensembles lithologiques avait été depuis longtemps reconnue, la corrélation précise de leurs divers constituants n'était cependant pas possible, en raison notamment des variations de

faciès, d'épaisseur et de l'absence de faune significative au-dessus des marnes basales. Les travaux récents, dont ceux de VIÉBAN (1983), CHAROLLAIS et al. (ce vol.) ont permis de définir un certain nombre de séquences observables à l'échelle régionale et d'y collecter des faunes caractéristiques (fig. 1).

Du Valanginien terminal à la base des calcaires massifs de «l'Urgonien», six discontinuités majeures limitant cinq séquences ont été identifiées; nous avons pu les dater (fig. 3). Le schéma séquentiel retenu ici ne diffère de celui publié par VIÉBAN (1983) que dans l'identification de la discontinuité A.

Les trois premières séquences sont lithologiquement constituées de marnes ou calcaires marneux hémiplégiques à la base, de calcaires bioclastiques grossiers infralittoraux au sommet. La quatrième se présente sous forme de petits bancs marneux et de calcaires oolitiques souvent jaunes formant transition avec les calcaires urgoniens massifs.

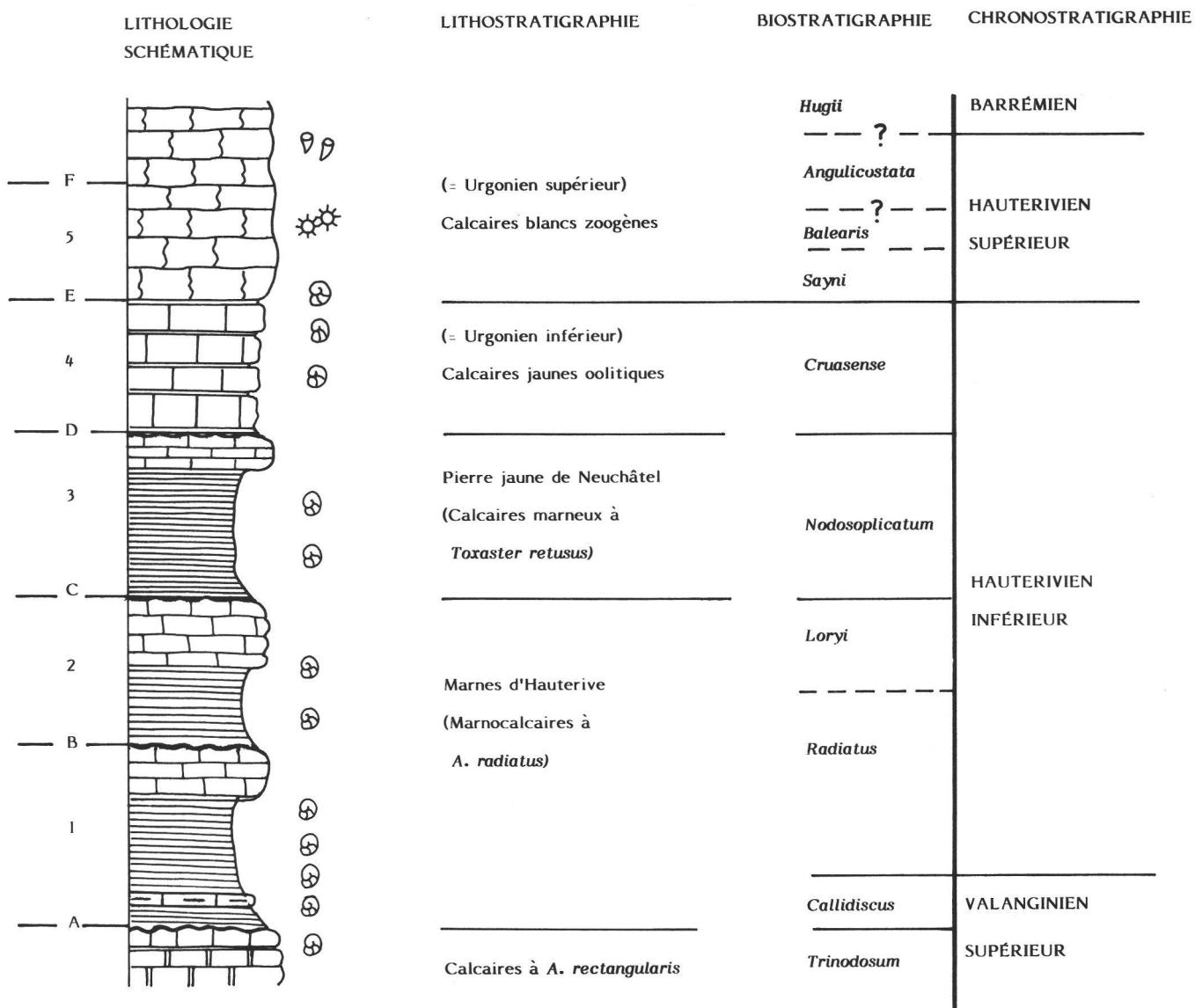


FIG. 3. — Synthèse lithostratigraphique, biostratigraphique et chronostratigraphique du Jura méridional, entre le Valanginien supérieur et le Barrémien inférieur.

La cinquième, enfin, annonce l'installation définitive de la plate-forme «avec une nette augmentation de la teneur en carbonate, une couleur plus claire et une morphologie typique en gros bancs massifs» (VIÉBAN; 1983: 141).

Une macrofaune abondante a été collectée dans les marnes basales de ces cinq séquences, ammonites et échinides notamment. Elle a permis d'insérer chacune d'entre elles dans le cadre biostratigraphique actuellement reconnu.

Séquence 1 (A-B)

Les travaux de CLAVEL, DONZE, WALTER (en cours) sur le passage Valanginien-Hauterivien dans le Jura méridional démontrent que dans cette région, lorsque les calcaires à *A. rectangularis* ne se terminent pas par un hard-ground, ils sont surmontés d'un niveau de marnes d'ordre métrique suivi d'un banc de calcaire micritique légèrement bioclastique de même ordre, sur lequel repose le premier niveau important de marnes bleues (10 à 20 m). Ce banc calcaire n'avait jamais été remarqué jusqu'à présent, et l'ensemble était considéré comme représentant les Marnes d'Hauterive. Mais, la collecte d'ammonites valanginiennes de part et d'autre de ce banc au Salève et au Vuache (*Teschenites* sp.), à Lamoura (*Karakaschiceras biassalensis*), à Hauteville et à la Cluse de Chailles (*Dicostella pitrei*, *Neocomites?* *dubisiensis*, *Karakaschiceras biassalensis*, *Teschenites* gr. *flucticulus*), montre que le passage Valanginien-Hauterivien s'effectue indubitablement au sein des marnes bleues. Les échinides (*Toxaster*, *Tetrapromania*) confirment ce résultat.

La discontinuité A est donc placée ici au sommet des calcaires à *A. rectangularis*, et elle n'est pas considérée comme marquant la base de l'Hauterivien. Elle correspond à un approfondissement marqué, des marnes hémipélagiques surmontant des calcaires bioclastiques infralittoraux terminés ou non par un hard-ground. La discontinuité B se situe au sommet du premier ensemble de calcaires à faciès Pierre jaune. Tout comme la discontinuité suivante (C), elle marque le passage des calcaires bioclastiques grossiers infralittoraux à des marnes argileuses circalittorales.

La base de la séquence 1 correspond à l'extrême sommet du Valanginien. Le reste représente la partie inférieure de la Zone à Radiatus, avec de très nombreuses ammonites caractéristiques, dont *Acanthodiscus radiatus*, dans toutes les coupes. La limite Hauterivien-Valanginien peut y être précisément définie avec l'apparition de *Toxaster remanei* et *T. crassisulcatus* (CLAVEL, ce vol.).

Séquence 2 (B-C)

Sa limite supérieure est représentée par la discontinuité C, sise au sommet du second ensemble de calcaires à faciès Pierre jaune.

Dans sa partie marneuse, la faune d'ammonites n'est pas différente de celle de la séquence précédente. *Acanthodiscus radiatus* y a été collecté jusqu'au-dessous des calcaires bioclastiques. Ceux-ci n'ont pas fourni de faune caractéristique. La limite Radiatus-Loryi, non argumentée dans le sud du Jura, peut être placée dans la partie supérieure des marnes, par référence au schéma séquentiel du Jura neuchâtelois.

Séquence 3 (C-D)

Surmontant le troisième niveau à faciès Pierre jaune, la discontinuité D est peu visible sur le terrain. Elle correspond à un niveau marneux d'épaisseur centimétrique à décimétrique amenant des faciès fins à débris d'échinodermes en majorité circalittoraux sur un ensemble oolitique ou bioclastique grossier.

De nombreux *Lyticoceras*, accompagnés de *Saynella clypeiformis*, ont été collectés dans les marnes (Salève, Vuache, Mont-de-Musièges, Clergeon, Col de l'Epine). Ces niveaux représentent la Zone à Nodosoplicatum.

Séquence 4 (D-E)

La discontinuité E, toujours bien marquée dans la morphologie, représente le dernier épisode marneux sous les bancs massifs formant la falaise urgonienne. Elle correspond également à l'arrivée de faciès externes, à faune essentiellement circalittorale, sur des faciès bioclastiques grossiers.

Dans cet intervalle, la rareté des ammonites correspond à la dominance de faciès moins profonds. On y connaît cependant :

- *Lyticoceras* sp. à son sommet (Grand-Essert). C'est une forme caractéristique de l'Hauterivien inférieur.
- cf. *Cruasiceras crasense* (Mont-Clergeon). RÉVIL signalait en 1913 (p. 59-60) un «*Hoplites* de grande taille» dans les «calcaires grenus jaunâtres à bancs marneux» situés au contact de la barre urgonienne de Ruffieux. Selon BUSNARDO (communication orale, 1984), il ne peut s'agir là que d'un *Cruasiceras*, étant donné qu'il n'existe pas d'*Hoplitidés* de grande taille dans l'Hauterivien supérieur ou le Barrémien.
- *Crioceras* sp. («*Crioceras emericai*»? Col de l'Epine?; RÉVIL, 1913), sans valeur stratigraphique. Le problème posé par cette ammonite a été abordé dans l'historique (paragraphe 2).

VIÉBAN (1983) signale également dans cette séquence, à Menthières, un ostracode qui ne dépasse pas l'Hauterivien inférieur : *Protocythere triplicata*.

Cette séquence doit donc être mise en équivalence dans la Zone à *Crasense*.

Séquence 5 (E-F)

La discontinuité F est ainsi définie par VIÉBAN (1983: 141) : «Cet horizon de discontinuité n'est pratiquement pas décelable morphologiquement. Il sépare, par l'intermédiaire de faciès témoignant de milieux relativement profonds, deux séquences sédimentologiquement bien différentes.

»Le sommet de la séquence 4 sous-jacente, marqué par d'importantes variations latérales de faciès à l'échelle de la région, correspond à des milieux de bordure externe ou bien de bordure interne.

»Au-dessus de la discontinuité se développent des faciès typiques de milieux proches du domaine interne de la plate-forme, dans lesquels les Orbitolinidés et les Rudistes font leur apparition.»

Seule la base de cette séquence a fourni une faune significative :

- *Crioceratites cf. nolani* (Ruffieux). Cette ammonite, bien que n'indiquant pas de biozone particulière, est limitée à l'Hauterivien.
- *Schuleridea thoerenensis-werlensis* et *Asciocythere brevis*, ostracodes ne dépassant pas la base de l'Hauterivien supérieur (La Chambotte).
- *Toxaster retusus*, échinide hauterivien qui disparaît dans la partie supérieure de la Zone à *Angulicostata* où il est remplacé par *Toxaster seynensis*.

Les comparaisons avec le domaine hémipélagique présabalpin tout proche incitent, d'autre part, à corrérer le niveau marneux de base avec la partie basale des «Couches à Panopées» qui ont fourni une multitude de *Subsaynella sayni*.

La partie inférieure de la séquence 5 se trouve donc vraisemblablement dans la Zone à *Sayni*.

Sa partie supérieure, qui constitue la base de la falaise urgonienne, ne contient évidemment plus de microfaune caractéristique mais a fourni à VIÉBAN (1983) des orbitolines réputées barrémien, déterminées par ARNAUD-VANNEAU.

La découverte récente de très nombreuses ammonites à la base de la falaise urgonienne de la Chartreuse et du Vercors (CLAVEL et al., 1986, 1987), a permis de réviser la répartition stratigraphique de ces orbitolines, dont l'extension dans le domaine subalpin est la suivante :

- *Paracoskinolina sunnilandensis* : Hauterivien supérieur (*Sayni*) - Barrémien supérieur (*Astieri*).
- *Urgonina alpicensis-protuberans* : Hauterivien supérieur (*Angulicostata*) - Barrémien inférieur (*Moutoni*).
- *Urgonina* sp. I : Hauterivien supérieur (*Angulicostata*).

Au Vuache, cette séquence a fourni à BLONDEL et al. (1986) *Dictyorbitolina ichnusae*, sur toute son étendue. Dans la Chartreuse et le Vercors, cette espèce est limitée à l'Hauterivien supérieur. Elle persiste toutefois à la base de la Zone à *Hugii* (Barrémien basal) dans le massif subalpin des Bornes, où elle est accompagnée de *Valserina brönnimanni*, qui apparaît dans la séquence sus-jacente au Vuache.

En l'absence de faune plus significative, il est légitime de placer ces niveaux du sommet dans la Zone à *Angulicostata*.

Il apparaît ainsi que, contrairement à l'opinion communément admise jusqu'à ce jour, les faciès urgoniens typiques de plate-forme carbonatée s'installent dans le Jura méridional durant l'Hauterivien supérieur, et non au Barrémien supérieur. Le schéma biostratigraphique proposé ici est d'ailleurs confirmé par les datations obtenues dans le domaine présabalpin des Bornes, des Bauges, de la Chartreuse et du Vercors, où les nombreuses ammonites collectées au contact des faciès urgoniens et à leur base démontrent qu'ils apparaissent là aussi dans l'Hauterivien supérieur.

Nous témoignons notre gratitude à R. BUSNARDO qui a déterminé et révisé les ammonites citées; nous adressons également nos vifs remerciements au Fonds national suisse de la recherche scientifique (projets N° 2.434-0.75 et 2.315-0.84) sans le soutien duquel nous n'aurions pas pu mener à bien cette étude.

4. BIBLIOGRAPHIE

- BLONDEL, T., CHAROLLAIS, J., CLAVEL, B. & SCHROEDER R. — (1986). Livret-guide excursion N° 1, Benthos 86. *Série Guide géologique* N° 5, Dpt. Géol. et Paléont. Univ. Genève.
- CHAROLLAIS, J., CLAVEL, B., BUSNARDO, R. & MAURICE, B. — (1989). L'Hauterivien du Jura du Bassin genevois. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 49-72, Neuchâtel.
- CLAVEL, B. — (1989). Echinides du Crétacé inférieur jurassien: stratigraphie, paléoécologie, paléontologie. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 149-182, Neuchâtel.
- CLAVEL, B., BUSNARDO, R. & CHAROLLAIS, J. — (1986). Chronologie de la mise en place de la plate-forme urgonienne du Jura au Vercors (France). *C. R. Acad. Sci. (Paris)* 302: 583-586.
- CLAVEL, B., CHAROLLAIS, J. & BUSNARDO, R. — (1987). Données biostratigraphiques nouvelles sur l'apparition des faciès urgoniens du Jura au Vercors. *Eclogae geol. Helv.* 80: 59-68.
- CLAVEL, B., DONZE, P. & WALTER, B. (en cours). Nouvelles données biostratigraphiques sur le passage Valanginien-Hauterivien dans le Jura. *Eclogae geol. Helv.* (à paraître).
- JOUKOWSKY, E. & FAVRE, J. — (1913). Monographie géologique et paléontologique du Salève (Haute-Savoie, France). *Mém. Soc. Phys. Hist. nat. Genève* 37/4: 295-523.
- KILIAN, W. — (1895). Notice stratigraphique sur les environs de Sisteron et contributions à la connaissance des terrains secondaires du sud-est de la France. *Bull. Soc. géol. France* 23: 659-803.
- PAQUIER, V. — (1900). Recherches géologiques dans le Diois et les Baronnies orientales. Thèse, doct., Grenoble, 402 p.
- REMANE, J. — (1989). The historical type Hauterivian of the Jura Mountains. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 9-18, Neuchâtel.
- RÉVIL, J. — (1911). Géologie des chaînes jurassiennes et subalpines de la Savoie. *Mém. Acad. Savoie*, 5/1, 622 p.
- (1913). Géologie des chaînes jurassiennes et subalpines de la Savoie. *Mém. Acad. Savoie*, 5/2, 301 p.
- SCHARDT, H. — (1891). Etudes géologiques sur l'extrême méridionale de la première chaîne du Jura (chaîne du Reculet-Vuache). *Bull. Soc. vaud. Sci. nat.* 27: 69-158 (B. 103).
- 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 paléontologie. *Thèse 3^e cycle*, Univ. Grenoble, 222 p.

<i>Mémoires de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles</i>	Tome XI	p. 299-305, 2 fig.	Neuchâtel, 1989
---	---------	--------------------	-----------------

CORRÉLATION DES FORMATIONS HAUTERIVIENNES DU JURA MÉRIDIONAL AU JURA NEUCHÂTELOIS

par

Bernard CLAVEL et Jean CHAROLLAIS

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

ABSTRACT. — Hauerivian formations of Jura mountains exhibit lithological variability linked to Urgonian plateform progradation. The faunistic associations being characteristic of distinct environments, cannot be directly compared. Correlations are nevertheless attempted on the basis of a sequential model, the terms of which can be identified both in Northern and Southern domains.

ZUSAMMENFASSUNG. — Die Hauerivian-Formationen des Jura zeigen Variationen in der Lithologie, welche an die Progradation der Urgon-Plattform gebunden sind. Die Faunenvergesellschaftungen gehören verschiedenen Ablagerungsbereichen an und sind deshalb nicht direkt vergleichbar. Korrelationen können jedoch aufgrund eines sequentiellen Schemas durchgeführt werden, dessen Elemente im Norden wie im Süden eindeutig erkennbar sind.

RÉSUMÉ. — Les formations haueriviennes du Jura présentent des variations lithologiques liées à la progradation de la plate-forme urgonienne. Caractéristiques de milieux différents, les associations faunistiques ne sont alors plus directement comparables. Des corrélations peuvent toutefois être établies à partir d'un schéma séquentiel dont les termes sont clairement identifiables au N comme au S.

1. INTRODUCTION

De nombreuses et nouvelles données paléontologiques et sédimentologiques ont pu être réunies dans le Jura vaudois et neuchâtelois, lors de la révision des stratotypes historiques qui fait l'objet de ce volume, aussi bien que dans le Jura méridional (CHAROLLAIS et al., ce vol., CLAVEL et al., ce vol.). Ces deux domaines géographiques, mitoyens, appartiennent à un ensemble morphologiquement homogène, sans accident tectonique majeur, où les faciès du Crétacé inférieur, partout bien représentés dans les chaînons jurassiens les plus externes, permettent des observations très rapprochées les unes des autres. Les nombreuses coupes étudiées dans le cadre de ce travail ne seront pas citées dans le texte : mais leur succession continue du N au S est illustrée dans la carte des localisations (fig. 1).

Les corrélations proposées ici reposent sur la collecte d'une faune caractéristique abondante et sur l'existence d'une organisation séquentielle dont la cohérence a pu être vérifiée en de nombreux points dans la région considérée aussi bien que dans le bassin subalpin. Elles sont résumées dans la fig. 2, qui regroupe de manière synthétique les observations et les conclusions détaillées par ailleurs dans ce volume.

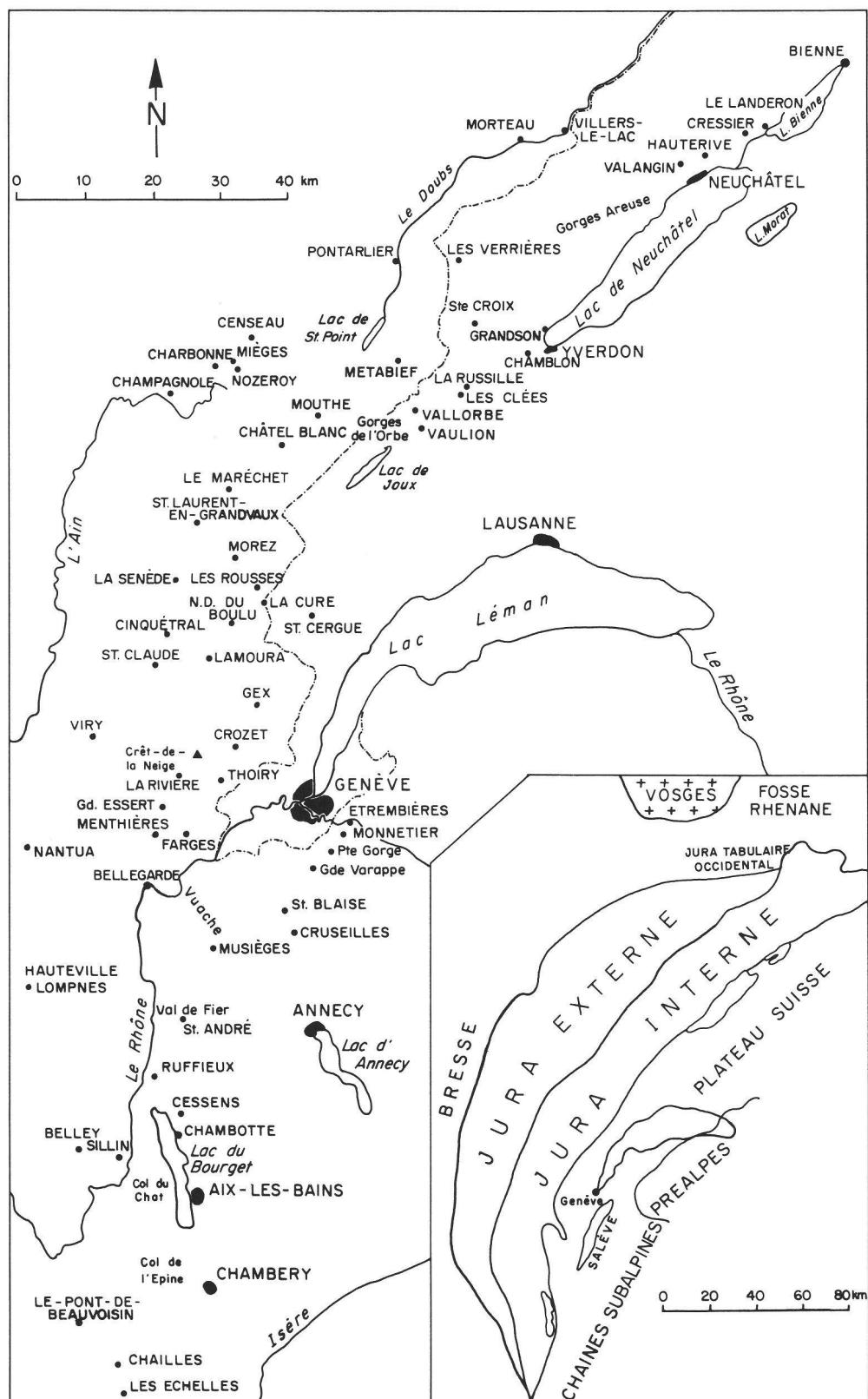


FIG. 1. — Localisation géographique des principales coupes étudiées.

2. DONNÉES PALÉONTOLOGIQUES

Les nombreuses ammonites et les nombreux échinides collectés (BUSNARDO & THIEULOUY; CLAVEL; CHAROLLAIS et al., ce vol.) ont permis d'identifier, dans le Jura neuchâtelois et vaudois comme dans le Jura méridional, la partie sommitale du Valanginien, la limite Valanginien-Hauterivien, ainsi que les trois premières Zones de l'Hauterivien inférieur (*Radiatus*, *Loryi*, *Nodosoplicatum*). Les corrélations reposent donc sur quatre horizons-repères biostratigraphiquement isochrones, représentant les «séries marneuses» de la région stratotypique.

Il en va différemment des séries carbonatées sises au-dessus. En effet, dans le Jura neuchâtelois, les associations d'échinides (CLAVEL, ce vol.) et l'analyse sédimentologique montrent que les faciès de plate-forme infralittorale s'installent définitivement dès le sommet de la Pierre jaune de Neuchâtel avec des calcaires oolitiques, bioclastiques, intercalés de petits niveaux de marnes grumeleuses à faune elle aussi infralittorale (notamment échinides, bryozoaires).

Dans le S par contre, les échinides caractéristiques du milieu circalittoral persistent jusqu'à la base de la falaise urgonienne massive («Urgonien blanc»), ceci en raison de la progradation N-S des faciès de plate-forme. Dès «l'Urgonien jaune» (et son équivalent dans le Jura méridional), la corrélation paléontologique directe qui a pu être utilisée dans les séries marneuses sous-jacentes s'avère donc impossible, les milieux et les faunes étant différents.

Alors que des ammonites ont été collectées dans le Jura méridional jusqu'à la base de «l'Urgonien blanc», il est vain d'espérer en trouver en même position dans le Jura neuchâtelois, dès le sommet de la Pierre jaune de Neuchâtel. On n'en connaît d'ailleurs aucune, malgré l'ampleur des collections anciennes de cette région. C'est donc par le biais d'une corrélation séquentielle étroitement liée à l'analyse de faunes que les datations des séries carbonatées du N et du S peuvent être réconciliées.

3. DONNÉES SÉQUENTIELLES

La corrélation séquentielle, basée sur l'identification de discontinuités majeures supposées isochrones, peut être légitimement utilisée entre les domaines mitoyens que sont le Jura neuchâtelois et vaudois et le Jura méridional. Marquées par un brutal contact entre des sédiments d'environnements différents, ces discontinuités définissent un certain nombre de séquences régressives au sens klupfélien du terme. Généralement représentées par la superposition de marnes hémpélagiques sur des calcaires bioclastiques infralittoraux, elles se traduisent sur la plate-forme urgonienne, par l'apparition de faciès nettement plus externes.

Du sommet du Valanginien à la base de la masse de «l'Urgonien blanc» (fig. 2), cinq discontinuités majeures sont aisément repérables dans le S (A-F, CLAVEL & CHAROLLAIS, ce vol.), quatre seulement dans le N (β - ε , CONRAD & MASSE, ce vol.). En effet, dans le Jura méridional, (sauf à Menthières et au Mont-de-Musièges, en raison du jeu synsédimentaire de la faille du Vuache démontré par CHAROLLAIS et al., 1983), les marnes du Valanginien sommital — Zone à *Callidiscus* — (= base des Marnes bleues *auct.*) reposent sur les calcaires bioclastiques infralittoraux à *Alectryonia rectangularis* attribués à la Zone à *Trinodosum*. Dans le Jura neuchâtelois et vaudois, par contre, ces mêmes marnes (Marnes bleues dites d'Hauterive, ou marnes jaunes) se poursuivent sans modification notable jusqu'au toit du Calcaire roux du Valanginien inférieur. Tout au plus à Sainte-Croix (Vaud) comme à Censeau (Doubs), le sommet de la Zone à *Trinodosum* est-il marqué par un épisode légèrement plus calcaire, mais à faune toujours circalittorale. A Valangin et au Landeron, par contre, aucune augmentation du taux des carbonates n'a jusqu'à présent été mis en évidence dans les quelques dizaines de centimètres de marnes plastiques qui représentent l'ensemble du Valanginien supérieur.

La limite Valanginien-Hauterivien ayant été définie paléontologiquement dans les deux domaines, la reconnaissance formelle de la conformité équivalant dans le N à la discontinuité A du S n'est pas d'un grand intérêt stratigraphique.

Les données séquentielles concordent avec les conclusions paléontologiques dans les horizons de discontinuité existant au milieu des «Marnes d'Hauterive» ($B = \beta$, Zone à *Radiatus*), et à la base de la partie supérieure

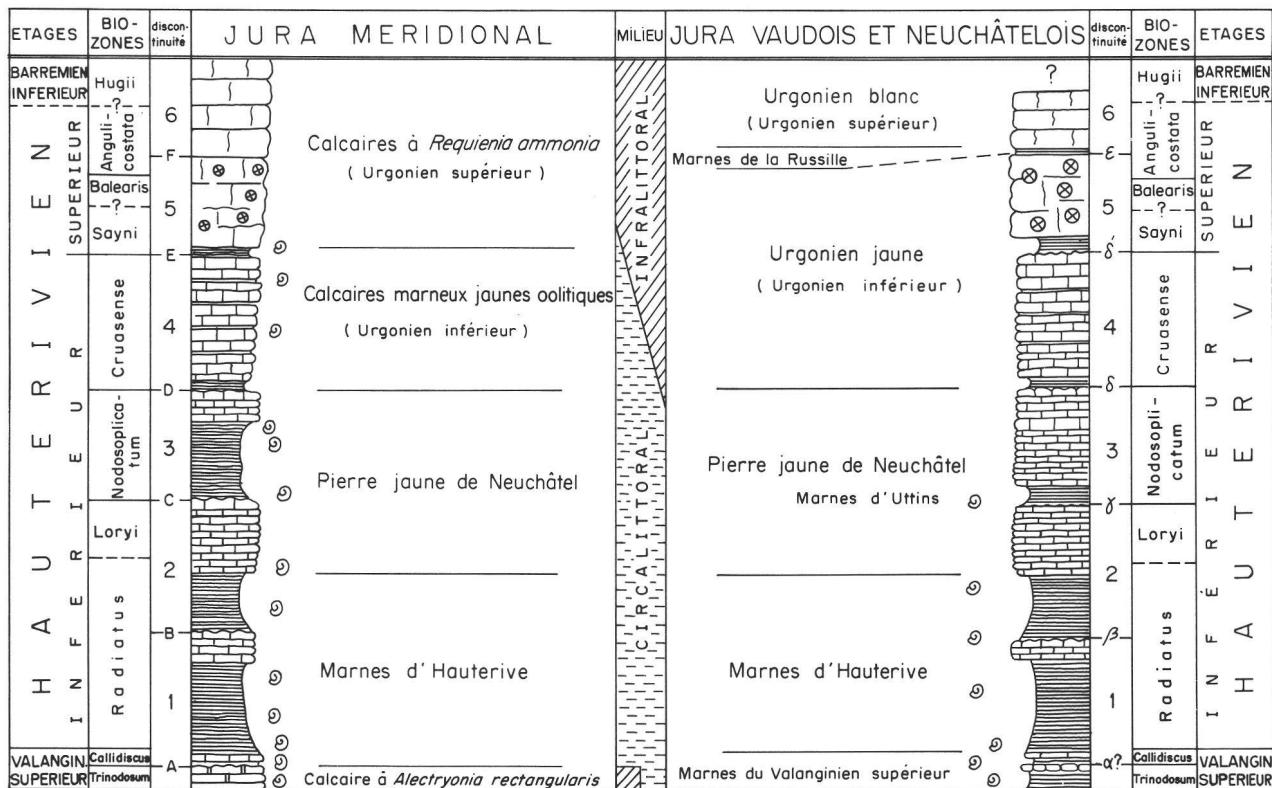


FIG. 2. — Corrélations séquentielles et biostratigraphiques entre le Jura méridional et le Jura neuchâtelois. En l'absence d'éléments plus précis, les limites de zones ont été assimilées aux limites de séquences.

de la «Pierre jaune de Neuchâtel» (= Marnes d'Uttins) ($C = \gamma$, Zone à Nodosoplicatum). Ce dernier horizon de discontinuité, C dans le S, γ dans le N, est daté de part et d'autre par des ammonites de la Zone à Nodosoplicatum : il constitue un repère biostratigraphique sûr qui servira de base à l'étude stratigraphique des séries carbonatées sus-jacentes.

A partir de cet horizon, l'évolution séquentielle se poursuit avec une remarquable identité dans l'ensemble du Jura :

- La discontinuité $D = \delta$, au sommet des faciès «Pierre jaune de Neuchâtel», marque la base de la séquence 4 («Urgonien jaune»).
- La discontinuité $E = \delta'$, du Jura méridional correspond dans le Jura neuchâtelois et vaudois à une discontinuité non signalée dans ce volume par CONRAD & MASSE, nommée ici δ' . Parfaitement identifiable dans les gorges de l'Orbe et à Vaulion, elle est plus difficile à déceler dans les autres coupes de référence. C'est pourquoi CONRAD & MASSE ne l'ont pas retenue dans leur schéma séquentiel. De l'avis de ces auteurs, elle existe cependant de façon indubitable (communication orale ; mai 1985).

Tout comme dans le S, elle se situe au-dessous des calcaires à cnidaires qui constituent dans le Jura neuchâtelois et vaudois la partie supérieure de «l'Urgonien jaune» des auteurs, dans le Jura méridional la base de la falaise urgonienne massive traditionnellement considérée comme représentant la base de «l'Urgonien blanc».

— La discontinuité $F = \varepsilon$, à la base des calcaires massifs à rudistes et uniquement identifiable par l'analyse sédimentologique dans le S, correspond dans le N à un niveau marneux d'épaisseur décimétrique ou à un épisode légèrement plus argileux que les calcaires encaissants, qui sépare les calcaires à cnidaires (sommet de «l'Urgonien jaune») des calcaires à rudistes («Urgonien blanc»). Ce dernier niveau est déterminé par CONRAD & MASSE comme niveau des «Marnes de La Russille».

L'incertitude qui régnait depuis JACCARD sur la position stratigraphique exacte de ces marnes au sein de «l'Urgonien jaune» a conduit nombre d'auteurs à des assimilations malencontreuses, tant dans le N que dans le S du Jura. Les travaux de CONRAD & MASSE (ce vol.), ont le mérite de lever cette incertitude. Il faut, d'autre part, constater que la faune d'échinides récoltée autrefois dans ce niveau n'a qu'une signification paléoécologique (environnement de plate-forme) et que l'argumentation des auteurs (non JACCARD lui-même), qui ont voulu en faire le «Russilien» ne repose sur aucune donnée paléontologique significative.

4. CORRÉLATIONS BIOSTRATIGRAPHIQUES

Les trois premières séquences ayant fourni des ammonites caractéristiques tant dans le Jura neuchâtelois que dans le Jura méridional, leur corrélation biostratigraphique ne présente pas la moindre difficulté.

Il faut cependant noter que la partie supérieure de la séquence 3 (= partie supérieure de la «Pierre jaune de Neuchâtel»), essentiellement bioclastique, a cependant fourni au Landeron *Toxaster retusus*, échinide circalittoral immédiatement surmonté de l'association *Pseudocidaris clunifera*, *Goniopygus peltatus*, *Cidaris lardyi*. Ces derniers échinides sont exclusivement cantonnés dans les faciès infralittoraux de la plate-forme urgonienne dont ils constituent l'association classique. Ils font leur apparition dès le sommet de la Pierre jaune de Neuchâtel dans le Jura neuchâtelois, tandis qu'ils n'apparaissent au S qu'au sein de «l'Urgonien blanc», un peu en dessous des Calcaires marneux de la Rivière.

Leur apparition progressive du N au S de plus en plus haut dans les séries, en remplacement des *Toxaster* circalittoraux permet de suivre pas à pas la progradation de la plate-forme urgonienne (CLAVEL, ce vol.).

Séquence 4 (D - E; δ - δ')

Elle a été attribuée dans le S à la Zone à Cruasense, sommet de l'Hauterivien inférieur, avec une faune circalittorale (ammonites, *Toxaster retusus*).

Dans le Jura neuchâtelois et vaudois, elle correspond à des milieux infralittoraux où la macrofaune, échinides notamment, est liée au faciès et n'est plus stratigraphiquement significative : association à *Pseudocidaris clunifera* connue en milieu de plate-forme de l'Hauterivien inférieur au Barrémien supérieur, *Eucymatoceras* gr. *plicatum* primitif actuellement sans signification stratigraphique (TINTANT, communication orale, 31.1.1983). La microfaune caractéristique en est également absente. Par contre, les algues, bien représentées, y constituent l'association A2 (CONRAD & MASSE, ce vol.), reconnue ailleurs comme existante dans l'Hauterivien inférieur.

Aucun argument paléontologique ne permet donc une datation précise dans le N. Mais aucun non plus ne s'oppose à sa mise en équivalence, pour des raisons séquentielles, avec la Zone à Cruasense identifiée dans le Jura méridional.

Séquence 5 (E - F; δ' - ε)

Dans le Jura méridional, sa base commence dans la Zone à Sayni, base de l'Hauterivien supérieur, sa partie sommitale dans la Zone à Angulicostata, sommet de l'Hauterivien supérieur. Dans le Jura neuchâtelois et vaudois, cette séquence correspond à la partie supérieure de «l'Urgonien jaune», principalement constituée de faciès à cnidaires.

La macrofaune y est identique à celle de la séquence précédente. Par contre, l'association d'algues A3 ajoute à l'ensemble déjà présent, de nouvelles espèces, également reconnues hauteriviennes ailleurs.

Les premiers orbitolinidés y font aussi leur apparition, dans la partie supérieure, avec trois espèces: *Paracoskinolina sunnilandensis*, *Paleodictyoconus* sp. 1, *Dictyorbitolina ichnusae* (ARNAUD-VANNEAU & MASSE, ce vol.). Dans la Chartreuse et le Vercors, leur répartition stratigraphique a pu être nouvellement précisée grâce à la récolte de nombreuses ammonites à la base des calcaires urgoniens (CLAVEL et al., 1986, 1987): *Dictyorbitolina ichnusae* y est limitée à l'Hauterivien supérieur (Sayni - Angulicostata), *Paleodictyoconus* sp. 1 est connu de la Zone à Sayni (Hauterivien supérieur) à la Zone à Hugii (base du Barrémien inférieur), *Paracoskinolina sunnilandensis* va de la Zone à Sayni à la Zone à Astieri (Barrémien supérieur). Dans le Jura neuchâtelois et vaudois comme dans le Jura méridional, en fonction des éléments obtenus des deux côtés, cette séquence doit donc être attribuée à l'Hauterivien supérieur *pro parte*, sa base représentant la Zone à Sayni, son sommet la base de la Zone à Angulicostata. Aucune observation ne permet actuellement de singulariser la Zone à Balearis au sein de cet ensemble.

Séquence 6 (au-dessus de F, au-dessus de ε)

Le début de la séquence 6 est représenté dans le N par les Marnes de La Russille, à la base des faciès à rudistes de «l'Urgonien blanc». Sa discontinuité sommitale n'a pu être identifiée en raison d'importantes lacunes, soit d'affleurement soit de sédimentation ou d'érosion, qui affectent l'Urgonien de cette région. Dans les coupes étudiées, «l'Urgonien blanc» n'affleure sur plus de quelques mètres qu'à Eclépens (15 m) et Vaulion (23 m), au-dessus de l'horizon de discontinuité.

Les orbitolinidés de la séquence précédente s'y retrouvent, aux côtés de formes nouvelles: *Cribellopsiss aff. elongata*, *Urgonina alpicensis-protuberans* (ARNAUD-VANNEAU & MASSE, ce vol.), *Paleodictyoconus* sp. 2; *Paracoskinolina? reicheli*.

Leur répartition stratigraphique dans les coupes de la Chartreuse et du Vercors nouvellement datées par ammonites (CLAVEL et al., 1987) a dû être révisée; elle est la suivante:

- *Cribellopsiss aff. elongata*: partie supérieure de la Zone à Angulicostata (Hauterivien supérieur terminal) — Zone à Hugii (Barrémien inférieur basal).
- *Urgonina alpicensis-protuberans*: partie supérieure de la Zone à Angulicostata (Hauterivien supérieur terminal) — Zone à Moutoni (Barrémien inférieur basal).
- *Paleodictyoconus* sp. 2: Zone à Angulicostata (Hauterivien supérieur) — Zone à Barremense (Barrémien supérieur basal).
- *Paracoskinolina reicheli*: Zone à Angulicostata (Hauterivien supérieur? — Bédoulien inférieur?) A La Chambotte (Jura méridional), cette espèce a été déterminée par A. ARNAUD (VIÉBAN 1983) en compagnie de *Dictyorbitolina ichnusae*, au-dessous de *Valserina primitiva*. Cette dernière forme apparaît dans l'Hauterivien supérieur et disparaît dans la partie basale de la Zone à Hugii (Barrémien basal) pour laisser place à une espèce plus évoluée — *Valserina brönnimanni* — [communication orale R. SCHROEDER, travaux en cours sur des coupes datées par ammonites].

La partie inférieure de «l'Urgonien blanc» du Jura neuchâtelois et vaudois, base de la séquence 6, doit donc être assignée à la partie supérieure de la Zone à Angulicostata (Hauterivien terminal), tout comme dans le Jura méridional. Là encore, les faunes ne sont pas en contradiction avec les données de la corrélation séquentielle.

La limite Hauterivien-Barrémien est cependant impossible à préciser. Elle est ici placée provisoirement dans les derniers mètres de l'Urgonien observable à Vaulion, quelque 20 m au-dessus de la discontinuité. Mais, il faut admettre qu'on ne possède aucun argument paléontologique pour étayer cette hypothèse. Aucune des coupes étudiées n'a fourni de faune caractéristique du Barrémien (les foraminifères autres que les orbitolines ne possédant pas actuellement de crédibilité suffisante), et la seule orbitoline exclusivement hauterivienne dans le Vercors et la Chartreuse (*Dictyorbitolina ichnusae*), n'existe pas dans la coupe de Vaulion et est présente jusqu'au sommet à Eclépens: on ne peut donc arguer de sa disparition pour admettre l'apparition du Barrémien.

La découverte récente de *Paracoskinolina? reicheli* à Eclépens inciterait à abaisser cette limite à la partie basale de la séquence 6.

Les observations effectuées dans le Massif des Bornes ne permettent pas pour l'instant de lever cette incertitude : si *Dictyorbitolina ichnusae* y est connue à la base de la Zone à Hugii, *Paracoskinolina? reicheli* y est peut-être déjà présente au sommet de l'Hauterivien (travaux en cours).

Comme l'ont relevé CLAVEL & CHAROLLAIS (ce vol.), la même incertitude demeure pour l'instant dans le Jura méridional où, en l'absence de faune caractéristique du Barrémien, la limite Hauterivien-Barrémien a été également fixée provisoirement dans la partie moyenne de la séquence 6. Eu égard à la progradation N-S de la plate-forme urgonienne, on doit cependant admettre que les faciès à rudistes s'installent plus tôt dans le Jura neuchâtelois et vaudois que dans le Jura méridional et le domaine présabalpin. Leur datation précise dans ces dernières régions permettra seule de définir la limite Hauterivien-Barrémien dans le N du Jura.

5. CONCLUSION

A l'issue des travaux dont il est rendu compte dans ce volume, un fait doit être tenu pour acquis : l'apparition à l'Hauterivien inférieur des faciès de plate-forme carbonatée (Urgonien) dans l'ensemble du Jura.

La progradation de ces faciès, dans le sens NW-SE en direction du bassin subalpin, se fait durant l'intervalle *Nodosoplicatum-Sayni*. Après une brève période de mise en place définitive de la plate-forme (disparition des ingressions circalittorales dans le S, généralisation des faciès à cnidaires), les calcaires à rudistes (Urgonien *s. str.*) s'installent dès le sommet de l'Hauterivien supérieur (partie supérieure de la Zone à *Angulicostata*). Ces conclusions sont en accord avec les datations récemment obtenues dans le domaine présabalpin des Bauges, de la Chartreuse et du Vercors, où les faciès urgoniens apparaissent également dans l'Hauterivien supérieur (CLAVEL et al., 1986, 1987).

Les opinions communément admises jusqu'à la mise en route de la révision des stratotypes historiques doivent donc être abandonnées au profit de conclusions nouvelles basées sur l'identification du schéma séquentiel général et sa datation par une faune caractéristique des biozones d'ammonites.

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

- ARNAUD-VANNEAU, A. & MASSE, J.-P. — (1989). Les foraminifères benthiques des formations carbonatées de l'Hauterivien et du Barrémien p.p. du Jura vaudois et neuchâtelois. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 257-276, Neuchâtel.
- 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.
- 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.* 363, 76/3: 217-256.
- CHAROLLAIS, J., CLAVEL, B., BUSNARDO, R. & MAURICE, B. — (1989). L'Hauterivien du Jura du Bassin genevois. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 49-72, Neuchâtel.
- CLAVEL, B. — (1989). Echinides du Crétacé inférieur jurassien : stratigraphie, paléoécologie, paléontologie. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 149-182, Neuchâtel.
- CLAVEL, B. & CHAROLLAIS, J. — (1989). Biostratigraphie de l'Hauterivien du Jura méridional. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 291-298, Neuchâtel.
- CLAVEL, B., BUSNARDO, R. & CHAROLLAIS, J. — (1986). Chronologie de la mise en place de la plate-forme urgonienne du Jura au Vercors (France). *C.R. Acad. Sci. Paris* 302, II, 8: 583-586.
- CLAVEL, B., CHAROLLAIS, J. & BUSNARDO, R. — (1987). Données biostratigraphiques nouvelles sur l'apparition des faciès urgoniens du Jura au Vercors. *Eclogae geol. Helv.*, 80: 59-68.
- CONRAD, M.-A. & MASSE, J.-P. — (1989). Corrélations des séries carbonatées de l'Hauterivien et du Barrémien p.p. dans le NW vaudois. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 307-322, Neuchâtel.
- CONRAD, M.-A. & MASSE, J.-P. — (1989). Les algues calcaires des formations carbonatées de l'Hauterivien-Barrémien p.p. du Jura vaudois et neuchâtelois. *Mém. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11: 277-290, Neuchâtel.
- JACCARD, A. — (1893). Deuxième supplément à la Description géologique du Jura neuchâtelois, vaudois, des districts adjacents du Jura français et de la plaine suisse. *Mat. Carte géol. Suisse*, 7^e livre.
- 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 paléontologie. *Thèse 3^e cycle*, Univ. Grenoble, 222 p.

<i>Mémoires de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles</i>	Tome XI	p. 307-322, 6 fig.	Neuchâtel, 1989
---	---------	--------------------	-----------------

CORRÉLATIONS DES SÉRIES CARBONATÉES DE L'HAUTERIVIEN ET DU BARRÉMIEN PRO PARTE DANS LE NORD-OUEST VAUDOIS (SUISSE)

par

Marc A. CONRAD et J.-P. MASSE

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

ABSTRACT. — Semi-detailed investigations were made on Hauterivian limestones and marls cropping out in north-west Canton of Vaud. Following upward shoaling sequences are described :

- sequence H2 includes the upper half of the Marnes d'Hauterive, and the lower Pierre jaune de Neuchâtel. The age is Early Hauterivian.
- sequence PJ includes the Marnes d'Uttins and the upper Pierre jaune de Neuchâtel. Based on one ammonite found at the bottom of the sequence and correlations established with the southern Jura, the age has now been assigned to the Early Hauterivian.
- sequence UJ corresponds approximately to the "Urgonien inférieur" (lower urgonian limestones). Based on correlations established with the southern Jura, the age has now been assigned to the early and/or Late Hauterivian.
- sequence UB starts close to the bottom of the "Urgonien supérieur" (upper urgonian limestones), whose upper part contains Barremian orbitolinids. The 10 cm-thick, fossiliferous Marne de La Russille lies at bottom of the sequence. Several molluscs, gastropods and brachiopods are found in this level and were first described in the 19th century. The age of the Marne de La Russille has now been assigned to the Hauterivian.

RÉSUMÉ. — L'étude des calcaires et marnes hauteriviens dans le NW du canton de Vaud nous a permis de mettre en évidence les séquences régressives suivantes :

- La séquence H2 comprend la partie supérieure des Marnes d'Hauterive et la Pierre jaune de Neuchâtel inférieure. Son âge est Hauterivien inférieur.
- La séquence PJ inclut les Marnes d'Uttins et la Pierre jaune de Neuchâtel supérieure. Grâce à une ammonite trouvée à la base de cette séquence et aux corrélations établies avec le Jura méridional, son âge a pu être déterminé comme Hauterivien inférieur.
- La séquence UJ correspond à peu près à «l'Urgonien inférieur» (calcaires urgoniens inférieurs). Sur la base des corrélations avec le Jura méridional, nous plaçons cette séquence dans l'Hauterivien inférieur et/ou supérieur.
- La séquence UB débute près de la base de «l'Urgonien supérieur» (calcaires urgoniens supérieurs) dont la partie supérieure renferme des orbitolinidés barrémiens. Les 10 cm fossilifères de la Marne de La Russille se situent à la base de cette séquence. Divers mollusques, gastéropodes et brachiopodes se trouvent dans le niveau et furent décrits pour la première fois au XIX^e siècle. Nous attribuons désormais la Marne de La Russille à l'Hauterivien.

1. INTRODUCTION

L'objet de cet article est de préciser l'âge et d'étudier succinctement le contenu des sédiments compris entre la Mergelkalkzone (ou la Marne bleue), datée du Valanginien supérieur et de l'Hauterivien inférieur, et les calcaires urgoniens à rudistes datés en partie du Barrémien. L'étude portera sur la Pierre jaune, «l'Urgonien inférieur» et «l'Urgonien supérieur» des auteurs dans le nord-ouest du canton de Vaud. Cette région présente en effet l'avantage de fournir plusieurs coupes fondamentales relativement proches les unes des autres et qui se complètent mutuellement.

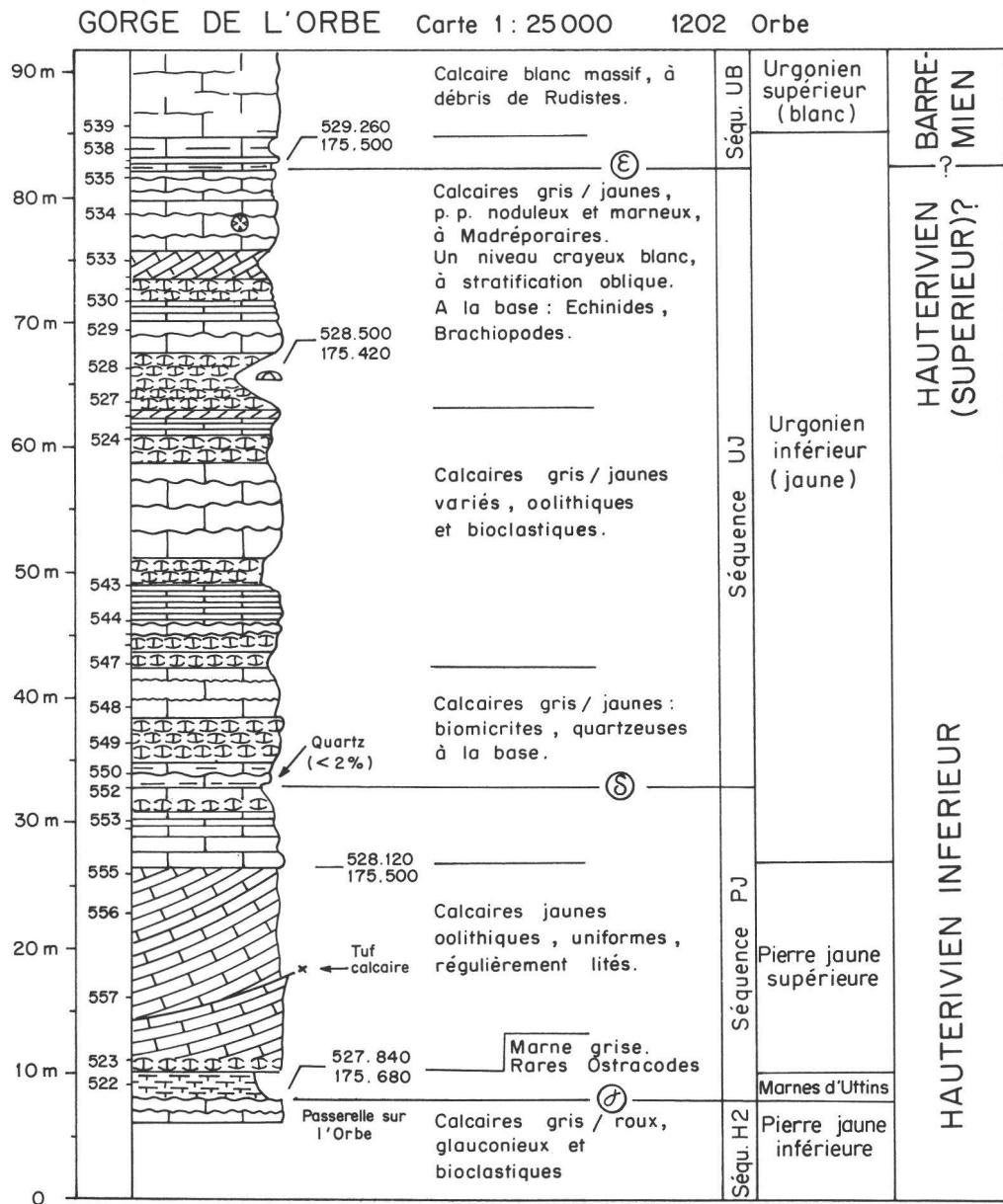


FIG. 1. — Coupe des gorges de l'Orbe.

Les corrélations s'appuient sur des observations faites essentiellement sur sept coupes (nouvelle carrière d'Eclépens, synclinal de Vaulion, gare de Vallorbe, localité historique de La Russille, gorges de l'Orbe, carrière d'Uttins au Mont-de-Chamblon, cascade du Dard près de Croy), toutes situées dans le périmètre de la carte nationale de la Suisse, feuille 251, La Sarraz (1:50 000).

Les affleurements de Buttes, dans le Jura neuchâtelois, de Gellin-Rochejean et d'Oye-et-Pallet, dans le Jura franc-comtois et la vallée du Doubs, comprennent des intercalations de biostromes de *Pachytraga tubiconcha* (Rudistes) dans l'Hauterivien ; ils font l'objet d'articles séparés (MASSE et al., ce vol. ; REMANE et al., ce vol.).

2. HISTORIQUE

Une synthèse des observations faites par les auteurs ayant travaillé dans le nord-ouest vaudois du XIX^e siècle à nos jours permet de dresser le tableau récapitulatif suivant. Les âges indiqués étaient communément acceptés, jusqu'aux découvertes récentes faisant l'objet de cette publication.

Urgonien supérieur

(DESOR & GRESSLY, 1859)

BARRÉMIEN

40 m de calcaires blancs à rudistes

SUPÉRIEUR

Synonymes : Urgonien II, Calcaire à *Requienia* (SCHARDT, 1891), Urgonien blanc (CUSTER, 1928), Barrémien supérieur (NOLTHENIUS, 1921 ; AUBERT, 1963)

(Auct.)

Urgonien inférieur

(DESOR & GRESSLY, 1859)

BARRÉMIEN

30-50 m de calcaires jaunes, grumeleux, marneux, oolithiques, fossilifères

INFÉRIEUR

Synonymes : Calcaire jaune urgonien (CAMPICHE & TRIBOLET, 1858), Couche de La Russille (JACCARD, 1869), Urgonien I (SCHARDT, 1891), Faciès Russillien (SCHARDT & DUBOIS, 1903), Zone de La Russille (JORDI, 1955)

(Auct.)

* Marne de La Russille

(JACCARD, 1861)

0,1 m de marne fossilifère

Pierre jaune, Pierre de Neuchâtel

(MARCOU, 1859)

HAUTERIVIEN

Synonymes : Néocomien calcaire (JACCARD, 1869), Hauterivien III (SCHARDT, 1891). Subdivisé au Mont-de-Chamblon par JORDI (1955) de la façon suivante :

SUPÉRIEUR
(Auct.)

— Obere Pierre jaune, calcaires ocres, très oolithiques, en petits bancs (10-15 m)

— Marnes d'Uttins, fossilifères (4-5 m)

— Untere Pierre jaune, calcaire glauconieux, peu oolithique

Marnes, marno-calcaires, etc.:

HAUTERIVIEN

«Marnes d'Hauterive»

INFÉRIEUR

(Auct.)

* Actuellement placée au sommet de l'Urgonien inférieur.

3. DESCRIPTION DES COUPES

Une description détaillée des coupes sort du cadre de ce travail. Les profils ont donc été dessinés de manière à présenter l'aspect des terrains à l'affleurement. En regard des profils on a noté les principaux événements sédimentaires et paléontologiques susceptibles de faire l'objet d'études ultérieures plus approfondies.

3.1. Coupe des gorges de l'Orbe (fig. 1)

La coupe est localisée dans la partie inférieure des gorges de l'Orbe, à l'amont de la centrale électrique de Montcherand. A notre connaissance, elle est ici relevée pour la première fois et son intérêt est de présenter un affleurement naturel et continu de «l'Urgonien inférieur». On remarquera que les limites de formations (informelles) proposées ici ne correspondent que partiellement aux limites cartographiées par AUBERT (1963): les «calcaires oolithiques uniformes», placés par cet auteur (Notice explicative, p. 8) dans la partie supérieure de la Pierre jaune de Neuchâtel, ont été cartographiés (tout au moins dans les gorges de l'Orbe) à la base du «Barrémien inférieur», c'est-à-dire de «l'Urgonien inférieur».

AUBERT (1963: 8) donne une épaisseur de 30-40 m pour la Pierre jaune de Neuchâtel, et de 30 m pour le «Barrémien inférieur». Nous verrons qu'au total la Pierre jaune mesure environ 28 m, et que «l'Urgonien inférieur» a une épaisseur proche de 57 m.

3.1.1. Pierre jaune inférieure

1. 3-4 m visibles de calcaire gris bioclastique (grainstone), glauconieux, peu oolithique et très échinodermique. Alentours de la passerelle sur l'Orbe, coord. 175,7/527,8. Au toit: hard-ground formant le lit de l'Orbe (discontinuité γ).

L'ensemble de la Pierre jaune inférieure, couronnée par le même hard-ground, affleure 5 km plus au sud, au lieu-dit cascade du Dard, dans la vallée du Nozon. Là, la Pierre jaune inférieure a une épaisseur d'environ 9,5 m et correspond probablement aux niveaux N° 20, 21 et 22 relevés par CUSTER (1928).

3.1.2. Marnes d'Uttins

2. 2 m de marnes grises, affleurant immédiatement à l'aval de la passerelle. Un lavage a fourni des ostracodes déterminés par OERTLI (ce vol.): *Schuleridea clunicularis*, *Cythereis*? sp.

Dans la carrière d'Uttins, au Mont-de-Chamblon, les mêmes marnes ont fourni un *Lyticoceras nodosoplacatum*, ce qui les place dans l'Hauterivien inférieur (REMANE et al., ce vol.). Au-dessus de la cascade du Dard, les Marnes d'Uttins correspondent au niveau N° 23 de la coupe relevée par CUSTER (1928).

3.1.3. Pierre jaune supérieure

3. 17 m environ de calcaires jaune paille, très homogènes, en plaquettes stratifiées obliquement, faiblement glauconieux, oolithiques et bioclastiques (grainstones), affleurant à l'aval de la passerelle. L'affleurement est interrompu au niveau d'une zone faille et couverte d'un tuf calcaire cartographié par AUBERT (1963). Le toit de la Pierre jaune est visible sur la rive gauche de l'Orbe aux coord. 528,12/175,50, l'épaisseur réelle ayant été mesurée par recoupements.

La Pierre jaune supérieure correspond aux «calcaires oolithiques uniformes, régulièrement lités» attribués à l'Hauterivien supérieur par AUBERT (1963).

3.1.4. «Urgonien inférieur» (jaune)

4. 6,2 m de calcaires gris ou jaunes, en partie grumeleux, oolithiques et bioclastiques, formant la partie inférieure d'une paroi subverticale, dominant la rive gauche de l'Orbe (coord. 528,12/175,50). Au toit, environ 10 cm de calcaire marneux gris forment une petite vire en pleine paroi, au-dessus de la discontinuité δ .

5. 16 m de calcaires variés (gris, jaunes, grumeleux, massifs, plaquetés), oolithiques et bioclastiques, relevés en paroi, toujours au même endroit. A la base, le calcaire contient environ 2% de quartz détritique atteignant 200 microns.
6. Non échantillonné. 10 m de calcaires tout d'abord grumeleux, puis massifs, formant une paroi surplombant la rive droite de l'Orbe, environ 150 m à l'aval du point 528,12/175,50.
7. 6,7 m de calcaires gris grumeleux, bioclastiques et oolithiques, relevés le long du sentier sur la rive droite de l'Orbe (528,50/175,42). Au milieu: première intercalation de calcaires bioclastiques (grainstones) blancs, à stratification oblique. Au toit: calcaire marneux fossilifères (brachiopodes, échinides) et noduleux formant une vire prononcée au niveau du sentier.
8. 7,5 m de calcaires gris ou jaunes, successivement grumeleux, massifs, plaquetés et grumeleux, bioclastiques et oolithiques (packstones), relevés le long du sentier à l'aval du point 528,50/175,42. Quelques wackestones à cnidaires.
9. 2,3 m de grainstones blancs crayeux et peu résistants, à stratification oblique, formant un niveau repère visible de loin et relevés aux coord. 529,15/175,50.
10. 6,2 m de calcaires gris massifs (wackstones, packstones) à cnidaires, résistants, relevés à l'aval des coord. 529,26/175,50.
11. 2,7 m de wackestones peu marneux riches en foraminifères benthiques (essentiellement *Choffatella decipiens*), séparés par un banc plus résistant, à cnidaires. La discontinuité ε est placée à la base de ce motif séquentiel (deux niveaux tendres séparés par un banc résistant) qui couronne «l'Urgonien inférieur» aux coord. 529,26/175,50 et dont la présence a aussi été reconnue à La Russille et à la gare de Vallorbe, mais non dans la carrière d'Eclépens.

3.1.5. «Urgonien supérieur» (blanc)

12. 40 m (visibles dans les gorges de l'Orbe) de calcaires blancs à débris de rudistes. Non relevé.

3.2. Coupe de la Russille

L'Urgonien inférieur affleure sur environ 900 m le long de la route cantonale, au sud-ouest de La Russille, entre le lieu dit Vieille-Morte et le nœud routier du point 674. L'affleurement est signalé dès 1861 par JACCARD, qui l'attribuait alors au «Néocomien oolithique».

La coupe de La Russille, a fait l'objet d'un relevé détaillé montrant l'existence de répétitions d'origine tectonique. L'épaisseur affleurante de «l'Urgonien inférieur» atteint 100 m, sans que la base ne pénètre dans la Pierre jaune de Neuchâtel. A 2 km de là, dans les gorges de l'Orbe, l'épaisseur mesurée de «l'Urgonien inférieur» est de 57 m environ.

Comme dans les gorges de l'Orbe, la partie inférieure des calcaires jaunes de «l'Urgonien inférieur» est essentiellement oolithique et bioclastique, et contient un peu de quartz détritique. Des cnidaires apparaissent puis se développent dans la partie supérieure de la formation, où ils sont liés à des discontinuités sédimentaires.

Au sommet de «l'Urgonien inférieur» (coord. 526,54/176,05), on remarque un niveau marneux fossilifère épais de 10 cm environ, dont nous pensons qu'il correspond au niveau historique de la Marne de La Russille (JACCARD, 1869). La Marne de La Russille surmonte une surface durcie, au toit d'un banc résistant à cnidaires, épais de 1 m, lui-même précédé par 1,2 m de calcaire tendre, à cnidaires également. On retrouve donc, grossièrement, le motif séquentiel rencontré au toit de «l'Urgonien inférieur», dans les gorges de l'Orbe et à la gare de Vallorbe.

Au-dessus de la Marne de La Russille ont été relevés 6 m de calcaire bioclastique (grainstone à stratification oblique) rattachés à «l'Urgonien supérieur» et auxquels font suite quelques pointements de calcaires à rudistes, visibles au lieu dit «Bois-à-Grivaz», à l'ouest du nœud routier.

3.3. Coupe de Vaulion (fig. 2)

La coupe a été relevée à 1 km au sud-ouest de Vaulion, le long de la route cantonale, entre les coord. 519,00/170,60 et 518,90/170,18. Elle offre l'avantage d'un affleurement à peu près continu entre la Pierre jaune supérieure et le haut de «l'Urgonien inférieur». L'épaisseur de ce dernier est estimée à 50 m, soit du même ordre de grandeur que dans les gorges de l'Orbe (57 m). Les caractéristiques de la coupe sont les mêmes que dans cette dernière localité.

3.3.1. Pierre jaune inférieure

1. 3 m de calcaire roux glauconieux, affleurant le long de la route.
2. 7-8 m. Lacune.

3.3.2. Pierre jaune supérieure

- 3 2,5 m de calcaire oolithique jaune paille (grainstone).
4. 8 m. Lacune.
5. 5 m de calcaire brun, oolithique et bioclastique (grainstone), terminé par une petite faille couverte (1 m).

3.3.3. «Urgonien inférieur»

6. 6 m de calcaire roux bioclastique et oolithique (grainstone).
7. 5 m. Lacune
8. 9 m de calcaire, calcaires marneux et marnes gris, en partie grumeleux, relevés au-dessus de la route, aux coord. 518,90/170,50). Sous le microscope: jusqu'à 2% de quartz détritique (diamètre inférieur à 200 microns).
- 9 11 m. Calcaires marneux et grumeleux gris, peu résistants (3,5 m), surmontés par des calcaires variés (grainstones et packstones, oolithiques et bioclastiques) stratifiés obliquement dans les derniers 2,5 m.
10. Environ 8,5 m de packstones gris-jaunes, grumeleux à la base, passant vers le haut à des grainstones massifs jaune-roux, à fraction oolithique. Base relevée sous la route (518,98/170,25); sommet relevé au niveau de la route cantonale, au sud de la bretelle forestière rejoignant la route de la Dent-de-Vaulion.
11. 0,5 m de marnes grises à échinides (piquants de *P. clunifera*), relevées au bord de la route, coord. 518,95/170,37.
12. 6,5 m de calcaires variés, en partie marneux et noduleux, bioclastiques et oolithiques (packstones, grainstones), terminés par 2 m de grainstones résistants, à stratification oblique.
13. 11,5 m de calcaires subaffleurants, gris et résistants (packstones), à madréporaires.
14. 10 m. Lacune.
15. 2,5 m de calcaires un peu crayeux blancs (packstones, grainstones), formant une petite falaise au bas de la route cantonale, au sud de l'embranchement avec la route de la Dent-de-Vaulion.
16. 12,5 m de calcaires subaffleurants blancs à débris de rudistes. Quelques *Requieniidae* dans les derniers 5 mètres.

3.4. Coupe d'Eclépens (fig. 3)

La coupe a été relevée dans la nouvelle carrière de la Société des Chaux et Ciments de la Suisse romande, entre Cinq-Sous et le Haut-de-Mormont (carte nationale de la Suisse au 1 : 25 000, feuille 1222 Cossonay). Elle offre l'avantage d'un affleurement continu entre la Pierre jaune supérieure et «l'Urgonien supérieur» à rudistes.

Les caractéristiques essentielles de la coupe sont les mêmes qu'à Vaulion et dans les gorges de l'Orbe. A Eclépens toutefois, la partie moyenne de «l'Urgonien inférieur» est caractérisée par une forte épaisseur (14 m) de grainstones oolithiques clairs, à stratification oblique, susceptibles d'être confondus avec la Pierre jaune supérieure. En outre, le motif séquentiel présent au toit de «l'Urgonien inférieur» à Vallorbe et dans les gorges de l'Orbe manque à Eclépens, où «l'Urgonien supérieur» repose directement sur les calcaires à cnidaires.

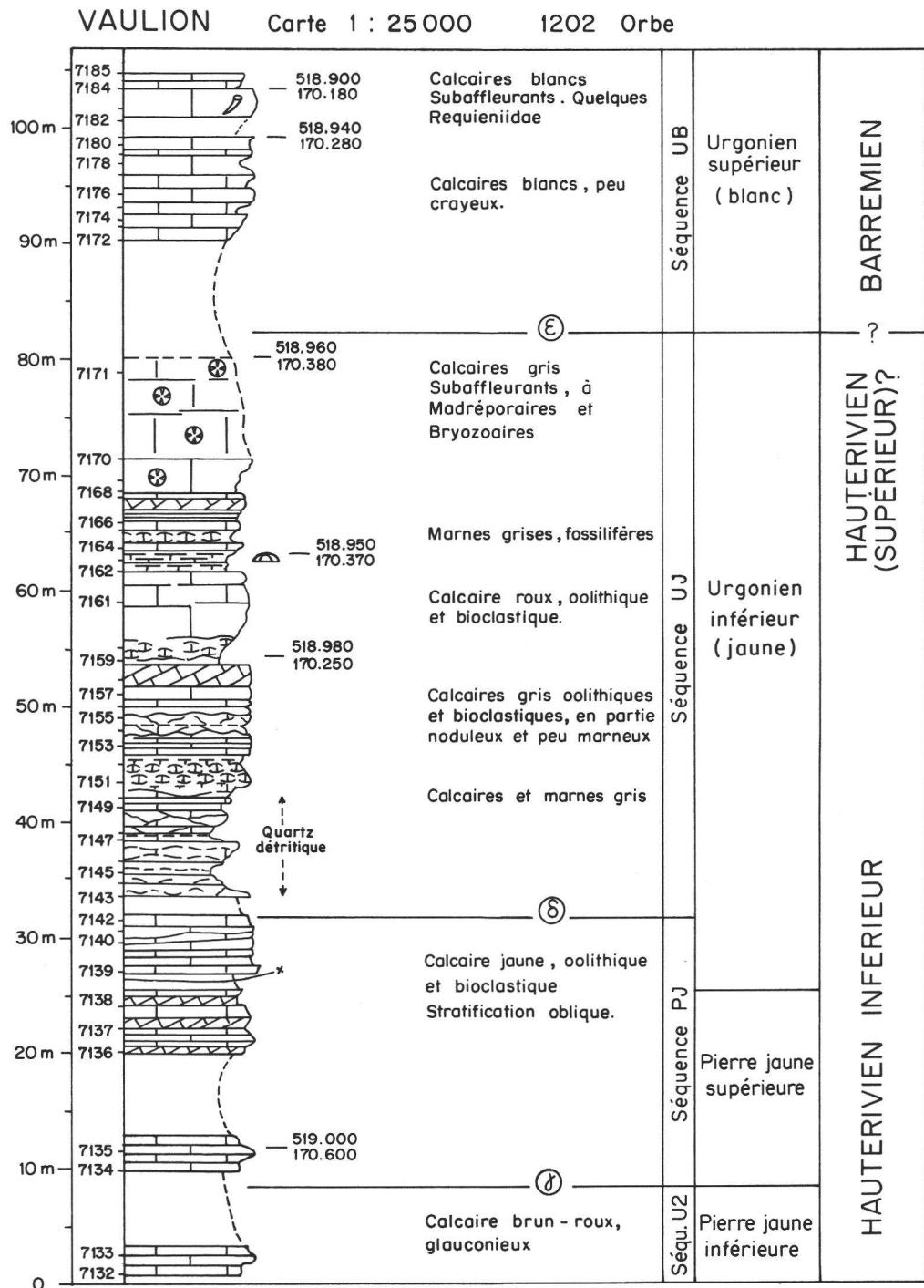


FIG. 2. — Coupe de Vaulion.

ECLEPENS Carte 1: 25 000 Cossonay

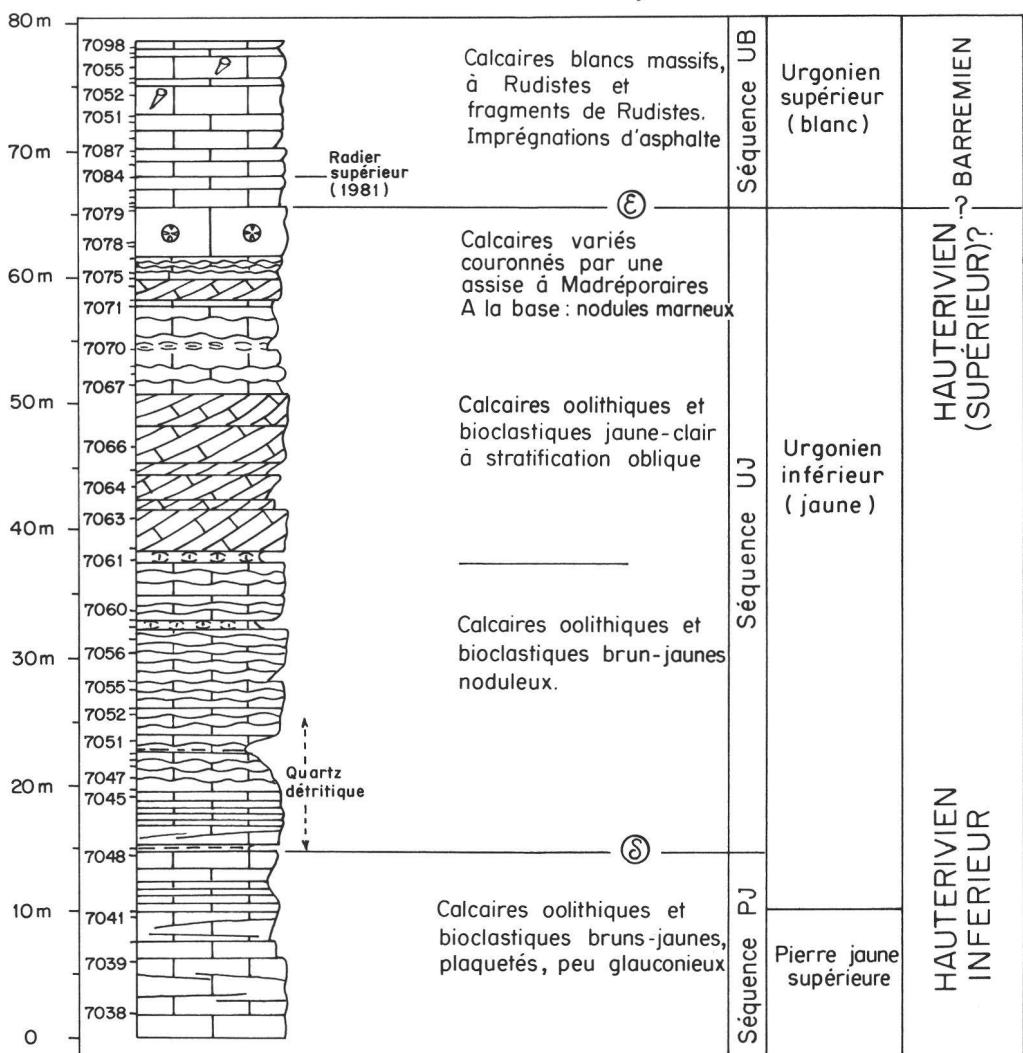


FIG. 3. — Coupe d'Eclépens.

3.4.1. Pierre jaune supérieure

1. 10 m de calcaires jaunes oolithiques et bioclastiques (grainstones) faiblement glauconieux, à stratification oblique.

3.4.2. «Urgonien inférieur» (jaune)

2. 5 m de calcaire roux (grainstone) à stratification plane parallèle, passant à des wackestones grumeleux vers le haut.
3. 30 cm de calcaires marneux et noduleux, faiblement quartzeux.
4. 4 m de calcaires compacts (grainstones) jaune clair, à fraction oolithique, un peu quartzeux. A la base: stratification oblique.
5. 7 m de calcaires peu marneux et grumeleux, gris-brun, bioclastiques (packstones peu glauconieux, à fraction oolithique, contenant jusqu'à 2% de quartz détritique. A 3 m au-dessus de la base: 50 cm de calcaires à lithoclastes, coiffés par 25 cm de marne grise.

6. 12 m de calcaires bruns grumeleux à délits marneux, bioclastiques (packstones) et oolithiques. Lithoclastes de calcaires blancs à 2 m au-dessus de la base. Deux niveaux de calcaire marneux et noduleux, à 6,5 m et 11,5 m de la base.
7. 14 m de calcaire jaune compact (grainstone), oolithique et bioclastique, à stratification oblique.
8. 7,5 m de calcaires plus tendres, grumeleux, oolithiques et bioclastiques, formés de grainstones suivis de packstones et grainstones. A 3,5 m au-dessus de la base: 50 cm de marnes noduleuses.
9. 4 m Grainstone oolithique jaune-clair, à stratification oblique (2 m), surmonté par des packstones et wackestones plus tendres, grumeleux.
10. 3,5 m. Environ 2 m de packstones et wackestones gris à cnidaires en place, surmontés par des calcaires coquilliers, très altérés (karst).

3.4.3. «Urgonien supérieur» (blanc)

11. 13 m de calcaire blanc fortement altéré et imprégné d'asphalte. Nombreux fragments de rudistes.

3.5. Coupe de la gare de Vallorbe (fig. 4)

La coupe a été levée à proximité immédiate du dépôt CFF de locomotives, dans un contexte tectonique particulier décrit par NOLTHENIUS (1921, p. 90; fig. 13, p. 88, «Affleurement 3»). Son principal intérêt est d'offrir une coupe complète de «l'Urgonien supérieur», dont l'étude détaillée sort du cadre de ce travail. Au toit de «l'Urgonien inférieur» on rencontre le motif séquentiel déjà décrit dans les gorges de l'Orbe. «L'Urgonien supérieur» est couronné par un hard-ground, surmonté à son tour par une argile jaune et des calcaires rubéfiés, que nous attribuons à la marne jaune datée en cette même localité de l'Aptien par SPRECHER (1917).

3.5.1. «Urgonien inférieur» (jaune)

1. 4 m. 1 m (visible) de calcaire jaune oolithique et bioclastique (grainstone), surmonté par 3 m de packstones plus tendres, légèrement marneux.
2. 21 m. Calcaires jaunes compacts, oolithiques et bioclastiques (packstones, grainstones). Un niveau grumeleux au sommet, coiffant de nombreuses colonies de cnidaires.
3. 2,2 m de calcaire massif jaune et bioclastique (grainstone), couronné par un hard-ground.
4. 70 cm de calcaire marneux jaune, tendre.
5. 45 cm de calcaire gris, peu marneux et noduleux. Wackestone à cnidaires et *Choffatella decipiens* (foraminifères benthiques).
6. 1,5 m de calcaire marneux gris, tendre.

3.5.2. «Urgonien supérieur» (blanc)

7. 68 m de calcaires jaunes clair, puis blancs, massifs et bioclastiques (essentiellement packstones et grainstones), localement à débris de rudistes, couronnés par un hard-ground prononcé. La partie supérieure de la formation supérieure de la formation est datée du Barrémien par des orbitolinidés (détermination A. ARNAUD).

3.5.3. Aptien (auct.)

8. 50 cm. Argile jaune.
9. 1,5 m (visibles). Calcaire jaune rubéfié et bréchiforme, par endroits lumachellique. Un peu de quartz détritique.

GARE DE VALLORBE Carte 1 : 25 000 1202 Orbe

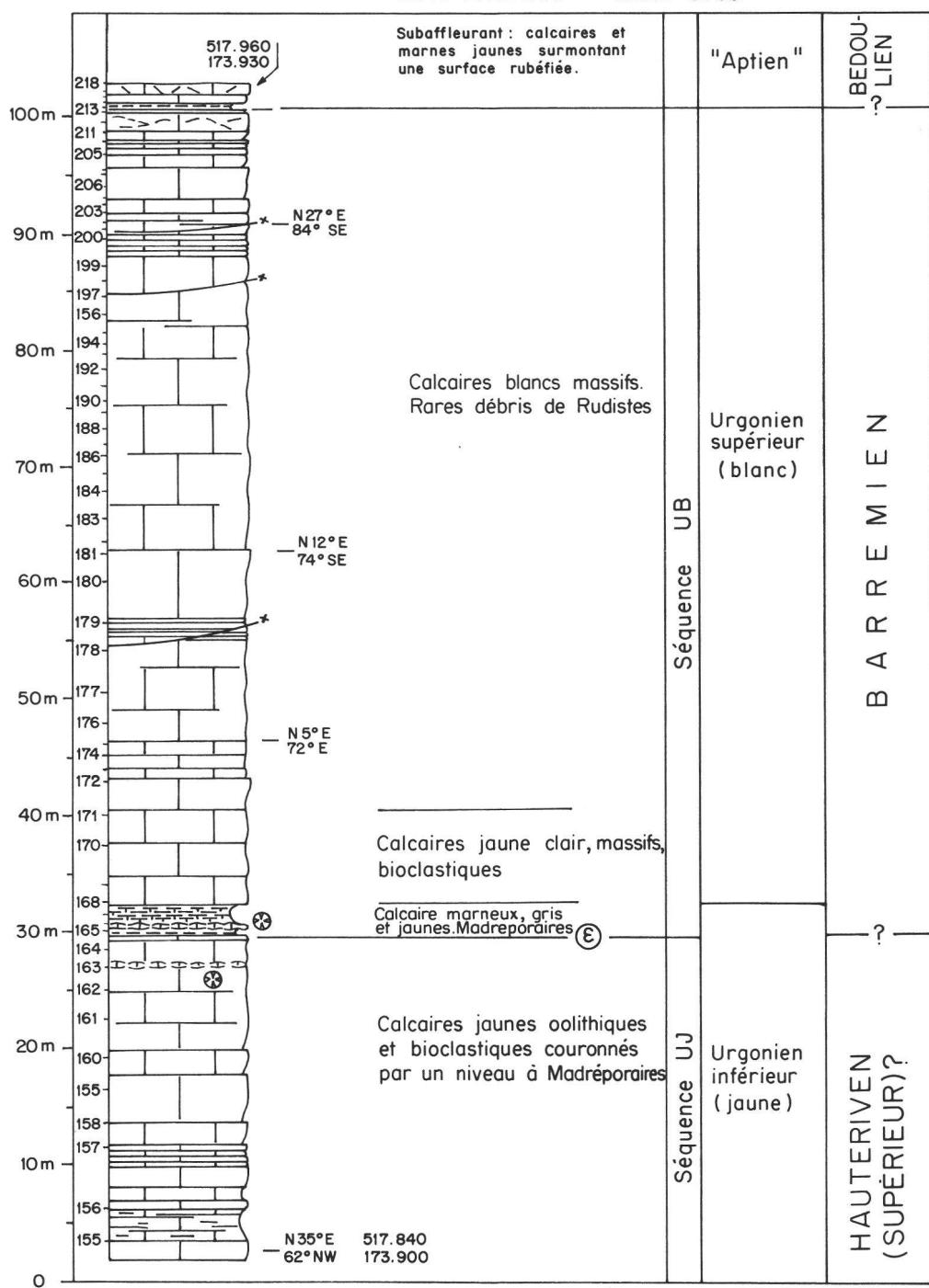


FIG. 4. — Coupe de la gare de Vallorbe.

4. DESCRIPTION STRATIGRAPHIQUE

4.1. Subdivisions lithostratigraphiques (fig. 5)

4.1.1. Pierre jaune de Neuchâtel. Données antérieures.

Dans la région située entre le Mont-de-Chamblon et Neuchâtel, la subdivision tripartite de la Pierre jaune, attribuée par les anciens auteurs à l'Hauterivien supérieur, en une assise inférieure spathique et glauconieuse, une assise intermédiaire marneuse, et une assise supérieure plus oolithique, est connue depuis longtemps grâce aux travaux de JACCARD (1869: 146-147) et de SCHARDT (1903: 418; 1906: 190). L'assise intermédiaire, souvent stérile, est parfois caractérisée par la présence de certains Brachiopodes: *Terebratula marcousana* (cf. JACCARD, 1869), *Eudesia semistriata* (cf. SCHARDT & DUBOIS, 1903). Au Mont-de-Chamblon, les trois assises en question sont relevées en détail par JORDI (1955). L'assise intermédiaire reçoit le nom de «Marnes d'Uttins» et son extension régionale est démontrée.

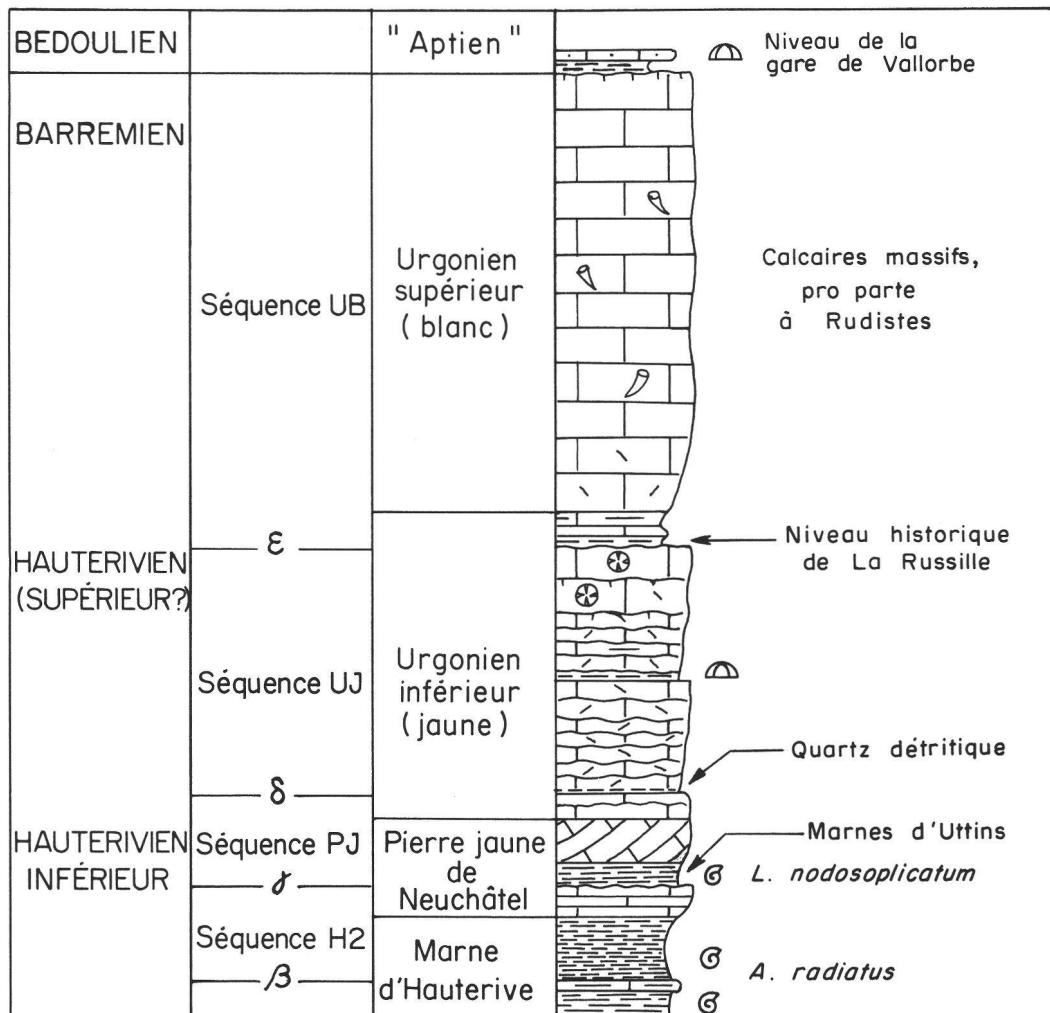


FIG. 5. — Limites stratigraphiques dans le nord-ouest vaudois.

Dans la région d'Orbe-La Sarraz par contre, la subdivision tripartite de la Pierre jaune n'est pas reconnue en tant que telle par CUSTER (1928: 12 et suivantes). L'auteur place le Calcaire jaune (15 m) uniquement, dans l'Hauterivien supérieur, alors que la marne (1,3 m), suivie des calcaires bleus sous-jacents (17 m au total) sont placés dans l'Hauterivien inférieur. Plus tard, et toujours dans la même région, AUBERT (1963: 8) reviendra à une conception classique avec un Hauterivien supérieur débutant par des calcaires spathiques glauconieux, auxquels succèdent des calcaires oolithiques uniformes, régulièrement lités. La présence des Marnes d'Uttins n'est toutefois pas mentionnée.

4.1.2. Données nouvelles sur la Pierre jaune de Neuchâtel

Les Marnes d'Uttins sont datées au Mont-de-Chamblon de la Zone à *Lyticoceras nodosoplicatum* (Hauterivien inférieur, CLAVEL et al., ce vol.).

La présence de Marnes d'Uttins et la subdivision tripartite de la Pierre jaune est reconnue dans la coupe des gorges de l'Orbe ainsi que 5 km plus au sud, au lieu dit Cascade du Dard. La corrélation lithostratigraphique est renforcée par la présence de la même association d'ostracodes (*Schulerida clunicularis*, *Cythereis* sp., OERTLI, ce vol.) dans la carrière d'Uttins et dans les gorges de l'Orbe. Enfin, la totalité de la Pierre jaune est placée dans l'Hauterivien inférieur.

Une comparaison des trois coupes de la Cascade du Dard, des gorges de l'Orbe et du Mont-de-Chamblon montre que l'ensemble de la Pierre jaune garde une épaisseur à peu près constante d'environ 35 m. En direction du sud-ouest, la Pierre jaune supérieure semble augmenter légèrement d'épaisseur, au détriment des Marnes d'Uttins. Quant à la Pierre jaune inférieure, elle se charge fortement en éléments terrigènes.

4.1.3. «Urgonien inférieur». Données antérieures

«L'Urgonien inférieur» forme une puissante assise de calcaires jaunes, en grande partie grumeleux, ce qui permet de le distinguer de la Pierre jaune supérieure, beaucoup plus homogène. On notera :

- qu'en l'absence de rudistes, cette formation essentiellement bioclastique, oolithique et à cnidaires, ne peut être qualifiée d'«urgonienne» qu'au sens large;
- que la distinction entre la Pierre jaune et «l'Urgonien inférieur» n'est pas toujours facile, du fait que dans la région d'Yverdon, «l'Urgonien inférieur» présente fréquemment des termes oolithiques semblables à la Pierre jaune.

Dans le nord-ouest vaudois, l'épaisseur attribuée à «l'Urgonien inférieur» varie beaucoup d'un auteur à l'autre, ce qui reflète sans doute une certaine incertitude quant à la limite avec la Pierre jaune de Neuchâtel : 50 m au maximum à Vallorbe selon NOLTHENIUS (1921: 27); 13 m à Entreroches selon CUSTER (1928: 12); 30 m (Feuille 1202 Orbe) selon AUBERT (1963); 55 m dans le sondage de Cuarny selon JORDI (1955: 17).

4.1.4. Données nouvelles sur «l'Urgonien inférieur»

Trois coupes à peu près complètes de «l'Urgonien inférieur» ont été relevées dans les gorges de l'Orbe, à Vaulion et dans la nouvelle carrière du Mormont, à Eclépens. L'épaisseur est d'environ 60 m à Vaulion. Elle est de 59 m dans les gorges de l'Orbe et de 51 m au Mormont. Des coupes partielles ont également été relevées à La Russille, ainsi qu'à la gare de Vallorbe.

Au-dessus de la Pierre jaune supérieure, essentiellement constituée de grainstones oolithiques et bioclastiques, «l'Urgonien inférieur» débute par des packstones mal classés, noduleux, alternant avec des bancs de grainstones oolithiques. A la base, les termes micritiques contiennent 1-2 % de quartz détritique atteignant 250 microns de diamètre (Eclépens, gorges de l'Orbe, Vaulion). Cet ensemble est affecté de petites discontinuités sédimentaires. La glauconie y est présente; les foraminifères benthiques et les Dasycladales sont peu nombreux et peu diversifiés.

La partie supérieure enregistre un développement plus important des grainstones oolithiques, tandis que le cortège des Dasycladales et des foraminifères s'enrichit. Corrélativement apparaissent dans la plupart des couches à cnidaires (packstones - wackestones légèrement argileux) qui surmontent des surfaces de lithification précoce coiffant les couches oolithiques sous-jacentes. Les couches à cnidaires sont à leur tour

fréquemment couronnées par une surface durcie pouvant supporter des marnes (Vallorbe, gorges de l'Orbe) localement fossilifères (La Russille). Il existe donc dans les derniers mètres de «l'Urgonien inférieur» deux ou trois discontinuités qui précèdent ou suivent les couches à cnidaires et qui peuvent être couvertes ou non par des marnes. C'est cet ensemble singulier qui a été désigné sous le nom de «Couches de La Russille» par JACCARD (1869) qui notait: «les couches sont fréquemment oolithiques, la couleur grise ou bleue remplace les teintes jaunes du Jura neuchâtelois». Les termes «faciès russillien» ou «zone de La Russille» introduits par la suite correspondent à tout ou partie de «l'Urgonien inférieur».

4.1.5. Marne de La Russille. Données antérieures

La Marne de La Russille est signalée pour la première fois par JACCARD en 1861 (p. 76-78). Entre Lignerolles et Orbe, par l'actuelle route cantonale, l'auteur décrit sans erreur possible l'affleurement situé entre le lieu dit Vieille-Morte (525,950/176,200) et le point 526,600/176,020 à 150 m du nœud routier. Une zone marneuse extrêmement fossilifère, épaisse de 10 cm, est située «dans la partie supérieure, à peu de distance de l'Urgonien à *Cidaris clunifera*» (p. 77), d'un puissant massif de calcaire oolithique d'affinité incertaine, le «Néocomien oolithique». Pour ce qui est de la position stratigraphique de ce dernier, JACCARD (1861) hésite entre trois possibilités: 1. équivalence avec le «Néocomien calcaire» (c'est-à-dire la Pierre jaune de Neuchâtel); 2. équivalence avec l'Urgonien inférieur; 3. passage entre les deux, cette dernière solution étant considérée comme la plus probable.

Nous verrons que le «Néocomien oolithique» de La Russille correspond en fait à «l'Urgonien inférieur» et sera cartographié comme tel par AUBERT (1963). La Marne de La Russille, telle que décrite par JACCARD en 1861 est donc située dans la partie supérieure de «l'Urgonien inférieur».

En 1869, la plupart des nombreuses espèces de mollusques, gastéropodes, brachiopodes (dont la célèbre *Terebratula ebrodunensis* Ag.) et échinides récoltées dans la Marne de La Russille sont déterminées. Les résultats incitent JACCARD (1869: 141) à considérer cette faune comme franchement urgonienne. L'auteur note en outre l'absence de certains échinides présents au sommet de «l'Urgonien inférieur» et place la Marne de La Russille à la base de «l'Urgonien inférieur» (p. 141 et pl. IV), interprétation malheureuse qui sera généralement retenue par la suite (WAIBEL et BURRI, 1961, in Lexique Stratigraphique International).

Notons pour être complets que dans les gorges de l'Areuse, SCHARDT et DUBOIS (1903: 422) signalent la présence d'une zone marno-calcaire contenant «*Eudesia ebrodunensis*», à la base de «l'Urgonien inférieur». JACCARD voyait en la faune de la Marne de La Russille une association locale d'espèces. En 1893 (p. 256) il s'opposera à la création d'un nouvel étage, le «Russillien».

4.1.6. Données nouvelles sur la Marne de La Russille

Le relevé d'une coupe à La Russille montre la présence d'un niveau marneux fossilifère épais de 10 cm que nous admettons représenter la Marne de La Russille. Son emplacement (526,540/176,050) est conforme aux indications fournies par JACCARD en 1861 (et non en 1869) et correspond à la partie sommitale de «l'Urgonien inférieur». À La Russille, l'horizon en question coiffe le dernier niveau à cnidaires (qui est d'ailleurs le plus important) et précède les calcaires bioclastiques massifs de «l'Urgonien supérieur». Une succession assez semblable se retrouve à la gare de Vallorbe et dans les gorges de l'Orbe; le niveau de La Russille peut y être identifié également, au toit du dernier banc à cnidaires. Notons que la Marne de La Russille manque à Eclépens où l'on reconnaît toutefois la discontinuité correspondant à son mur.

4.1.7. «Urgonien supérieur»

Il s'agit d'une puissante assise calcaire qui se distingue de «l'Urgonien inférieur» par son aspect massif et sa couleur blanche. Il débute soit par des calcaires à débris de rudistes (gorges de l'Orbe) soit par des calcaires bioclastiques à *Orbitolinidae* (La Russille). À la gare de Vallorbe, «l'Urgonien supérieur» mesure 68 m d'épaisseur. Il est coiffé par une surface durcie surmontée par 1,5 m d'argile et de calcaire jaunes, attribués à l'Aptien par les auteurs. Toujours à la gare de Vallorbe, les derniers mètres de «l'Urgonien supérieur» ont livré des *Orbitolinidae* indiquant un âge Barrémien (détermination A. ARNAUD).

4.2. Subdivisions séquentielles. Corrélations (fig. 5, 6)

Du Valanginien supérieur (base des Marnes d'Hauterive) au Barrémien pro parte («Urgonien supérieur»), la série étudiée dans le cadre du présent volume a fait l'objet d'un découpage séquentiel admettant la présence de cinq discontinuités régionales probablement synchrones, et qui ont été reconnues du Jura méridional à la région neuchâteloise, en passant par le nord-ouest vaudois. En ce qui concerne les formations carbonatées de cette dernière région on retiendra :

- la discontinuité γ à la base des Marnes d'Uttins ;
- la discontinuité δ au toit de laquelle se situe l'épisode micritique à quartz détritique, et qui se situe dans les premiers mètres de «l'Urgonien inférieur» ;
- la discontinuité ε à la base de la Marne de La Russille.

Notons qu'entre les discontinuités δ et ε s'interposent deux à quatre discontinuités moins importantes, dont la corrélation d'une coupe à l'autre présente des difficultés et qui n'ont pas fait l'objet d'une nomenclature particulière. Pour ce qui est des séquences, nous avons adopté une nomenclature tenant compte des unités lithologiques :

- la séquence H2 débute au toit d'un banc calcaire intercalé dans les Marnes d'Hauterive ; elle comprend la partie supérieure de ces dernières ainsi que la Pierre jaune inférieure ;
- la séquence PJ, comprise entre les discontinuités γ et δ , comprend les Marnes d'Uttins et la Pierre jaune supérieure ;
- la séquence UJ, comprise entre les discontinuités δ et ε , correspond grosso modo à l'ensemble de «l'Urgonien inférieur» (jaune) ;
- la séquence UB, comprise entre la discontinuité ε et le toit des calcaires urgoniens (gare de Vallorbe), correspond à la Marne de La Russille et à «l'Urgonien supérieur».

La séquence H2 est en grande partie datée par ammonites de la Zone à *Acanthodiscus radiatus* (Hauterivien inférieur), dans le Jura vaudois et neuchâtelois (BUSNARDO & THIEULOUY ce vol.). Dans le Jura méridional, elle équivaut à la séquence 2 de VIÉBAN (1983), également datée de la Zone à *Radiatus* (CLAVEL et al., ce vol.).

La base en tout cas de la séquence PJ est datée de la Zone à *Lyticoceras nodosoplicatum* (Hauterivien inférieur) dans la région vaudoise (BUSNARDO & THIEULOUY, ce vol.). Dans le Jura méridional, elle équivaut à la séquence 3 de VIÉBAN (1983), également datée dans sa partie inférieure de la Zone à *Nodosoplicatum* (VIÉBAN, 1983: 132). On notera que les interprétations divergent en ce qui concerne l'âge de la partie supérieure de la séquence 3 de VIÉBAN. Selon cet auteur (VIÉBAN, 1983: 132), la trouvaille d'une *Subsaynella sayni* au Semnoz (domaine subalpin) permet de lui attribuer un âge Hauterivien supérieur (Zone à *Sayni*). La position séquentielle de cette ammonite est toutefois contestée par CLAVEL et al. (ce vol.) qui notent la présence d'une *Leopoldia gr. neocomiensis* (réputé limité à l'Hauterivien inférieur) au sommet de la séquence 4 ou au sommet de la séquence 5 (sensu VIÉBAN) à Menthières, dans le Jura gessien. Nous attribuons par conséquent l'ensemble de la séquence PJ à l'Hauterivien inférieur.

La séquence UJ correspond grosso modo à «l'Urgonien inférieur» et n'a pas livré d'ammonites dans le Jura vaudois et neuchâtelois. Elle équivaut à la séquence 4 de VIÉBAN (1983), attribuée par cet auteur au Barrémien inférieur. Nous venons de voir qu'il convient de la placer dans l'Hauterivien, probablement dans l'Hauterivien inférieur.

La séquence UB correspond grosso modo à «l'Urgonien supérieur». Elle n'a pas non plus livré d'ammonites dans le Jura vaudois ou neuchâtelois. Elle équivaut à la séquence 5 de VIÉBAN (1983) placée par cet auteur dans le Barrémien supérieur. La découverte récente d'un *Crioceratites aff. nolani* au pied de la falaise urgonienne à Ruffieux (au nord du lac du Bourget, domaine subalpin, CLAVEL et al., ce vol.) permet désormais d'attribuer la base de la séquence 5 (sensu VIÉBAN) à l'Hauterivien, attribution renforcée par la présence, dans les mêmes niveaux, d'échinides inconnus dans le Barrémien daté par ammonites (CLAVEL, ce vol.).

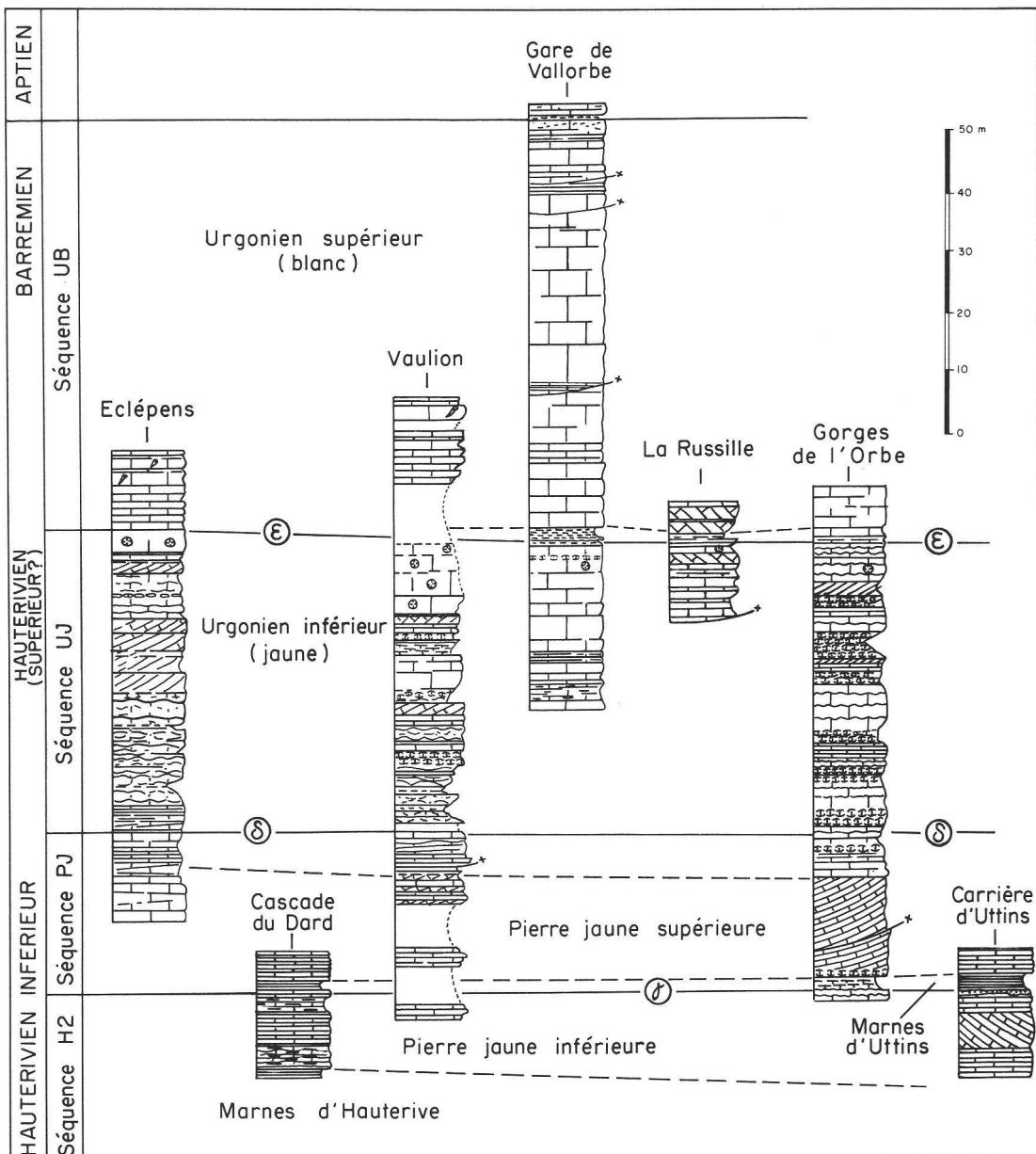


FIG. 6. — Corrélations dans l'Hauterivien et le Barrémien du nord-ouest vaudois.

5. CONCLUSIONS

Quatre coupes fondamentales et trois coupes partielles relevées dans le nord-ouest vaudois ont fait l'objet de corrélations basées sur des critères d'ordre lithologique, séquentiel et paléontologique. La série est datée par ammonites jusqu'à la Zone à *Nodosoplicatum* de l'Hauterivien inférieur; au-dessus, les âges attribués sont basés sur des corrélations avec les séries relativement mieux datées du Jura méridional.

Au toit des Marnes d'Hauterive, la Pierre jaune inférieure est d'âge Hauterivien inférieur, quelque part ou à cheval entre les Zones à *Radiatus* et *Nodosoplicatum*. Après une nette coupure séquentielle, les Marnes

d'Uttins qui la surmontent sont datées de la Zone à Nodosoplicatum, dans leur localité-type précisément. La Pierre jaune supérieure est placée dans l'Hauterivien inférieur, probablement dans la Zone à Nodosoplicatum.

«L'Urgonien inférieur» (jaune), jusqu'ici attribué au Barrémien inférieur, est placé dans l'Hauterivien. Une nouvelle coupure séquentielle est présente dans la partie inférieure de «l'Urgonien inférieur»; quoique peu marquée elle a pu faire l'objet de corrélations grâce à la présence de quartz détritique. Une autre, importante coupure séquentielle est située dans la partie tout à fait supérieure de «l'Urgonien inférieur» où elle est surmontée par la Marne de La Russille. Cette dernière est encore d'âge Hauterivien, un âge Hauterivien supérieur restant du domaine de l'hypothèse.

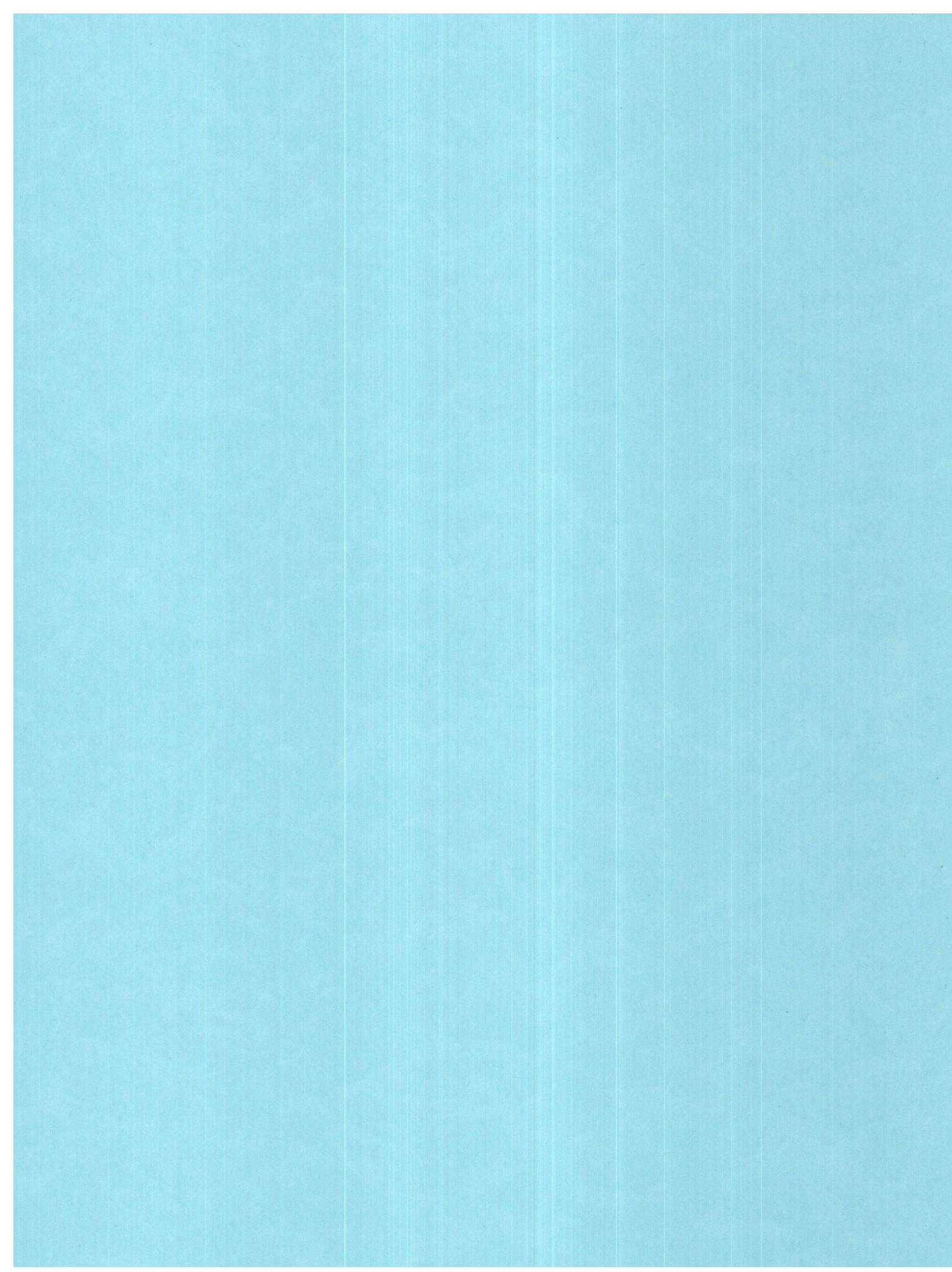
Les foraminifères permettent de placer les derniers bancs de «l'Urgonien supérieur» (blanc) dans le Barrémien. C'est donc au sein de cette formation que doit se situer la limite Hauterivien-Barrémien.

Remerciements

Les auteurs sont redevables à B. CLAVEL et J. REMANE, d'avoir entrepris la critique d'une première version de cet article, au vu des connaissances acquises récemment dans le Jura méridional et neuchâtelois. Ils remercient également MM. B. MASTRANGELO et B. POPESCU de leur aide sur le terrain.

6. BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT, D. — (1963). Atlas géol. de la Suisse au 1:25 000, feuille 1202 Orbe, notice explicative.
- 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. neuchât. Sci. nat.* 11: 101-147.
- CAMPICHE, G. & TRIBOLET, G. — (1858). Description géologique des environs de Sainte-Croix. *Mat. pal. Suisse*, 2^e série, 1^{re} partie.
- CLAVEL, B. — (1989). Echinides du Crétacé inférieur jurassien: stratigraphie, paléoécologie, paléontologie. *Mém. Soc. neuchât. Sci. nat.* 11: 149-182.
- CLAVEL, B. & CHAROLLAIS, J. — (1989). Biostratigraphie de l'Hauterivien du Jura méridional. *Mém. Soc. neuchât. Sci. nat.* 11: 291-298.
- CUSTER, W. — (1988). Etude géologique du pied du Jura vaudois. *Matér. Carte géol. Suisse*. [N.S.] 59.
- DESOR, E. & GRESSLY, A. — (1859). Etudes géologiques sur le Jura neuchâtelois. *Mém. Soc. neuchât. Sci. nat.* 4.
- JACCARD, A. — (1861). Sur quelques points de la géologie du Jura. *Actes Soc. helv. Sci. nat.* 74.
- (1869). Description géologique du Jura vaudois et neuchâtelois. *Matér. Carte géol. Suisse* 6.
- (1893). Deuxième supplément à la description géologique du Jura neuchâtelois et vaudois, des districts adjacents du Jura français et de la plaine suisse. *Ibid.* 7.
- JORDI, H. — (1955). Geologie der Umgebung von Yverdon. *Matér. Carte géol. Suisse* [N.S.] 99.
- MARCOU, J. — (1859). Sur le Néocomien du Jura. Bibliothèque universitaire de Genève, Archives.
- NOLTHENIUS, T. — (1921). Etude géologique des environs de Vallorbe. *Matér. Carte géol. Suisse* [N.S.] 78.
- OERTLI, H.-J. — (1989). Ostracoda from the historical type region of the Hauterivian stage in the Jura Mountains. *Mém. Soc. neuchât. Sci. nat.* 11: 205-222.
- REMANE, J., BUSNARDO, R., CHAROLLAIS, J., CLAVEL, B. & THIEULOUY, J.-P. — (1989). 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). *Mém. Soc. neuchât. Sci. nat.* 11: 19-48.
- SCHARDT, H. — (1891). Etude géologique sur l'extrême de la première chaîne du Jura (chaîne du Reculet-Vuache). *Bull. Soc. vaudoise Sci. nat.* 27: 69-161.
- SCHARDT, H. & DUBOIS, A. — (1903). Description géologique de la région des Gorges de l'Areuse (Jura neuchâtelois). *Elogiae geol. Helv.* 7: 367-476.
- SPRECHER, C. — (1917). Beitrag zur Kenntnis der Querstörung Mollens - Vallorbe - Pontarlier. *Thèse*. Burgdorf, Baumgartner.
- 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 de 3^e cycle, Grenoble.
- WAIBEL, A. & BURRI, F. — (1961). Lexique stratigraphique international, vol. I (Europe); fasc. 7a, Suisse (Jura et Fossé du Rhin, direction P. PRUVOST); C.N.R.S., Paris.



Imprimé en Suisse