



SOCIÉTÉ  
GÉOLOGIQUE  
DU  
NORD

---

ANNALES

Tome CV

1985

*4<sup>me</sup> trimestre*

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD  
59655 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX

ISSN 0767-7367

# SOCIETE GEOLOGIQUE DU NORD

## Extraits des Statuts

### Article 2.

— Cette Société a pour objet de concourir à l'avancement de la géologie en général, et particulièrement de la géologie de la région du Nord de la France.

— La Société se réunit de droit une fois par mois, sauf pendant la période des vacances. Elle peut tenir des séances extraordinaires décidées par le Conseil d'Administration.

— La Société publie des Annales et des Mémoires. Ces publications sont mises en vente selon un tarif établi par le Conseil. Les Sociétaires bénéficient d'un tarif préférentiel<sup>(1)</sup>.

### Article 5.

Le nombre des membres de la Société est illimité. Pour faire partie de la Société, il faut s'être fait présenter dans l'une de ses séances par deux membres de la Société qui auront signé la présentation, et avoir été proclamé membre au cours de la séance suivante.

## Extraits du Règlement Intérieur

§ 7. — Les Annales et leur supplément constituent le compte rendu des séances.

§ 13. — Seuls les membres ayant acquitté leurs cotisation et abonnement de l'année peuvent publier dans les Annales. L'ensemble des notes présentées au cours d'une même année, par un même auteur, ne peut dépasser le total de 10 pages, 1 planche simill étant comptée pour 2 p. 1/2 de texte.

Le Conseil peut, par décision spéciale, autoriser la publication de notes plus longues.

§ 17. — Les notes et mémoires originaux (texte et illustration) communiqués à la Société et destinés aux Annales doivent être remis au Secrétariat le jour même de leur présentation. A défaut de remise dans ce délai, ces communications prennent rang dans une publication postérieure.

§ 18. — Les mémoires sont publiés par fascicule après décision du Conseil.

## Avertissement

La Société Géologique du Nord ne peut en aucun cas être tenue pour responsable des actes ou des opinions de ses membres.

## Tirages à part

Conformément au paragraphe 14 du Règlement Intérieur (Tome LXXXI, p. 12), les tirages à part sont à la charge des auteurs qui doivent en faire par écrit la déclaration expresse en tête des épreuves du bon à tirer.

## Cotisations et Abonnements (à la date du 1<sup>er</sup>-1-1983)

	QUALITE	COTISATION	ABONNEMENT aux Annales	TOTAL
FRANCE et BENELUX	Personnes physiques <sup>(2)</sup> .....	30,00 F	135,00 F T.T.C.	165,00 F
AUTRES PAYS	Personnes physiques .....	30,00 F	150,00 F T.T.C.	180,00 F

Abonnement des non-membres: FRANCE: 300,00 F H.T. — ETRANGER: 350,00 F

Pour tous renseignements et règlements, s'adresser à: Secrétariat S.G.N., Sciences de la Terre,  
59655 Villeneuve-d'Ascq Cedex - Tél. 20.43.43.43, postes 4140 - 4132 — C.C.P. Lille 52-47 Y

## ANNALES DE LA SOCIETE GEOLOGIQUE DU NORD

La vente des Annales s'effectue par tomes entiers aux prix suivants. Exceptionnellement, et jusqu'à épuisement du stock, certains fascicules sont en vente séparément. Leur liste figure en fin de fascicule.

Tome I à LXXIX (manquent I, II, V à IX, XVI, XXII, XXXIV à XXXVI, XXXIX à XLIII, XLV, XLVII à LVIII) ..... 190,00 F H.T.  
Tomes LXXX à XCV (manque XCI) ..... 255,00 F H.T.  
Tomes XCVI et suivants..... 300,00 F H.T.

Esquisse géologique du Nord de la France, par J. GOSSELET, Fascicule IV (Terrains quaternaires) ..... 29,00 F H.T.  
Ecorché géologique infra-mésozoïque (extrait de « Contribution à la connaissance des bassins paléozoïques du Nord de la France », présentée par C.F.P. (M), COPESEP et S.N.P.A.) ..... 50,00 F H.T.

(1) Modification adoptée lors de l'Assemblée Générale du 10 janvier 1974.

(2) Les étudiants qui en font la demande annuelle peuvent, par décision du Conseil, bénéficier d'un tarif préférentiel sur l'abonnement (67,50 F).



SOCIÉTÉ  
GÉOLOGIQUE  
DU  
NORD

---

ANNALES

Tome CV

1985

*4<sup>me</sup> trimestre*

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD  
59655 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX

ISSN 0767-7367

## CONSEIL D'ADMINISTRATION

— 1985 —

<i>Président</i> .....	M. V. PRUDHOMME
<i>Premier Vice-Président</i> .....	M. E. MERIAUX
<i>Vice-Présidents</i> .....	M. J. CHALARD M. M. WATERLOT
<i>Conseillers</i> .....	M <sup>lle</sup> D. BRICE M. H. CHAMLEY M. J. CHARVET M. Ch. DUPUIS M. B. MISTIAEN M. F. THIEBAULT
<i>Secrétaire</i> .....	M. A. BLIECK
<i>Secrétaire-Adjoint</i> .....	M. Y. DESPEYROUX
<i>Directeur de la Publication</i> .....	M <sup>me</sup> Paule CORSIN
<i>Trésorier</i> .....	M. l'Abbé TIEGHEM
<i>Archiviste-Bibliothécaire</i> .....	M <sup>lle</sup> S. CRASQUIN

---

## COMITE DE LECTURE

— 1985 —

M<sup>me</sup> Paule CORSIN, Directeur de la publication  
M. J.M. CHARLET  
M. Ch. DELATTRE  
M. P. CELET  
M I. GODFRIAUX

A N N A L E S  
DE LA  
SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

Société fondée en 1870 et autorisée par arrêtés en date des 3 Juillet 1871 et 28 Juin 1873

---

Secrétariat : Société Géologique du Nord  
Sciences de la Terre, B.P. 36, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex  
Tél. 20 43 43 43 (postes 4140 et 4132) — C.C.P. Lille 52-47 Y

---

## Compte rendu de l'activité de la Société

ASSEMBLEE ORDINAIRE DU 6 NOVEMBRE 1985

Présidence de M<sup>me</sup> P. CORSIN, Déléguée aux Publications

---

- En ouvrant la séance, M<sup>me</sup> CORSIN fait procéder à l'élection de cinq nouveaux membres, à savoir :
- M<sup>lle</sup> Françoise BERGERAT, Université P. et M. Curie, Laboratoire de Géotectonique, 4, Pl. Jussieu à 75230 Paris Cedex 05, présentée par MM. J. Angelier et J.L. Mansy.
  - M. le Pr Adolph MULLER, R.W.T.H. Aachen, Geologie, Templergraben 55, D-5100 Aachen, présenté par MM. F. Meilliez et L. Voisin.
  - M. Rémy GOURVENEC, Université de Bretagne Occidentale, Laboratoire de Paléontologie, Avenue Le Gorgeu, à 29283 Brest Cedex, présenté par M<sup>lle</sup> D. Brice et M. P. Rachebœuf.
  - M. Philippe CLABAUT, Université Lille Flandres-Artois, Laboratoire de Sédimentologie, à 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, présenté par M. H. Chamley et M<sup>me</sup> P. Corsin.
  - M. Jean-Michel DAMBRINE, 2/57, Chemin des Tisserands, à 59650 Villeneuve d'Ascq, présenté par MM. F. Meilliez et J.L. Mansy.

### Communications orales

- P. MICONNET. — Stratigraphie et évolution anté-tectonique de la région de Lagonegro (Bassin lucanien, Italie méridionale).
- C. DUPUIS et E. STEURBAUT. — Altérites, sables marins (NP8, NP9) et fluviatiles, silicification et Stromatolites dans le Paléocène supérieur entre Criel et le Cap d'Ailly (Haute-Normandie).

### Communications écrites

- M. LYS. — Comparaison de biocoenoses du Permien supérieur des domaines mésogéen (en Méditerranée centrale et orientale) et téthysien. Intérêt paléogéographique.
- Y. PLUSQUELLEC. — Révision de *Michelinia transitoria* Knod, 1908 (Tabulata, Dévonien de Bolivie).

En fin de séance M<sup>lle</sup> CRASQUIN a présenté les ouvrages et périodiques de Sciences de la Terre reçus par la bibliothèque.

**ASSEMBLEE ORDINAIRE DU 11 DECEMBRE 1985**

Présidence de M. V. PRUDHOMME, Président

---

Avant d'ouvrir la séance, M. PRUDHOMME a annoncé à l'assemblée présente le décès de M. Guy MENNESSIER, Professeur de Géologie à Amiens, fondateur de la Mission permanente du C.N.R.S. en Afghanistan, membre de notre Société depuis 1961.

Puis M. PRUDHOMME fit procéder à l'élection de trois nouveaux membres :

M. le Pr Noël VANDENBERGHE, Laboratoire de Géologie, Redingenstraat 16, à B-3000 Leuven, présenté par MM. C. Dupuis et F. Robaszynski.

M<sup>lle</sup> Chantal POTE, 52, rue Ferrer, à 59155 Faches-Thumesnil, présentée par MM. V. Prudhomme et A. Blicck.

M. Alain PREAT, Université libre de Belgique, Laboratoire de Géologie, 50, Avenue Roosevelt, à B-1050 Bruxelles 1, présenté par MM. A. Beugnies et J.M. Charlet.

**Communications orales**

N. CRAMPON. — Détermination approchée des caractéristiques hydrodispersives en traçage par injection brève. Méthode des trois points.

C. BABIN. — *Pseudarca*, Mollusque Bivalve singulier de l'Ordovicien supérieur du Massif Armoricaïn.

**Conférence**

J.F. RAOULT. — Le profil ECORS-Nord de la France : exposé général sur le front varisque et le Bassin parisien.

En fin de séance, M<sup>lle</sup> CRASQUIN présente les ouvrages et périodiques reçus par la bibliothèque.

— « » —

## Stratigraphie et évolution anté-tectonique de la région de Lagonegro (Bassin lucanien, Italie méridionale)

### Stratigraphy and ante-tectonic evolution of Lagonegro area (Lucanian basin, southern Italia)

par Pascal MICONNET (\*)

*Résumé.* — En fonction de leur faciès stratigraphique, les séries sédimentaires du bassin de Lagonegro ont été regroupées en cinq unités stratigraphiques. Ces unités s'ordonnent du Nord vers le Sud en unité de San Fele (faciès proximal), unité de Pignola-Abriola, de Sasso di Castalda et d'Armizzone (faciès intermédiaire) et unité de Lagonegro (faciès distal). Dans chacune de ces unités, on rencontre la même succession lithologique, datée du Trias à Paléocène, reflétant un approfondissement du sillon - jusqu'à son franchissement du N.C.C. - puis son comblement.

*Abstract.* — According to them facies, the sedimentary series of Lagonegro basin are grouped into five stratigraphic units. From North to South the San Fele unit (proximal facies), the Pignola-Abriola, Sasso di Castalda and Armizzone units (intermediate facies) and the Lagonegro unit (distal facies) are encountered. In each unit, the same lithologic series, dated from Trias to Paleocene, can be found. The sedimentation seems to be due to a deepening of the trough below the C.C.D. and then to its filling up.

#### I. — INTRODUCTION

Les séries sédimentaires du bassin de Lagonegro affleurent dans l'Apennin lucanien, en Basilicate, entre les villages de Lagonegro au Sud et de San Fele au Nord (fig. 1). Ces séries sont regroupées en cinq ensembles stratigraphiques de faciès différents, s'échelonnant du Sud vers le Nord. Elles apparaissent intercalées tectoniquement entre une plate-forme carbonatée interne : la plate-forme de Campanie-Lucanie au SW qui les chevauche et la plate-forme externe d'Abruzze-Campanie au NE (Mt Alpi, fig. 1) sur laquelle elles semblent reposer (Elter et Scandone, 1980).

Dans cette étude, axée sur la description des formations lithologiques, nous montrerons l'existence de différences lithologiques et stratigraphiques importantes au sein de séries voisines et de même âge. Ces différences fondamentales, essentiellement à polarité S-N, nous conduiront à distinguer et à caractériser cinq "ensembles de faciès" ou unités stratigraphiques soit, respectivement, du Sud vers le Nord :

- l'unité de Lagonegro ;
- l'unité d'Armizzone ;
- l'unité de Sasso di Castalda ;
- l'unité de Pignola-Abriola ;
- l'unité de San Fele.

Une seconde partie nous amènera à interpréter cette variation latérale de faciès puis à reconstruire la paléogéographie locale.

Enfin, un modèle géodynamique sera proposé en guise de conclusion.

#### II. — DESCRIPTION LITHOSTRATIGRAPHIQUE DES FORMATIONS

Chacune de ces cinq unités est divisée en formations (fig. 2). On rencontre, de la plus ancienne à la plus récente (Scandone, 1972) :

- la formation du Monte Facito ;
- la formation des Calcaires à Silex ;
- la formation des Radiolarites ;
- la formation du Flysch Galestri.

(\*) Laboratoire de Géologie dynamique, U.E.R. des Sciences de la Terre, Université de Lille I.

Note présentée le 6 Novembre 1985 et acceptée pour publication par le Conseil de la S.G.N. le 7 Mai 1986.

### A) LA FORMATION DU MONTE FACITO

Elle n'affleure que dans les unités d'Armizzone et de Pignola-Abriola (fig. 2) et renferme une faune autochtone anisienne (Taddei Ruggiero, 1968).

Sur le terrain, de façon générale, il n'existe pas de différence importante entre la formation du Monte Facito de l'unité d'Armizzone et celle de l'unité de Pignola-Abriola. Elle est constituée d'une matrice pélitique plus ou moins silicifiée, polychrome, parfois riche en figures de courant. Au sein de cette matrice apparaissent, apparemment de manière anarchique, des blocs hétérogènes et de toutes tailles (10 cm à 100 m). Ce sont, par ordre de fréquence décroissante :

- des blocs de calcaire micritique, micrograveleux ou oolithique, dans lesquels on rencontre des *Dasycladacées*, des *Ophthalmidium* et, notamment, de nombreuses sections de *Meandrospira pusilla* (Ho) (dét. Zaninetti) ;
- des blocs de calcaire bréchiue riche en éléments carbonatés, pouvant contenir quelques morceaux de roches métamorphiques (schiste, micaschiste) ;
- des blocs de grès, de psammites, localement à stratification oblique.

La présence de *Meandrospira pusilla* en grande quantité et l'absence de *Meandrospira dinarica* conduit à supposer que ces blocs proviennent d'une plate-forme scythienne (Trias inférieur) (Zaninetti, comm. orale, 1983).

Le fait que ces blocs :

- soient répartis au hasard, de façon chaotique,
- ne contiennent jamais de plis indépendamment de leur matrice,
- soient souvent diaclasés,
- montrent, pour certains, des encroûtements ferrugineux,
- possèdent une matrice pélitique qui peut s'insinuer dans les fissures pré-existantes de leur face supérieure,

tend à prouver que la mise en place des blocs s'est faite dans un milieu marin à sédimentation essentiellement pélitique et que seule une tectonique de type distensif a affecté ces blocs avant leur mise en place.

Plus au Nord, dans l'unité de Pignola-Abriola, des pillow-lavas ont été rencontrés en quantité assez limitée. L'analyse géochimique montre que ces laves seraient plutôt de tendance alcaline. Des bancs lenticulaires de

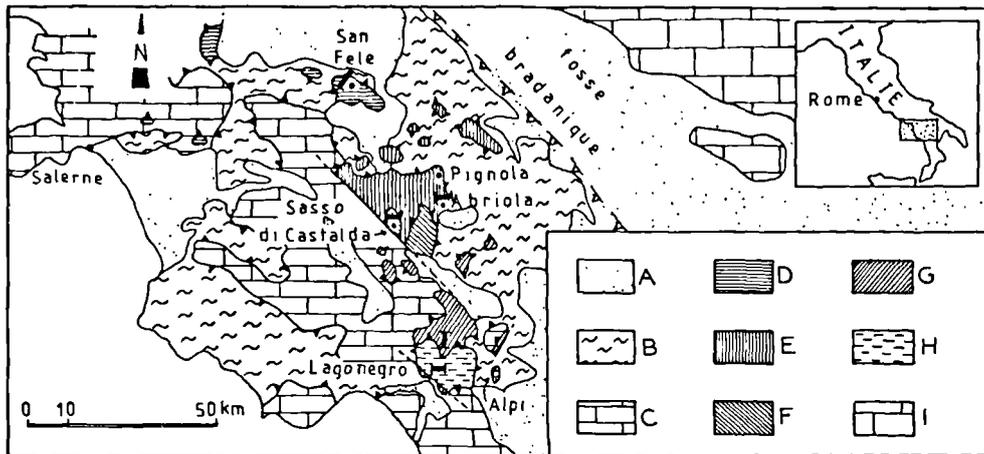


Fig. 1. — Carte structurale simplifiée de la Basilicate et localisation des coupes étudiées.

**Légende :** A, bassins Plio-Quaternaire et Miocène supérieur. — B, ensemble de nappes de glissement anté-Miocène (flysch, molasse). — C, plate-forme interne de Campanie-Lucanie (Trias supérieur - Miocène inférieur). — D à H, unités du bassin du Lagonegro (Trias-Eocène, voire Trias-Miocène inférieur) : D, unité de San Fele ; E, unité de Pignola-Abriola ; F, unité de Sasso di Castalda ; G, unité d'Armizzone ; H, unité de Lagonegro. — I, avant-pays, plate-forme d'Apulie (Trias-Pliocène).

**Remarque :** la plate-forme externe d'Abruzze-Campanie est représentée par le Monte Alpi (Trias-Miocène inférieur) au SE de la carte.

**Fig. 1. — Simplified structural map of Basilicate country with localisation of studied cross sections.** A, Plio-Quaternary and upper Miocene basin. — B, Slipping nappes (flysch, molasse,...). — C, Campania-Lucania internal platform (upper Trias - lower Miocene). — From D to H, Lagonegro units (Trias-Eocene - lower Miocene) : D, San Fele unit ; E, Pignola-Abriola unit ; F, Sasso di Castalda unit ; G, Armizzone unit ; H, Lagonegro unit. I, Foreland, Apulia platform (Trias-Pliocene).

**Remark :** Abruzze-Campania external platform is represented by the Alpi mount (Trias - lower Miocene) in the south-eastern part of the map.

calcaire récifal apparaissent également dans la formation ; les organismes constituant ces biostromes ont le même âge (Anisien-Ladinien) que la matrice et ces bancs récifaux correspondraient à une sédimentation autochtone (Scandone, 1972).

## B) LA FORMATION DES CALCAIRES A SILEX

Bien que De Lorenzo y ait décrit en 1896 les premières formes d'Halobies, cette formation n'était pas encore précisément datée. Scandone (1972) l'attribue globalement au Trias supérieur.

En règle générale, il s'agit d'une série d'au moins 400 m d'épaisseur, constituée de bancs de calcaire micritique ou micrograveleux, blanc à grisâtre, riche en chailles isolées ou stratifiées. Du Sud (Unité de Lagonegro) vers le Nord (Unité de San Fele), la formation présente une variation latérale de faciès importante.

### 1) L'Unité de Lagonegro.

Sa série stratigraphique (fig. 2) se compose d'un membre basal d'une centaine de mètres constitué d'alternances de bancs décimétriques de calcaire micritique noir, à filaments, et de bancs de 10 cm environ de marnes et d'argilites. La présence de quelques Conodontes parmi lesquels une forme intermédiaire entre *Carinella mungoensis* (Diebel) et *Metapolygnathus dieheli* (Kozur et Mostler) (\*) (dét. Vrielynck, 1980) indique l'intervalle Ladinien supérieur (Langobard) - Carnien inférieur (Cordevol). Le membre sommital est composé d'une série monotone de 300 m de bancs peu épais de calcaire micritique noir, à filaments, encore riches en silex. Une cinquantaine de mètres avant le sommet, le faciès change : des passées pélitiques rouges viennent progressivement s'intercaler parmi les bancs de calcaire s'enrichissant en éléments gréseux. On passe ainsi, transitionnellement, à la formation des Radiolarites sus-jacente. Les bancs de calcaire présentent généralement des structures turbiditiques telles que laminations, convolutes, bioturbations ou granoclassements. A l'intérieur des ultimes bancs carbonatés ont été récoltés des Conodontes indiquant le Norien moyen (Alaun) [*Neogondolella steinbergensis* (Mosher) et *Epi-gondolella permica* (Hayashi) ; dét. Vrielynck, 1982].

### 2) L'Unité d'Armizzone.

La formation des Calcaires à Silex (fig. 2) repose, par l'intermédiaire d'un niveau de transition (le membre basal), sur celle du Monte Facito. Epais d'une vingtaine de mètres, ce membre basal est formé de lits centimétriques à décimétriques de calcaire noduleux rouge

(\*) Une liste exhaustive de l'ensemble des faunes récoltées dans cette série ainsi que dans les autres est donnée dans Miconnet (1983).

alternant avec des pélites polychromes souvent siliceuses. Ce premier ensemble a été daté dans sa partie supérieure du Carnien inférieur et moyen (Cordevol et Jul) notamment par la présence de *Gondolella polygnathiformis* Budurov et Stefanov. En contact stratigraphique au-dessus, on retrouve une série monotone de 200 à 400 m de calcaire à silex identique à ceux de l'unité de Lagonegro. Par l'intermédiaire d'un nouveau niveau de transition, s'installe la formation des Radiolarites.

### 3) L'Unité de Sasso di Castalda.

Le membre basal de la formation n'a jamais été rencontré. La série est composée de bancs généralement peu épais de calcaire micritique riche en Conodontes. Un des bancs basaux contenant *Metapolygnathus abnaptis* (Huckriede) et *Metapolygnathus echinatus* (Hayashi) (dét. Vrielynck, 1982) est daté du Norien basal. Environ 30 m au-dessus, la série s'enrichit en bancs pélitiques jaunâtres et en passées turbiditiques de type sable et sablon. Ce niveau d'une soixantaine de mètres représente le changement de faciès entre la formation des Calcaires à Silex et celle des Radiolarites (fig. 2).

### 4) L'Unité de Pignola-Abriola.

Quelques niveaux à Halobies ont permis à Richetti (1961), Luperto (1964), De Capoa Bonardi (1970) et Scandone (1972) de dater " (...) la moitié inférieure de la formation (...) " du Carnien.

Le membre basal repose en contact stratigraphique au-dessus de la formation du Monte Facito (fig. 2). Il est constitué d'alternances de bancs pélitiques souvent siliceux, polychromes et de bancs noduleux de calcaire micritique à silex. La présence de Conodontes tels que *Gondolella polygnathiformis* Budurov et Stefanov, *Ozarkodina saginata* Huckriede et *Gondolella noah* Hayashi indique le Carnien, voire le Carnien inférieur. Au-dessus s'installe plus de 200 m de calcaire dolomitique et de dolomie à silex, en bancs de 50 cm (en moyenne). Ceux-ci, de couleur jaunâtre, laissent place par niveaux à des bancs microbréchiques ou graveleux. La base présente quelques rares manifestations volcaniques sous forme de niveaux tuffitiques. En montant dans la série, on retrouve le terme de passage aux Radiolarites : sur environ 100 à 150 m, des bancs de pélites siliceuses polychromes s'intercalent entre les bancs de dolomie et de calcaire microbréchiq. Dans quelques niveaux siliceux tout à fait sommitaux, l'association de Radiolaires " évoque " le Dogger (De Wever et Miconnet, 1985).

### 5) L'Unité de San Fele.

Elle n'affleure qu'à l'extrême Nord de la zone lucanienne (fig. 2). Le membre basal n'apparaît pas ; à la base de la série, on rencontre une centaine de mètres de dolomie à silex, souvent massive, quelquefois litée en gros bancs et présentant de remarquables

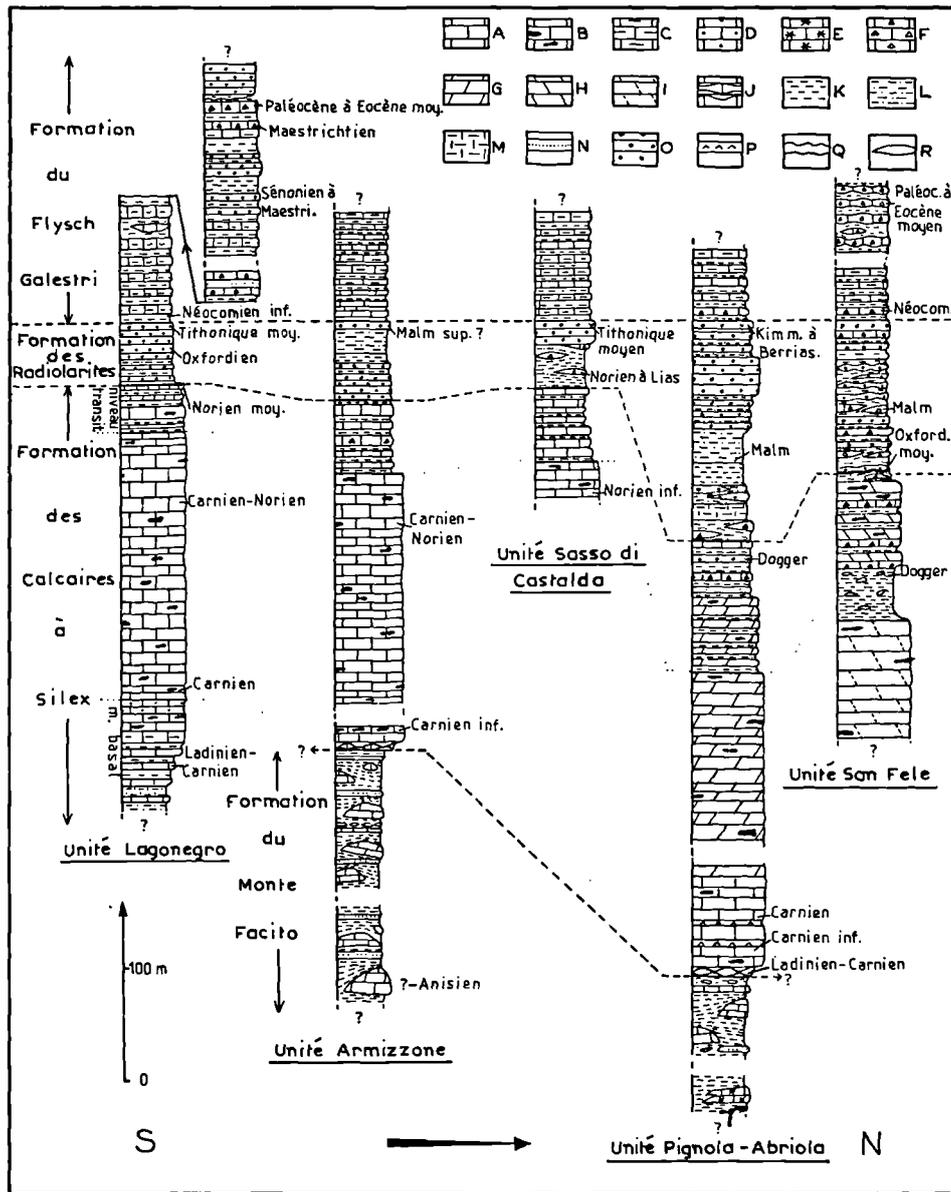


Fig. 2. — Séries lithostratigraphiques du bassin.

(On notera : 1° le diachronisme de la base de la formation des radiolarites ; 2° le synchronisme du sommet de celle-ci).

Légende : A, calcaire. — B, calcaire à silex. — C, calcaire marneux. — D, calcaire siliceux. — E, calcaire construit. — F, calcaire microbréchiq. et bréchiq. — G, calcaire dolomitique. — H, dolomie. — I, dolomie massive. — J, calcaire noduleux. — K, pélites. — L, pélites siliceuses. — M, marnes. — N, grès. — O, jaspe. — P, tuffites. — Q, banc noduleux. — R, lentille.

Remarque : les traits en pointillés correspondent à des corrélations de même faciès et donc ne corrént pas des âges.

Fig. 2. — Lithostratigraphic series of the Lagonegro basin.

(Note the diachronism of the Radiolarian formation basement and the synchronicity of his upper part).

A, Limestone. — B, Cherty limestone. — C, Marly limestone. — D, Siliceous limestone. — E, Reefal limestone. — F, Microbrecciated and brecciated limestone. — G, Dolomitic limestone. — H, Dolomite. — I, Massive dolomite. — J, Knobly limestone. — K, Pelites. — L, Siliceous pelites. — M, Marl. — N, Sandstones. — O, Jasper. — P, Tuffite. — Q, Knobly bank. — R, Lens. — Remark : Correlations between faciès are shown by dotted points.

figures de courant. Ce premier ensemble est surmonté par un niveau de 40 à 50 m de marnes massives bleutées, riches en éléments microbréchiques ou bréchiques. De nombreuses sections de *Lucasella cayeuxi* (Lucas) (dét. Fleury, 1983) font attribuer ce niveau au Toarcien supérieur - Bajocien inférieur (Bassoulet et Fourcade, 1979).

Enfin, sur une petite centaine de mètres, des alternances de calcaire dolomitique micrograveleux à bréchiq ue et de pélites siliceuses marquent le passage aux Radiolarites. Dans les bancs ou dans les lentilles de calcaire micrograveleux, des fragments de *Protopenneroplis striata* Weynschenk apparaissent au sein d'oolites remaniées. L'ensemble de la série est abondamment silicifié.

### C) LA FORMATION DES RADIOLARITES

La formation s'installe progressivement par l'intermédiaire de niveaux de transition ; elle est toujours en contact stratigraphique au-dessus des Calcaires à Silex et fait toujours place, en son sommet, à la formation du Flysch Galestri. La formation des Radiolarites correspond à des roches sédimentaires de tendance siliceuse, généralement rouge-violacé, possédant des bancs de jaspe à Radiolaires et pouvant encore contenir quelques récurrences ou passées de calcaire turbiditique à éléments grossiers.

#### 1) L'Unité de Lagonegro.

La série débute par 25 m de pélites siliceuses et de jaspe rouges, suivis par 30 m de bancs décimétriques de jaspe à Radiolaires. Les derniers bancs sont datés du Tithonique moyen par des Radiolaires dont *Obesacapsula rotunda* (Hinde) et *Parvicingula dhimenaensis* Baumgartner (De Wever et Miconnet, 1985). Brusquement au-dessus, mais en contact stratigraphique, se sédimente la formation du Flysch Galestri.

#### 2) L'Unité d'Armizzone.

Elle demeure comparable à celle de Lagonegro (fig. 2). Après le dernier banc calcaire apparaît une soixantaine de mètres de pélites siliceuses et de jaspe à Radiolaires généralement rougeâtres. Dix mètres sous la base du Flysch Galestri, un banc de jaspe à livré des Radiolaires appartenant vraisemblablement au Malm supérieur (*Parvicingula* sp. aff. *P. boesii*, *Podocapsa* sp. aff. *P. amphitreptera*, *Trirabs* sp. aff. *T. rhododactylus*).

#### 3) L'Unité de Sasso di Castalda.

Les quarante premiers mètres sont composés de niveaux pélitiques, généralement rougeâtres, dans lesquels s'intercalaient d'importantes lentilles de calcaire allodapique. Dans l'une d'elles, située une dizaine de mètres au-dessus de la base, des Foraminifères du Norien, voire même du Lias, ont été reconnus (Micon-

net, Ciarapica et Zaninetti, 1983). Ces lentilles de calcaire quelquefois dolomitique sont constituées d'éléments millimétriques de calcaire de plate-forme (oolites, fractions de tests de bivalves, de gastéropodes...); elles représenteraient d'anciennes sections de chenaux. Vient ensuite une vingtaine de mètres de jaspe holosiliceux en bancs de 5 à 10 cm. Le sommet de la formation est daté du Tithonique moyen par l'association notamment d'*Obesacapsula rusconensis* Baumgartner et de *Parvicingula dhimeraensis* Baumgartner (De Wever et Miconnet, 1985) (fig. 2).

#### 4) L'Unité de Pignola-Abriola.

La formation des Radiolarites est formée d'une série siliceuse de 200 m présentant encore sur ces 50 premiers mètres, de nombreuses lentilles de calcaire allodapique (fig. 2). Au-dessus, on retrouve des alternances de bancs de jaspe (peu nombreux) à Radiolaires et de pélites siliceuses rougeâtres. Dans un niveau jaspeux (localisé 75 m au-dessus de la base), ont été extraits, en outre, *Foremanella diamphidia* (Foreman) et *Emiluvia premyogii* Baumgartner, deux espèces de Radiolaires indiquant l'intervalle Kimméridgien supérieur à base du Tithonique. Le sommet, avec la présence d'*Obesacapsula morroensis* Pessagno et de *Podocapsa amphitreptera* Foreman (dét. De Wever, 1982) appartiendrait au Kimméridgien supérieur-Berriasien. Au-dessus, on retrouve la formation du Flysch Galestri.

#### 5) L'Unité de San Fele.

La formation, puissante de 240 m, reste toujours soumise à d'importantes venues détritiques (fig. 2). Elle est formée d'une alternance discontinue de bancs souvent noduleux, de jaspe à Radiolaires, de bancs ou de lentilles de calcaire micrograveleux à Trocholines et *Protopenneroplis striata* Weynschenk ou de calcaire bréchiq ue à débris de calcaire néritique et à oolites. Vers le sommet apparaissent des pélites siliceuses bleutées ou rougeâtres. La base de la formation est précisément datée de l'Oxfordien moyen par de nombreux Radiolaires comme *Mirifusus chenodes* (Renz), *Mirifusus fragilis* Baumgartner, *Emiluvia orea* Baumgartner et *Higumastra imbricata* (Ozoldova). Le sommet passe, progressivement mais assez rapidement, à la formation du Flysch Galestri.

### D) LA FORMATION DU FLYSCH GALESTRI

A l'exception de quelques bancs microbréchiq ues visibles à Pignola-Abriola et à San Fele, la formation est assez homogène dans son faciès. Il s'agit d'une série dont l'épaisseur est difficile à établir (au moins 300 m), composée d'alternances souvent régulières de bancs décimétriques de calcaire micritique siliceux et/ou dolomitique, riche en Radiolaires calcitisés, et de pélites siliceuses noirâtres à débit écailleux. Brönnimann *et al.* (1971) ont daté sa base du Néocomien à l'aide de Calpionelles pour l'unité de Lagonegro et de

Foraminifères pour l'unité de San Fele. Quelques sections de *Globotruncana* [notamment *G. elevata* s.l. (Brotzen) et *G. gr. stuarti* (De Lapparent)], des sections d'*Helenocyclina* sp. et de *Siderolites calcitrapoides* rencontrées au sommet de la formation pour l'unité de Lagonegro, lui attribuent un âge campanien-maestrichien. Localement au-dessus, on observe en contact stratigraphique discordant (Scandone, 1972) la formation des Argiles Rouges de Pecorone (unité de Lagonegro) s'étendant au moins jusqu'au Paléocène-Eocène, ou la formation de Bella pour l'unité de San Fele, de même âge. Ces deux formations sont composées d'argilites versicolores, très plastiques, et de bancs souvent noduleux ou lenticulaires de calcaire microbréchiqne riche en sections de Globigérines ou de Discocyclines. Ce sont les séries les plus récentes rencontrées jusqu'à présent.

### III. — INTERPRETATION

#### A) LA LITHOLOGIE

Les séries lithologiques de chaque unité sont caractérisées par une succession de formations semblables et connues pour l'ensemble du bassin.

1) A la base, lorsqu'elle affleure, se trouve la formation du Monte Facito de type peu profond. Il s'agit d'une sorte d'olistostrome dont la taille des blocs est gigantesque (quelquefois plusieurs centaines de mètres !) Cette taille suggère un phénomène tectonique originel de grande ampleur n'ayant rien à voir avec d'éventuels éboulements sous-marins mais lié à une véritable tectonique distensive valable à l'échelle de la région et susceptible d'entraîner la dislocation des plates-formes bordières (Miconnet, 1983). On est contraint d'admettre que le transport de tels volumes de roche n'a pu être très important, d'où la nécessité d'invoquer un bassin de resédimentation initialement étroit et qui se serait agrandi progressivement en continuant d'être alimenté par les plates-formes limitrophes. Cet événement distensif qui serait également à l'origine de la mise en place de corps éruptifs à tendance alcaline, s'étagerait du Scythien supérieur au Ladinien supérieur, époque de l'arrêt de la resédimentation en masse. L'hypothèse proposée par Scandone (1975) d'une largeur de bassin de 120 km avant la tectonique compressive miocène, est compatible avec une vitesse d'ouverture de 1,2 cm par an, vitesse comparable à celle de l'expansion océanique actuelle (sans qu'il y ait ici apparition d'une croûte océanique).

2) En contact stratigraphique au-dessus, la formation des Calcaires à Silex montre une importante variation latérale de faciès (tableau I). Ces différences lithologiques à polarité Sud-Nord sont identiques à celles connues pour les formations deltaïques sous-marines (Mutti, 1977 ; Mutti et Ricci Lucchi, 1974), en considérant l'unité stratigraphique de Lagonegro comme un dépôt distal et celle de San Fele comme proximal.

3) La formation des Radiolarites se sédimente après, par l'intermédiaire d'un niveau de transition. Son apparition est accompagnée d'une brusque chute du "taux de sédimentation relatif" (fig. 3). De 34 m/MA pour la formation des Calcaires à Silex de l'unité de Lagonegro, le taux de sédimentation tombe à 0,7 m/MA pour la formation des Radiolarites. D'autre part, le pourcentage moyen des Radiolaires contenus dans les Calcaires à Silex étant de 1 à 5 % du volume global de la roche, il en résulte que le taux de dépôt en Radiolaires (et en pélites) dans les Calcaires à Silex (1 à 5 % de 34 m/MA) est tout à fait comparable au taux de sédimentation de la formation des Radiolarites (composée uniquement de Radiolaires et de pélites). Ce taux de dépôt en Radiolaires et en pélites semblant constant par rapport au temps, c'est donc le taux de dépôt en carbonate qui a changé et l'absence de bancs carbonatés autochtones dans la formation des Radiolarites le confirme.

Il en résulte que l'apparition de la formation des Radiolarites est à corrélérer avec le passage du bassin sous le niveau de compensation des carbonates (N.C.C.), soit par approfondissement du secteur, soit par une hypothétique remontée du N.C.C. L'enfoncement relatif sous le N.C.C. n'interdirait cependant pas le dépôt d'éléments carbonatés grossiers, d'origine turbiditique, dans les séries proximales de Pignola-Abriola et de San Fele.

4) Enfin, le retour brutal d'une sédimentation carbonatée autochtone (calcaire à Calpionelles de la base du Flysch Galestri) serait en relation avec une chute importante du niveau de compensation des carbonates à la limite Jurassique-Crétacé. Cette chute du N.C.C. semble être appliquée à l'ensemble de la Téthys à cette époque (Bosellini et Winterer, 1975 ; Thiebault, 1982) et serait à corrélérer avec des événements tectoniques globaux (fermeture de la Téthys orientale ; Biju-Duval *et al.*, 1976).

#### B) LA STRATIGRAPHIE

L'étude entreprise ici a permis de montrer que la formation du Monte Facito s'est développée au moins de l'Anisien jusqu'à la limite Ladinien-Carnien, âge de la tectonique distensive à l'origine de cette formation. Au Carnien, après l'arrêt des "ouvertures", la relative stabilité des plates-formes avoisinantes permet l'installation d'un régime carbonaté synchrone à l'ensemble du bassin. Probablement grâce à un approfondissement progressif au cours du temps, on passe d'un faciès peu profond (faciès récifal dans la formation du Monte Facito) aux Calcaires à Silex puis aux Radiolarites qui correspondent à des dépôts respectivement profonds et infra N.C.C. Le franchissement du niveau de compensation des carbonates s'est produit au cours du Norien moyen pour les faciès distaux et durant l'Oxfordien moyen pour les faciès proximaux. Deux hypothèses peuvent être proposées pour expliquer ce diachronisme.

- *Première hypothèse* : initialement, la profondeur du bassin était en tout point la même ; le bassin s'est enfoncé par approfondissement des unités distales puis de celles plus proximales, c'est-à-dire suivant un basculement.
- *Deuxième hypothèse* : l'enfoncement relatif du bassin sous le N.C.C. s'est effectué de façon homogène mais le dispositif était plus incliné initialement.

Alors que pour la première hypothèse il existe une intervention tectonique nécessaire au basculement du bassin (qui n'est pas repérée dans la stratigraphie ni dans la lithologie), la seconde hypothèse n'en nécessite pas de réelle et rend compte d'un profil en pente semblable à celui d'un delta sous-marin compatible avec nos observations. Le diachronisme serait alors la traduction de l'inclinaison du fond du bassin, celui-ci s'approfondissant vers le large.

*Remarque.* - Une troisième hypothèse consisterait à faire rejouer les failles distensives formées au Trias moyen. Ce rejeu est certes possible, mais aucun élément

permettant de la mettre en évidence n'a été observé dans le secteur.

La formation du Flysch Galestri arrive brusquement et de façon synchrone à la limite Jurassique-Crétacé. La sédimentation semble alors se poursuivre au moins jusqu'à l'Eocène moyen.

### C) INTERPRETATION GEODYNAMIQUE, ESSAI DE CARACTERISATION DU BASSIN

Durant l'Aniso-Ladinien (de — 239  $\overline{MA}$  à — 229  $\overline{MA}$  ; *in* Odin et Kennedy, 1982) se développent, dans la formation du Monte Facito unité Pignola-Abriola, des masses récifales limitant donc la profondeur du lieu de sédimentation à un maximum de 100 m. Puis, à l'Oxfordien moyen, se sédimentent au même endroit les Radiolarites interprétées ici comme un dépôt profond, infra N.C.C. Entre ces deux époques, le bassin s'est donc approfondi. Winterer et Bosellini (1981) ont calculé la profondeur du N.C.C. à l'Oxfordien

	S	Faciès Lagonegro I	Faciès (1) intermédiaire	Faciès San Fele	N
Formation des Calcaires en Silex		Bancs minces ( $\approx$ 10 à 50 cm)			Bancs épais (pouvant atteindre 3 à 4 m)
		Stratification plane et parallèle			Stratification irrégulière, nombreux bancs noduleux ou lentiformes
		Particules toujours fines, argiles et pélites abondantes		Passage latéral de faciès	Nombreuses passées détritiques grossières, argiles et pélites rares
		Bon granoclasement, surface supérieure de stratification transitionnelle entre calcaire et pélites, surface inférieure brusque et bien tranchée			Mauvais granoclasement, surfaces de stratification brusques et bien marquées
		Bancs généralement calcaires			Bancs généralement dolomitiques
Formation des Radiolarites		Taux de sédimentation bas (0,7 m/ $\overline{MA}$ )			Taux de sédimentation élevé (10 m/ $\overline{MA}$ )

(1) c'est-à-dire du Sud vers le Nord faciès Armizzone, Sasso di Castalda et Pignola-Abriola.

Tableau I. — Variations latérales de faciès dans les formations du Lagonegro.

Table I. — Lateral facies variations in the Lagonegro formations.

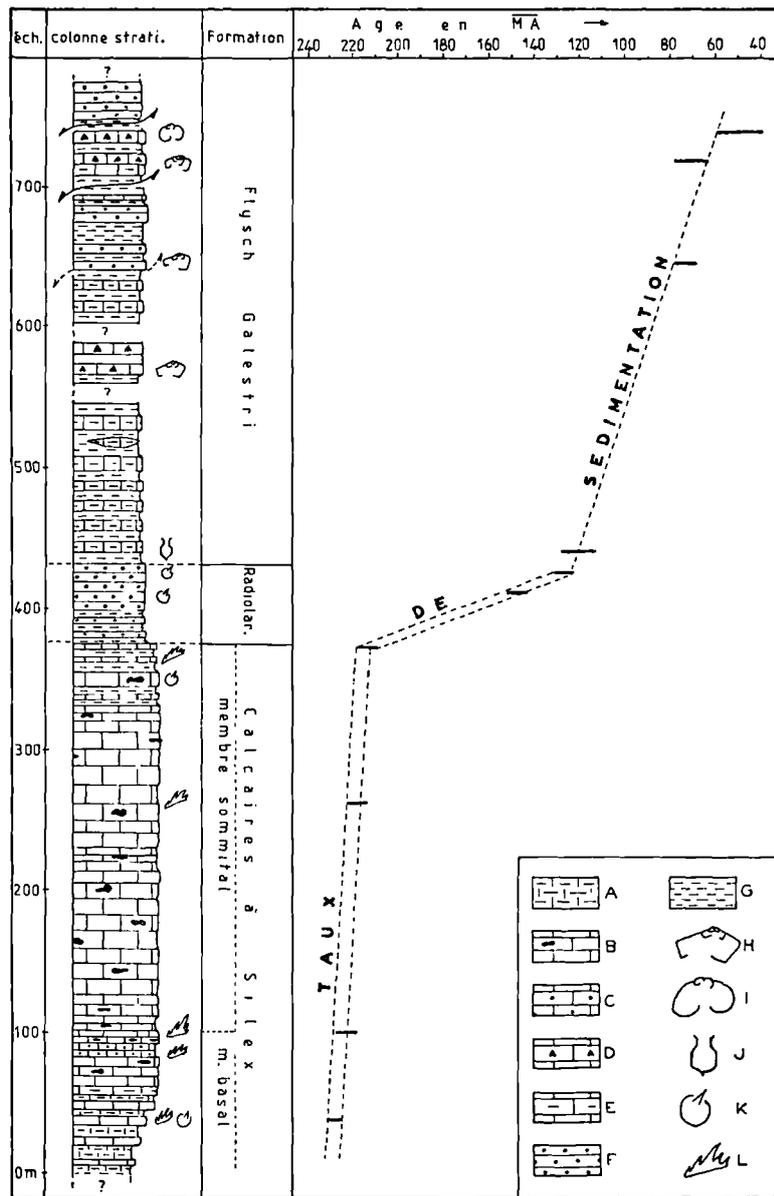


Fig. 3. — Taux de sédimentation de l'unité stratigraphique du Lagonegro.

L'abscisse correspond à l'âge des niveaux datés; l'ordonnée représente la colonne stratigraphique. Noter la chute brutale du taux dans la formation des Radiolorites.

Légende : A, marnes. — B, calcaire à silex. — C, calcaire siliceux. — D, calcaire microbréchique. — E, calcaire marneux. — F, jaspe. — G, pélites. — H à L, microfossiles rencontrés : H, *Globotruncana*; I, *Globigérine*; J, *Calpionelle*; K, *Radiolaire*; L, *Conodonte*.

Fig. 3. — Sedimentation ratio in Lagonegro stratigraphic unit. Age according to the abscissa, stratigraphic column according to the ordinate.

A, Marl. — B, Cherty limestone. — C, Siliceous limestone. — D, Microbrecciated limestone. — E, Marly limestone. — F, Jasper. — G, Pelites — From H to L, Microfossils: H, *Globotruncana*; I, *Globigerine*; J, *Calpionella*; K, *Radiolarian*; L, *Conodont*.

(— 146  $\overline{MA}$ ) pour les Alpes méridionales; en admettant que celle-ci soit la même pour l'Apennin méridional ( $\approx$  — 2 100 m), nous pouvons calculer une vitesse moyenne d'enfoncement ( $V_e$ ) du bassin :

$$V_{e \text{ mini}} = \frac{2\ 100 - 100}{239 - 146} \approx 21,5 \text{ m}/\overline{MA}$$

$$V_{e \text{ maxi}} = \frac{2\ 100 - 100}{229 - 146} \approx 24 \text{ m}/\overline{MA}$$

Grâce à cette vitesse, la profondeur ( $p$ ) de dépôt des sédiments dans ce secteur peut être calculée pour n'importe quelle période et notamment au Norien moyen ( $\approx$  — 215  $\overline{MA}$ ), le taux de sédimentation étant approximativement constant (fig. 3).

$p$  = profondeur initiale +  $V_e \times$  temps écoulé

$$P_{\text{mini}} = (-) 100 + 24,0 \times (229 - 215) = (-) 436 \text{ m}$$

$$P_{\text{maxi}} = (-) 100 + 21,5 \times (229 - 215) = (-) 616 \text{ m}$$

A la même époque, mais dans le secteur distal de Lagonegro, commencent à se sédimenter les Radiolarites sous le niveau de compensation des carbonates, c'est-à-dire à — 2 500 m (Bosellini et Winterer, 1975).

Au Norien moyen, nous sommes donc en présence (fig. 4) d'un bassin de sédimentation d'une profondeur voisine de 500 m pour le secteur de San Fele et de 2 500 m pour celui de Lagonegro distant d'un peu plus de 100 km (en tenant compte des raccourcissements longitudinaux dus à la tectonique).

#### IV. — CONCLUSION, SYNTHESE

Cette étude géologique de la région lucanienne a permis de reconstruire une partie de l'évolution géodynamique du bassin de Lagonegro.

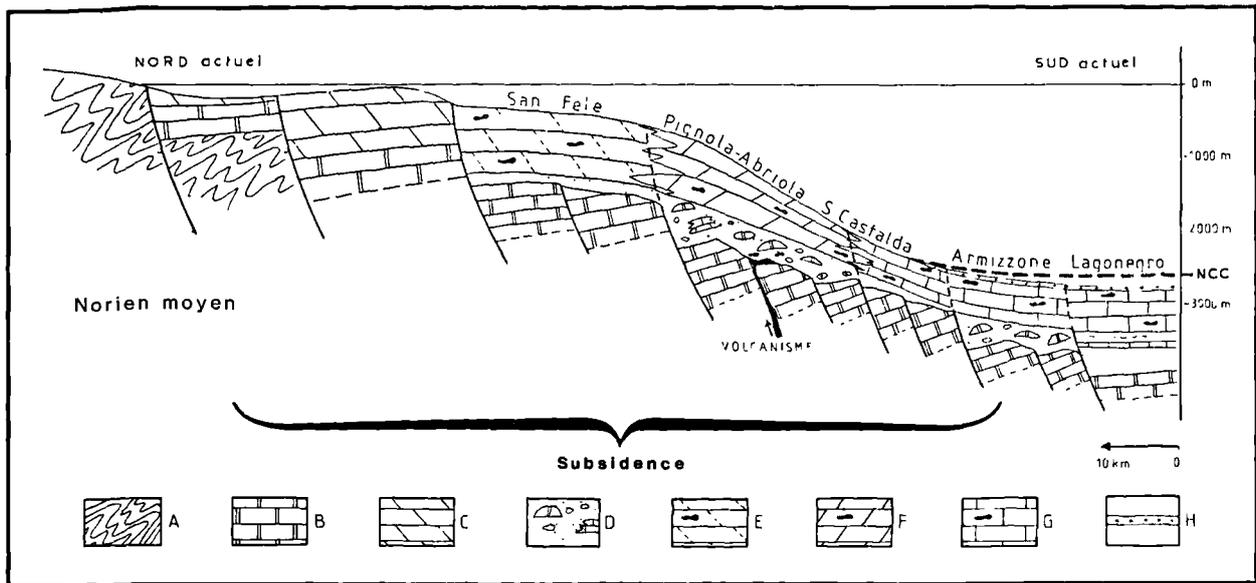


Fig. 4. — Modèle palinspastique proposé au cours du Norien moyen.

Légende : A, socle hypothétique ayant, en partie, alimenté la sédimentation du bassin. — B, couverture du socle et plate-forme scythienne reconstituée. — C, dolomie primaire alimentant, en partie, la sédimentation du bassin. — D, formation du Monte Facito, niveau probable de décollement. — E, dolomie massive de la formation des Calcaires à Silex faciès San Fele. — F, dolomie litée et calcaire dolomitique de la formation des Calcaires à Silex faciès Pignola-Abriola. — G, formation des Calcaires à Silex faciès Sasso di Castalda, Armizzzone et Lagonegro. — H, formation des Radiolaires faciès Lagonegro, Armizzzone et, peut-être, Sasso di Castalda.

Fig. 4. — Palinspastic model proposed for middle Norian.

A. Hypothetic basement, partly source of the basin sedimentation. — B, Reconstituted lower triassic platform. — C, Primary dolomite, partly source of the basin sedimentation. — D, Monte Facito formation, decollement level. — E, Massive dolomite in the cherty limestone formation (San Fele facies). — F, Bedded dolomite and dolomitic limestone in the cherty limestone formation, Pignola-Abriola facies. — G, Cherty limestone formation (Sasso di Castalda, Armizzzone and Lagonegro facies). — H, Radiolarian formation (Lagonegro, Armizzzone and may be Sasso di Castalda facies).

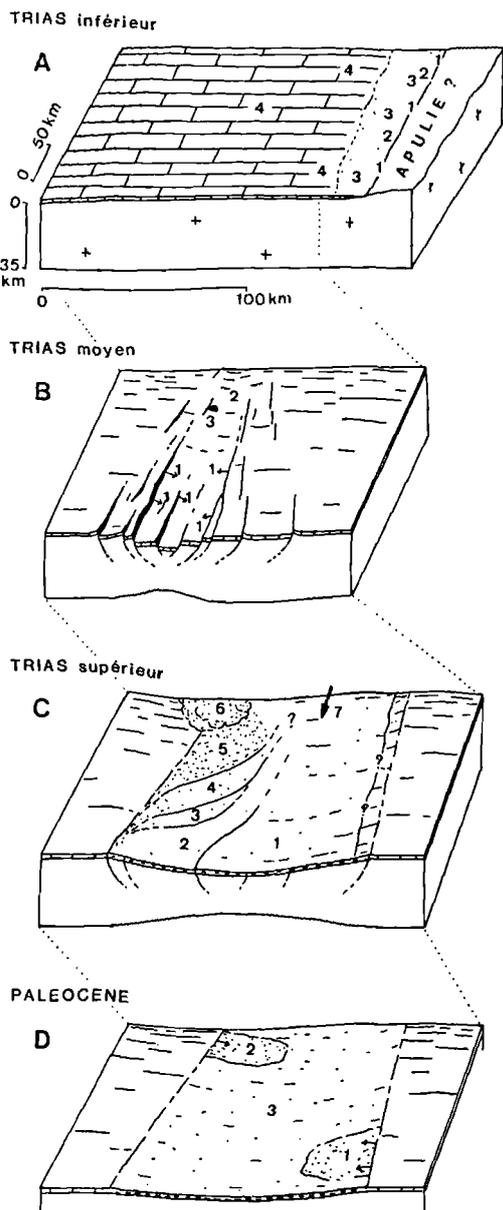


Fig. 5. — Evolution paléogéographique.

- A : Bloc-diagramme de la région avant l'ouverture ; la plate-forme scythienne. Faciès à : 1, *Meandrospira pusilla*. — 2, structures fenestrées. — 3, *Dasycladacées*. — 4, *Oolites*.  
 Remarque : Si aucune rotation n'est intervenue depuis le Trias inférieur, le Nord serait en haut du schéma.
- B : Ouverture aniso-ladinienne. 1, mise en place des blocs. — 2, formation des récifs (secteur de Pignola-Abriola). — 3, mise en place de roches effusives (secteur de Pignola-Abriola).  
 Remarque : Les mouvements verticaux sont exagérés.

### A) LE TRIAS INFÉRIEUR (SCYTHIEN)

Les faits se rapportant à cette époque sont malheureusement peu nombreux. Il semblerait qu'au Scythien se soit installée une plate-forme carbonatée dont le seul témoignage nous parvient au travers des blocs de la formation du Monte Facito (a, fig. 5).

### B) L'ANISO-LADINIEN

C'est vraisemblablement dès l'Anisien inférieur (peut-être déjà au Scythien terminal) que "l'ouverture" du bassin se produit (b, fig. 5). Elle se poursuit durant tout l'Anisien et le Ladinien pour s'arrêter à la limite Ladino-Carnien. La naissance du bassin se manifeste par la création de dénivellations importantes accompagnées par le démantèlement de la plate-forme scythienne en vastes panneaux. Ces deux phénomènes sont à l'origine de la formation du Monte Facito. La profondeur encore peu importante permet l'installation locale de récifs tandis que s'épanchent sur le fond du bassin quelques rares roches éruptives. Le mécanisme de l'ouverture demeure encore mal connu ; il semblerait que celui-ci soit de type fracturation intra-continente à rattacher directement à la tectonique en distension du Trias moyen (Biju-Duval *et al.*, 1977).

### C) DU CARNIEN AU PALEOCENE

C'est la période de quiescence du bassin (c et d, fig. 5). L'individualisation des différents secteurs (San Fele, Pignola-Abriola, Sasso di Castalda, Armizzone et Lagonegro) déjà amorcée auparavant, se poursuit. Tout

- C : Individualisation des faciès. 1, unité Lagonegro. — 2, unité Armizzone. — 3, unité Sasso di Castalda. — 4, unité Pignola-Abriola. — 5, unité San Fele. — 6, cône deltaïque. — 7, sens probable du courant.
- D : Fin de la période de vacuité. 1, arrivées détritiques (formation des Argiles Rouges de Pecorone). — 2, arrivées détritiques (formation de Bella). — 3, formation du Flysch Galestri.

Fig. 5. — Paleogeographic model.

- A : Before the opening : lower triassic platform. 1, *Meandrospira pusilla*. — 2, *Fenestrae* structure. — 3, *Dasycladacea*. — 4, *Oolitic facies*.
- B : The aniso-ladinian opening. 1, *Emplacement of blocks*. — 2, *Formation of reefs* (Pignola-Abriola area). — 3, *Emplacement of effusive rocks* (Pignola-Abriola area).
- C : Individualization of the facies. 1, *Lagonegro unit*. — 2, *Armizzone unit*. — 3, *Sasso di Castalda unit*. — 4, *Pignola-Abriola unit*. — 5, *San Fele unit*. — 6, *Deep sea fan*. — 7, *Direction of the stream*.
- D : End of the vacuity period. — *Detritic arrivals* : 1, *Red claystone of Pecorone formation*. — 2, *Bella formation*. — 3, *Galestri flysch formation*.

laisse supposer qu'un fleuve important, transportant des éléments détritiques, se jetait à proximité du secteur de San Fele. L'approfondissement relatif du bassin conduisant au franchissement du N.C.C. peut être imputable à la subsidence. Ce niveau est atteint dès le Norien moyen pour les secteurs distaux alors qu'il faut attendre l'Oxfordien moyen pour les secteurs proximaux. La sédimentation jusqu'alors essentiellement carbonatée (formation des Calcaires à Silex) devient siliceuse (formation des Radiolarites). L'apparition soudaine et syn-

chrone de nouvelles alternances pélitico-calcaires au Crétacé basal (formation du Flysch Galestri) est attribuable, dans son ensemble, à une brusque chute du niveau de compensation des carbonates. Cette période de vacuité prend fin au Sénonien. De nouvelles "pulsions" tectoniques se traduisent dans le bassin par des apports microbréchiques (formation de Pecorone, de Bella). Ces arrivées semblent se poursuivre jusqu'à l'Eocène-Oligocène, avant les phases majeures de la tectonisation du secteur au Miocène inférieur.

#### BIBLIOGRAPHIE

- 1) BASSOULET J.P. et FOURCADE E. (1979). — Essai de synthèse de répartition de Foraminifères benthiques du Jurassique carbonaté mésogéen. *C.R. somm. Soc. géol. France*, p. 69-71.
- 2) BIJU-DUVAL B., DER COURT J. et LE PICHON X. (1977). — From the Tethys ocean to the mediterranean seas : a plate tectonic model of the evolution of the western alpine system. *In : International symposium on the structural history of the mediterranean basin, Split (Yugoslavia)*, p. 143-164.
- 3) BOSELLINI A. et WINTERER E.L. (1975). — Pelagic limestone and radiolarite of the tethyan mesozoic : a genetic model. *Geology*, 3, p. 279-283.
- 4) DE CAPOA BONARDI P. (1970). — Le Daonelle e le Halobie della serie calcareo-silico-marnosa della Lucania (Appennino meridionale). *Studio paleontologico e biostratigrafico. Mem. Soc. Nat. Napoli*, 78, p. 1-27.
- 5) DE LORENZO G. (1896). — Fossili del Trias medio di Lagonegro. *Paleont. Italica*, 2, p. 113-148.
- 6) DE WEVER P. et MICONNET P. (1985). — Datations directes des radiolarites du bassin du Lagonegro (Lucanie, Italie méridionale). Implications et conséquences. *Rev. Esp. Micropaleont.*, XVIII, 3, p. 373-402.
- 7) ELTER P. et SCANDONE P. (1980). — Les Apennins. *In : Géologie des chaînes alpines issues de la Téthys. Congr. géol. int., Colloq. C5*, p. 99-102.
- 8) LUPERTO E. (1964). — Faune mesozoïque de Pignola (Potenza). *Paleont. Italica*, 57, p. 1-9.
- 9) MICONNET P. (1982). — Précisions stratigraphiques et tectoniques dans un secteur du Lagonegro (Italie méridionale). *Ann. Soc. géol. Nord*, t. CII, p. 17-24.
- 10) MICONNET P. (1983). — La région de Lagonegro (Italie méridionale) : évolution géologique d'un bassin dans son cadre alpin. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Lille. 185 p.
- 11) MICONNET P., CIARAPICA G. et ZANINETTI L. (1983). — Faune à Foraminifères du Trias supérieur d'affinité sud-téthysienne dans l'Apennin méridional (Bassin de Lagonegro, province de Potenza, Italie) ; comparaison avec l'Apennin septentrional. *Rev. microp.*, 2, 2, p. 131-147.
- 12) MUTTI E. (1977). — Distinctive thin-bedded turbidite facies and related depositional environments in the Eocene Hecho group (South-Central Pyrenees, Spain). *Sedimentology*, 24, p. 107-131.
- 13) MUTTI E. et RICCI LUCCHI F. (1974). — La signification de certaines unités séquentielles dans les séries à turbidites. *Bull. Soc. géol. France*, (7). XVI, p. 557-582.
- 14) ODIN G.S. et KENNEDY W.J. (1982). — Mise à jour de l'échelle des temps mésozoïques. *C.R. Ac. Sc., Paris*, 294, p. 383-386.
- 15) RICHETTI G. (1961). — Geologie del nucleo mesozoico di Pignola e Abriola (Potenza). *Boll. Soc. Geol. Italia*, 80, p. 247-267.
- 16) SCANDONE P. (1967). — Studi di geologia lucana : la serie calcareo-silico-marnosa e i suoi rapporti con l'Appennino calcareo. *Boll. Soc. Nat. Napoli*, 76, p. 301-469.
- 17) SCANDONE P. (1972). — Studi di geologia lucana : carta dei terreni della serie calcareo-silico-marnosa e note illustrative. *Boll. Soc. Nat. Napoli*, 81, p. 225-300.
- 18) TADDEI RUGGIERO E. (1968). — Brachiopodi triasici della Pietra Maura (Lucania). studio paleontologico e statistico. *Boll. Soc. Nat. Napoli*, 77, p. 349-392.
- 19) THIEBAULT F. (1982). — L'évolution géodynamique des Hellénides externes en Péloponnèse méridional. *Soc. géol. Nord*, Publ. n° 6, 574 p.
- 20) WINTERER E.L. et BOSELLINI A. (1981). — Subsidence and sedimentation on jurassic passive continental margin, southern Alps. Italy. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 65/3, p. 394-421.



## Altérites, sables marins (NP8, NP9) et fluviatiles, silicification et stromatolites dans le Paléocène supérieur entre Criel et le Cap d'Ailly (Haute-Normandie)

### Weathered chalk, marine (NP8, NP9) and fluviatile sands, silicification and stromatolites in the upper Palaeocene between Criel and the Cap d'Ailly (Haute-Normandie)

par Christian DUPUIS (\*) et Etienne STEURBAUT (\*\*)

*Résumé.* — Entre Criel et le Cap d'Ailly, sous la Formation de Varengueville (NP11) et les faciès sparnaciens, les sables thanétiens, difficiles d'accès, restaient mal connus.

Notre étude permet d'y définir quatre formations dont les relations mutuelles sont précisées.

Deux sont marines, de faciès " thanétien " : les Sables de Dieppe et de Criel ; les deux autres continentales : les Sables du Petit-Ailly, fluviatiles et les Sables et Grès du Pays-de-Caux s.s., singularisés par leur diagenèse supergène.

Les Sables de Dieppe étant attribués à la biozone NP8 et les Sables de Criel à la biozone NP9, la série tertiaire de Haute Normandie se trouve calée entre les biozones NP8 et NP11. Ainsi peuvent être situés dans le temps les principaux événements mis en évidence, entre autres :

- la fin locale de l'évolution pédologique du substrat crayeux (NP8),
- le haut niveau marin (relatif) marquant l'extension maximum de la mer thanétienne à la fin du Paléocène (NP8),
- la transgression des faciès sparnaciens (transgression londonienne) coïncidant avec la fin de la mobilisation continentale du calcaire (post NP9).

*Abstract.* — Along the cliffs of the Haute-Normandie, between Criel and the Cap d'Ailly, the so-called thanetian sands, lying below the Formation de Varengueville (NP11) and the sparnacian facies (french sense) remained bad known.

Our study allow to define in this sands, four formations, the relationships of which are explicited.

Two are marine, with a " thanetian " facies : the Sables de Dieppe and de Criel ; the two others are continental ; the Sables du Petit-Ailly are fluviatile and the Sables et Grès du Pays-de-Caux strict sense are characterised by their near-surface diagenesis.

The Sables de Dieppe and the Sables de Criel being attributed respectively to the NP8 and the NP9 biozones, the tertiary succession of the Haute-Normandie is now well situated between the NP8 and NP11 zones.

Thus the main demonstrated events can be located in the time scale :

- the local end of the pedologic evolution of the chalk (NP8),
- the high marine relative level causing the maximum stretching of the thanetian sea at the top of the Palaeocene (NP8),
- the sparnacian facies transgression (londonian transgression) coinciding with the interruption of the continental limestone leaching (after NP9).

(\*) Groupe G.E.P., Institut Jules Cornet, Faculté Polytechnique, rue de Houdain, 9, B-7000 Mons.

(\*\*) Geologisch Instituut, Laboratorium voor Paleontologie, Rijksuniversiteit Gent, Krijgslaan, 281, B-9000 Gent.

Note présentée le 6 Novembre 1985 et acceptée pour publication par le Conseil de la S.G.N. le 7 Mai 1986.

Sous la Formation de Varengueville, le Paléocène du littoral normando-picard se subdivise en deux ensembles lithologiques principaux (Dupuis *in* Robaszynski *et al.*, 1981).

Le premier, surtout sableux, repose sur la craie ou sur ses altérites ; dans la région de Dieppe, il est connu sous le nom de Sables et Grès du Pays-de-Caux (Leriche, 1939). Sur base d'observations anciennes non vérifiées depuis (Munier-Chalmas, 1896), il est attribué au Thanétien.

Le second, les Sables et Argiles à Ostracodes et Mollusques (Bignot, 1971), surmonte le précédent ; il appartient aux faciès sparnaciens et son âge est plus controversé : Eocène inférieur ou Paléocène.

Malgré les conditions d'observation délicates, une révision des affleurements entre Criel et Sotteville a permis de lever un nombre de coupes suffisant pour rendre compte de leur complexité.

Dans cette note, nous décrivons des formations et des passages latéraux jusqu'ici ignorés (fig. 1 et 2).

La série classique du Cap d'Ailly est d'abord revue en privilégiant quelques nouvelles observations. Ses relations avec les sections situées à l'E ou au NE (Les Blancs Pâtis, Côte aux Hérons, Criel) sont ensuite réexaminées. Les résultats principaux portent sur la découverte de niveaux stromatolitiques à la base des Sables et Argiles à Ostracodes et Mollusques qui autorisent une corrélation avec les Calcaires d'Ailly, et sur la nécessité de faire éclater les Sables et Grès du Pays-de-Caux (*sensu* Leriche, 1939) en trois nouvelles formations :

— les "Sables et Grès du Pays-de-Caux" sens strict, singularisés par une évolution continentale remarquable (lessivage et silicification),

— les "Sables du Petit-Ailly", fluviatiles,

— les "Sables de Dieppe", datés du sommet du Paléocène (NP8) et qui se rattachent par leur faciès aux "Sables de Criel" (NP9).

Une étude granulométrique précise les rapports de ces corps sableux.

Enfin, interprétations préliminaires et conclusions, notamment paléogéographiques et stratigraphiques sont proposées.

## I. — LA SERIE PALEOCENE ENTRE LE CAP D'AILLY ET LA MAISON MIRABEAU

Les affleurements du Cap d'Ailly sont surtout connus par le grand développement de la Formation de Varengueville avec à sa base, les Sables Fauves (Leriche, 1939). Au-dessous, le Paléocène comprend, du haut vers

le bas, les Sables et Argiles à Ostracodes et Mollusques (S.A.O.M.) (Bignot, 1970), les Calcaires d'Ailly qui ne sont présents vers l'W qu'à partir de la Maison Mirabeau — cette limite demeurerait imprécise (Bignot, 1965), voire inexacte (Gamble *in* Destombes *et al.*, 1977) —, les Sables et Grès du Pays-de-Caux *s. s.* (S.G.P.C.) et une altérite de la craie, dénommée ici "Altérite de Vastérial" (fig. 1 et 2).

### 1) Les Sables et Argiles à Ostracodes et Mollusques.

Epais de 5 à 10 m environ, ils admettent de nombreuses variations latérales déjà soulignées à plusieurs reprises.

Nos observations montrent qu'elles ont une ampleur qui n'avait pas été soupçonnée jusqu'ici. Nous nous bornerons à souligner l'importance des paléosols développés sous les lignites.

Au nombre de deux maximum, ils se reconnaissent, notamment, à leurs traces de racines pénétrant jusqu'à 1 - 1,5 m de profondeur et le long desquelles le substrat argileux, décarbonaté, est irrégulièrement décoloré. Généralement gris-bleu, il devient bariolé de brun-vert et de jaune. Les manchons et nodules ferrugineux abondent à côté de la jarosite et du gypse.

Le premier, situé vers la base des S.A.O.M., s'installe dans une première passée argileuse ou marneuse (parfois dans les Calcaires sous-jacents) limitée vers le bas par un niveau irrégulier de sable à gravier de silex. Même lorsque la pédogenèse a effacé la stratification, un cailloutis de silex marque souvent le contact qui constitue un bon repère de la limite inférieure de l'unité. Ainsi conçus, les S.A.O.M. englobent les "Argiles à Lignites" distinguées par Bignot (1965).

### 2) Les Calcaires d'Ailly.

Ils ne sont pas régulièrement présents vers l'W comme le remarquait déjà Leriche en 1939 et contrairement à ce qui est parfois admis depuis (Bignot, 1965 ; Gamble *in* Destombes *et al.*, 1977).

Entre la gorge du Petit-Ailly (2 sur fig. 1), sur le versant occidental de laquelle ces Calcaires sont présents pour la première fois (sous la Maison Mirabeau), et les Craquelins, leur existence est souvent subordonnée aux dépressions du substrat crayeux. Ils atteignent jusqu'à trois mètres de puissance. Par place, on observe qu'ils reposent sur des sables marneux, épais de plusieurs mètres, contenant des lentilles de calcaire sableux à oogones, tiges de charas et mollusques d'eau douce (cf. ci-après).

A partir des Craquelins, et jusqu'à Sotteville-sur-Mer, ils sont au contraire plus régulièrement présents et leur épaisseur paraît quasi constante.

### 3) Les Sables et Grès du Pays-de-Caux s.s.

Ces sables occupent des " poches " de formes et de dimensions très variables. Les plus grandes atteignent une cinquantaine de mètres de longueur et une dizaine de profondeur. Elles sont souvent dissymétriques et ont l'allure de chenaux. Les plus vastes sont visibles au Cap d'Ailly.

Leur remplissage, varié, se compose :

— de sables marneux plus ou moins interstratifiés de calcaire sableux à charophytes (cf. ci-dessus) ;

— de sables blancs à petits éclats, graviers et rognons de silex à " coiffes " siliceuses ;

— de grès quartzitiques cantonnés dans les sables blancs, incorporant des silex coiffés (Cayeux, 1906 ; Dupuis *in* Thiry *et al.*, 1983) et formant de grandes tables ;

— de sables argileux verdâtres frangeant les parois, même verticales et se chargeant de rognons de silex hérités de la craie. Ils livrent, sous la Maison Mirabeau (fig. 1 et 2), des silex verdis remaniés de la base des sables thanétiens marins reconnus en place plus à l'E (" Sables de Dieppe ", cf. ci-après).

Les plus petites poches (quelques mètres) ont fréquemment une morphologie allongée, pointue ou conique et une disposition verticale. Leur remplissage se limite au liseré argilo-sableux à silex et aux sables blancs qui offrent la particularité fréquente d'être complètement grésifiés (Leriche, 1939). Ainsi sont produits des moulages gréseux qui, dégagés par l'érosion de la falaise, restituent la variété morphologique des poches.

L'analyse géométrique d'une grande poche conduit à envisager l'enchaînement suivant (fig. 3).

Les sables marneux et les lentilles de calcaire sableux comblent des dépressions du substrat où ils sont rarement conservés sans transformation.

Les sables blancs en dérivent par décarbonation et lessivage des silts et argiles. Le front d'altération, souligné par des oxydes de fer, est irrégulier et discordant sur la stratification sauf vers le haut où il tend à devenir sub-parallèle à la base de la masse principale des Calcaires d'Ailly (fig. 3). Secondaire, la formation des sables blancs est au plus tôt pénécemporaine du dépôt calcaire.

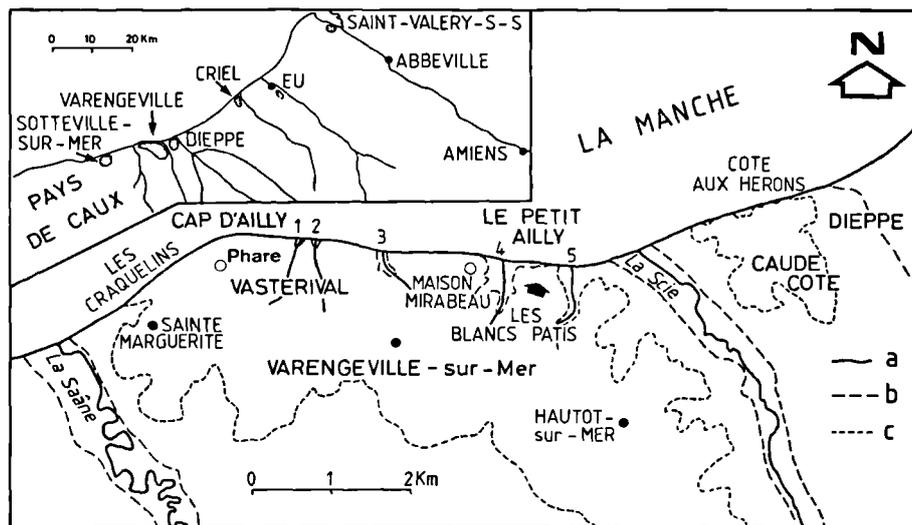


Fig. 1. — Situation des affleurements étudiés, des points de repère et des lieux mentionnés dans le texte. Les localités utilisées pour désigner les principales formations sont particularisées par un caractère plus gras.

En encart : localisation des principaux témoins tertiaires (pointillés) du littoral normanno-picard.

Légende : a, pourtour de la côte et tracé des rivières. — b, limites des plaines alluviales. — c, contours des terrains tertiaires de Varengeville et de Dieppe. Les chiffres désignent les vallons qui entaillent la falaise : 1, Port de Vasté-ri-val. — 2, Port de Morville. — 3, Gorge des Moutiers. — 4, Gorge du Petit-Ailly. — 5, Port de Mordal.

Au lieu de Pays de Caux, lire : Pays-de-Caux ; Le Petit Ailly, lire : Le Petit-Ailly.

Fig. 1. — Location map of studied outcrops, guide marks and localities mentioned in the text. The localities used for the denomination of the main formations are distinguished by a larger type. Into the inset, distribution of the main tertiary remnants along the Picardie and Normandie coastline (dotted).

Legend : a, coast and rivers. — b, alluvial plains limits. — c, outlines of the tertiary beds of Varengeville and Dieppe. The numbers indicate the gullies which cut the cliff : 1, Port de Vasté-ri-val. — 2, Port de Morville. — 3, Gorge des Moutiers. — 4, Gorge du Petit-Ailly. — 5, Port de Mordal.

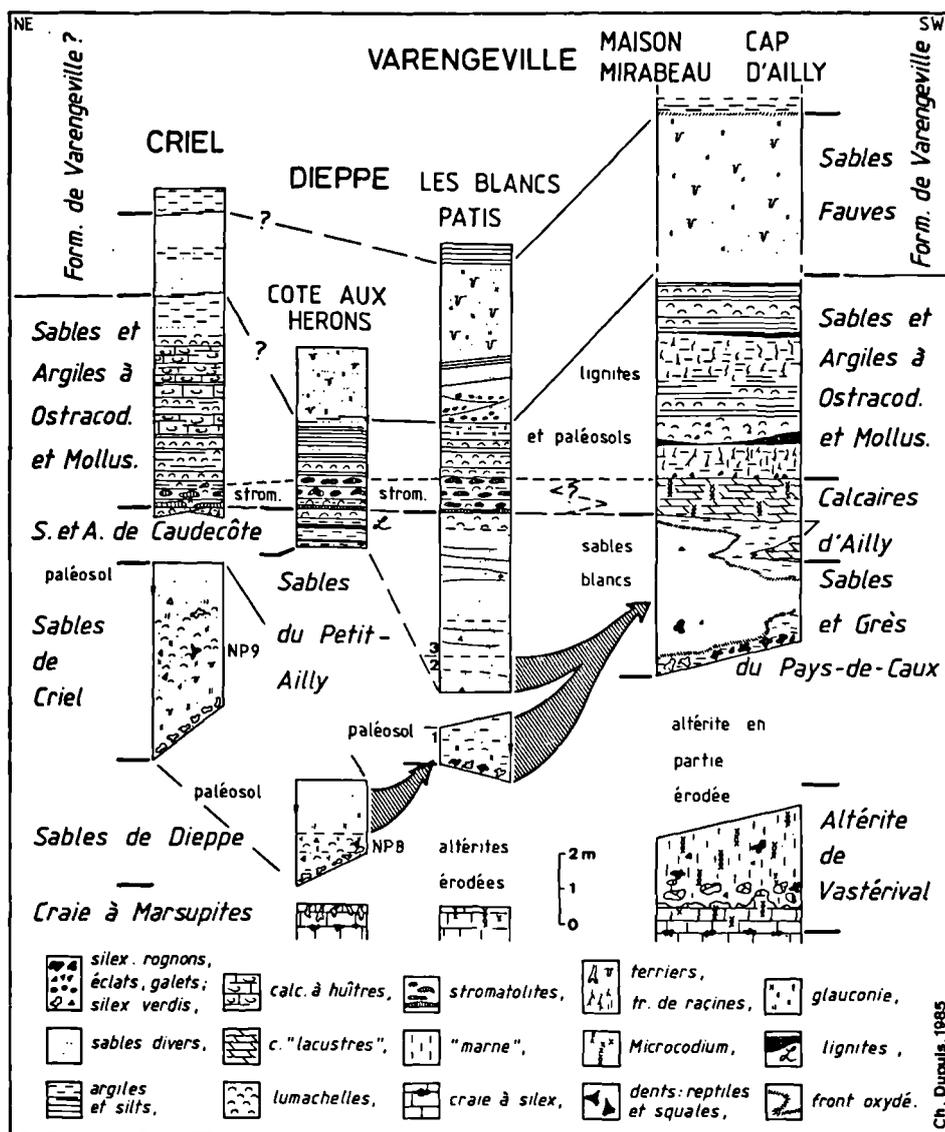


Fig. 2. — Coupes synthétiques des affleurements du Paléocène et de l'Eocène inférieur du littoral haut-normand. La partie inférieure, correspondant aux sables thanétiens, est éclatée de manière à révéler les hiatus indiqués par des érosions et/ou des paléosols (petites flèches vers le bas). L'organisation des corps sableux tient compte, d'une part, des données biostratigraphiques recueillies dans les Sables marins de Dieppe (NP8) et de Criel (NP9) et, d'autre part, des héritages et mélanges suggérés à la fois par l'analyse granulométrique (grandes flèches) et par la distribution des silex verdis remaniés. Les trois unités des Sables du Petit-Ailly sont numérotées 1, 2 et 3.

Fig. 2. — Synthetic sections of the outcrops of the Paleocene and Lower Eocene of the cliffs of Haute Normandie. The lower part, corresponding to the thanetian sands, is splitted in order to show the hiatus revealed by erosions surfaces and/or palaeosols (small downwards arrows). The drawn sandy units relationships proceed, on the one hand from the biostratigraphic data collected in the marine Dieppe (NP8) and Criel (NP9). Sands, and on the other hand from the inheritances and mixings both suggested by the grain size analysis (large arrows) and by the distribution of the reworked thanetian green-coated flints. The three units of the Petit-Ailly Sands are numbered 1, 2 and 3.

Les particules fines, au cours de leur migration descendante, ou bien s'agglomèrent en coiffes ou "siltanes" au-dessus des rognons et graviers épars dans le sable, ou bien s'accumulent à l'interface sable-craie pour former les sables argileux verdâtres tapissant les parois.

Simultanément, les infiltrations provoquent une karstification sous couverture qui estompe les caractères originels des dépressions. Le soutirage consécutif piège les calcaires lacustres (fig. 3). Il débute au plus tôt avec la sédimentation lacustre et se termine avant le dépôt des S.A.O.M.

Les grès se forment lorsque les sables sont propres (Millot, 1964; Heald and Larese, 1974) en incorporant les silex coiffés et, dans les petites poches, en moulant les parois.

Il semble que dès lors les phénomènes d'altération soient bloqués.

#### 4) L'Altérite de Vastérial.

Elle comprend 2,5 à 3 m d'une "marne" grise sans structure macroscopique bien conservée et parsemée de silex. Elle contient des petits rhizolithes et des *Microcodium* en abondance qui ont aussi pénétré la craie sous-jacente. Elle titre 90 à 95 % de  $\text{CaCO}_3$  et recèle, outre du quartz, un peu d'argile où la smectite est seule présente.

Des concrétions carbonatées ovoïdes de taille variable (quelques centimètres à quelques décimètres) et sans structuration horizontale sont les seules indurations macroscopiques visibles. Elles doivent être rapportées aux précipitations en relation avec le lessivage des sables adjacents plutôt qu'à une calcrétisation. Il est vraisemblable que cette marne ne représente qu'une partie d'un profil tronqué. Dans l'attente d'une caractérisation pédologique claire, nous préférons conserver la dénomination altérite.

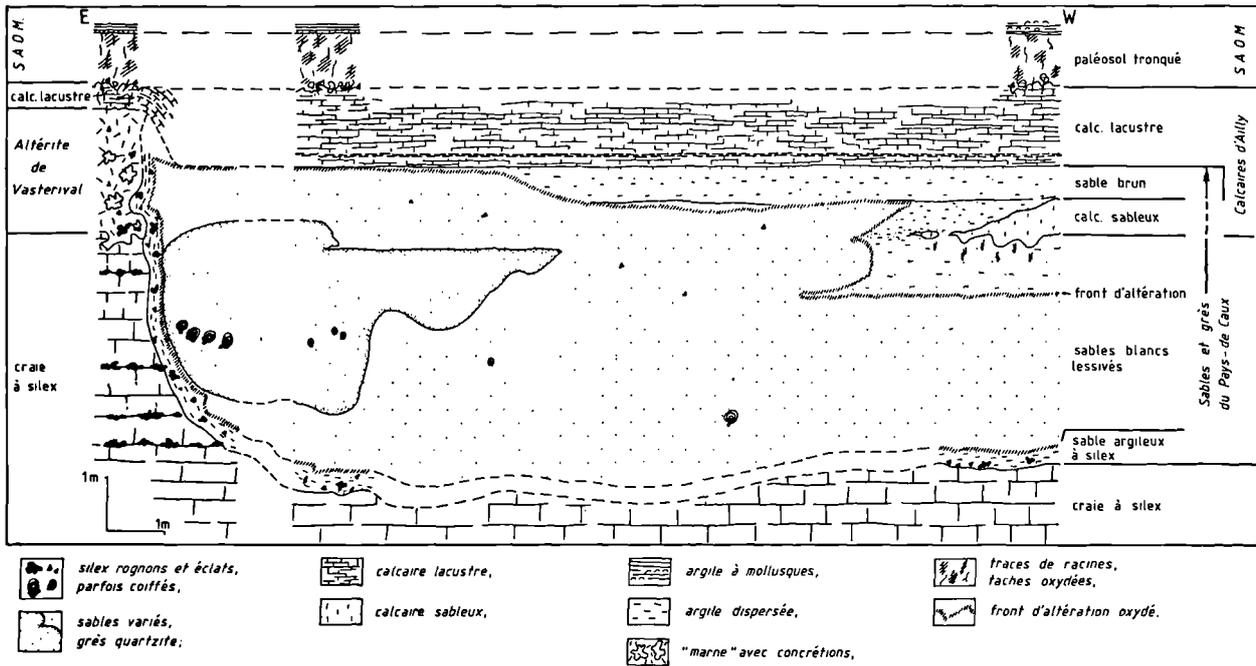


Fig. 3. — Croquis à l'échelle de la "poche" de Sables et Grès du Pays-de-Caux située au Cap d'Ailly ( $X \approx 501.280$ ,  $Y \approx 247.575$ ), élaboré à partir de levés en falaise, nivellements et études de photographies. Seule, la partie orientale de la dépression est représentée. Elle est occupée par une table de grès d'environ 40 m de longueur et de près de 5 m d'épaisseur dont ne sont dessinées que les deux extrémités. Les relations des sables blancs lessivés avec les sables originels argileux et calcareux au sommet chargé de matière organique (s. brun) sont bien exposées. La variabilité du contenu en carbonate des sables conditionne les indentations du front d'altération.

Fig. 3. — To scale sketch of the "pocket" filled with the Pays-de-Caux Sands and Sandstones located at the Cap d'Ailly ( $X \approx 501.280$ ,  $Y \approx 247.575$ ), after cliff surveys, levellings and photographs studies. The eastern part of the filled depression is only represented. It is occupied by a sandstone flag, 40 m long and about 5 m thick, the two ends of which are only drawn. The relationships between the white leached sands and the initial clayey and calcareous sands are well exposed. The top of the initial clayey sands is brown because it contains organic matter. The irregularities of the alteration front are related to the variability of the carbonate.

Les paléosols, sur craie, décrits sous le Paléocène de la région de Reims (Laurain et Meyer, 1979) se caractérisent aussi par l'abondance de *Microcodium*, mais en plus par la présence d'un interstratifié kaolinite-smectite. L'absence de ce minéral à Vastéval qui peut s'expliquer par l'absence de kaolinite dans la craie, handicapé, à notre sens, une comparaison directe avec les pédolites de Reims.

## II. — LES PASSAGES LATÉRAUX DE FACIES DANS LES S.A.O.M.

### ET LES SABLES THANÉTIENS A L'E ET AU NE DU CAP D'AILLY JUSQU'A CRIEL

#### 1) Les stromatolites des S.A.O.M., relations avec les Calcaires d'Ailly.

Dans les affleurements de Criel, de Dieppe (Côte aux Hérons) et de Varengeville (Les Blancs Pâtis), la modification principale des S.A.O.M. réside dans la présence à leur base de plusieurs niveaux stromatolitiques (Dupuis et Monty, sous presse).

Ils sont épais de 1 à 3 cm, soit en galettes mame-lonnées et aplaties atteignant quelques décimètres de diamètre, soit tabulaires. Ils se répartissent sur 1 m au maximum, à partir du contact avec le sable sous-jacent. L'interface elle-même est souvent armée d'un niveau stromatolitique tabulaire très continu.

Au N de Criel, ils sont inconnus ; vers Ailly, la tranche de sédiment qu'ils lardent passe de 0,5 à 1 m en même temps que le nombre de niveaux augmente (2-3 à 6-7). Au Cap d'Ailly, ils disparaissent de la base des S.A.O.M. dès que ceux-ci reposent sur les Calcaires d'Ailly. Il n'y a pas d'affleurement du passage qui se fait sur environ 500 m de part et d'autre de la Gorge du Petit-Ailly. Cependant, l'augmentation graduelle vers l'W du nombre de niveaux stromatolitiques, l'accroissement de l'épaisseur de sédiment colonisé, ainsi que la substitution stromatolite-calcaire suggèrent une relation génétique entre ces deux expressions de la mobilité du carbonate.

A titre d'hypothèse, l'équivalence supposée est utilisée (fig. 2) pour la mise en corrélation de la base des S.A.O.M. aux Blancs Pâtis avec le sommet très carbonaté des Calcaires d'Ailly (> 90 % CaCO<sub>3</sub>).

#### 2) Les sables thanétiens au NE de la Maison Mirabeau, relations avec les Sables et Grès du Pays-de-Caux s.s.

##### 1° CONTENU LITHOLOGIQUE.

Les Sables thanétiens, exception faite des Sables et Grès du Pays-de-Caux s.s., comprennent (fig. 2) :

- des sables marins affleurant sur la Côte aux Hérons (fig. 1), les Sables de Dieppe qui se relient par leur faciès aux Sables de Criel (fig. 2) ;
- des silts, argiles et tourbes, les Sables et Argiles à Annélides de Caudecôte (S.A.A.C.) (Bignot, 1965) ;

— des sables, fluviatiles pour l'essentiel, les Sables du Petit-Ailly, bien exposés aux Blancs Pâtis entre les Gorges de Mordal et du Petit-Ailly (fig. 1).

a) *Les Sables de Dieppe*, fins, glauconieux et fossilifères à la base (Moyenne  $\approx 135 \mu\text{m}$ ) deviennent plus grossiers et sans glauconie vers le haut (Moyenne  $\approx 285 \mu\text{m}$  ; le mode de calcul des paramètres granulométriques est résumé au début du paragraphe 2°) *Critères de chronologie relative fournis par l'analyse granulométrique*.

Leur épaisseur totale diminue d'E en W de 3-5 m à 1 m environ.

La partie supérieure est porteuse d'un paléosol scellé par les S.A.A.C., irrégulièrement développé sur 0,5 à 1 m, peut-être en partie responsable de la décalcification traversant les sables sous-jacents sur 2 à 3 m. Il se divise en un horizon supérieur de sable blanc en festons frangés vers le bas d'un liseré argileux et ferrugineux. Les Sables de Criel présentent des caractéristiques similaires.

La partie inférieure, restée carbonatée, est riche en dents de requins, coquilles de mollusques, ostracodes, foraminifères, algues calcaires, etc... Le front de décarbonatation se matérialise par une ligne de concrétions gréseuses, gibbositifères et calcaires, plus ou moins coalescentes. D'autres sont disséminées en-dessous dans la masse sableuse. La plupart montrent des macrofossiles mal conservés. Il est très vraisemblable que ces concrétions sont celles qui ont été ramassées autrefois au pied des falaises de Dieppe (Munier-Chalmas, 1896).

b) *Les Sables et Argiles à Annélides de Caudecôte* n'excèdent guère 1 m d'épaisseur ; ils regroupent des sables, des silts et des tourbes (Moyenne  $\approx 92$  à  $176 \mu\text{m}$ ). Ils peuvent être considérés comme un faciès de plaine alluviale, latéral aux Sables du Petit-Ailly.

c) *Les Sables du Petit-Ailly* comportent un ensemble sommital fluviatile (2 et 3 sur la fig. 2) superposé par contact ravinant à un sable argileux basal porteur d'un paléosol gris violacé : le Paléosol des Blancs Pâtis (1 sur la fig. 2).

Les sables fluviatiles, à stratification oblique ou laminée horizontalement, atteignent 5 à 6 m d'épaisseur. Eclats et graviers de silex ne sont pas rares.

Ils forment une séquence principale positive, scindée en deux unités granulométriques distinctes (fig. 4). La plus inférieure (2 sur la fig. 2) est la plus grossière avec une moyenne comprise entre 360 et 330  $\mu\text{m}$  ; la supérieure (3) est plus fine : 255 à 175  $\mu\text{m}$ . La diminution de la moyenne s'accompagne globalement d'une amélioration du classement ( $\sigma = 75$  à 35  $\mu\text{m}$ ).

Les sables argileux, support du Paléosol des Blancs Pâtis (1), ont un développement assez variable ( $\approx 0$  à 2 m) lié notamment au caractère raviné de leur limite supérieure.

Outre leur évolution pédologique (sol humifère ?), ils se distinguent par leur richesse en silt et en argiles et par leurs moyennes remarquablement groupées autour de 300  $\mu\text{m}$  dans le "gap" granulométrique des sables sus-jacents (fig. 4). A la base, un gravier épais de 20 à 30 cm rassemble des éclats ou des rognons de silex dont certains, verdis, sont issus des Sables de Dieppe.

Ils reposent sur une smectite de décalcification gris noirâtre irrégulièrement insinuée dans des cavités de la craie et remaniée à la base des sables. Au-dessous, la craie est parfois corrodée par des *Microcodium* qui indiqueraient la préexistence de l'Altérite de Vastérial vers l'E.

## 2° CRITÈRES DE CHRONOLOGIE RELATIVE FOURNIS PAR L'ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE.

Une partie des données granulométriques est représentée dans la fig. 4, où se répartissent les principales unités étudiées, en fonction de la moyenne et du  $\sigma$  de la distribution granulométrique calculés par la méthode

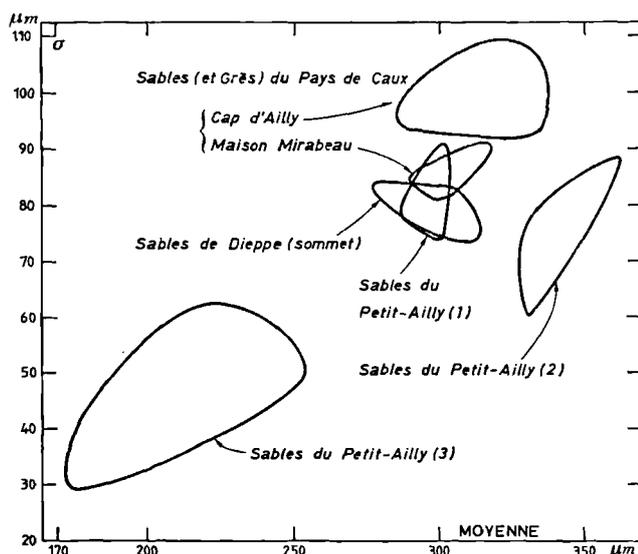


Fig. 4. — Domaines représentatifs (66 échantillons) des principales unités des Sables thanétiens de Varengueville et de Dieppe dans un diagramme moyenne -  $\sigma$ . Les deux paramètres, exprimés en micromètres, sont calculés par la méthode des moments sur la distribution de la fraction supérieure à 50  $\mu\text{m}$  qui représente 80 à 95 % du sédiment pour la plupart des échantillons.

Fig. 4. — Representative areas of the main thanetian sands units of Varengueville and Dieppe in a mean diameter -  $\sigma$  diagram. The two parameters, expressed in micrometers, are calculated with the moment method on the grain size distribution of the particles larger than 50  $\mu\text{m}$ . This class of particles represents 80 to 95 % of the sediment in the most part of the samples.

des moments. Les paramètres utilisés se rapportent à la fraction supérieure à 50  $\mu\text{m}$ . Ils représentent de façon satisfaisante les prélèvements analysés constitués, pour la plupart, de 80 à 95 % de grains supérieurs à 50  $\mu\text{m}$ .

Son interprétation suggère des héritages et des mélanges, matérialisés par les flèches de la fig. 2, qui argumentent l'établissement d'une chronologie relative des sables thanétiens.

C'est ainsi que les sables du Petit-Ailly (1), sont très comparables au sommet des Sables de Dieppe dont ils dériveraient.

Les Sables (et Grès) du Pays-de-Caux ont les caractères compatibles avec un mélange des sables précédents avec les Sables du Petit-Ailly (2). Les moyennes reportées au tableau I illustrent, en effet, leur caractère intermédiaire qui s'accompagne d'une dégradation du classement consécutive au mélange, clairement exprimée par l'augmentation du  $\sigma$ . Les S.G.P.C. sont donc probablement postérieurs aux Sables du Petit-Ailly, unités (1) et (2).

Les remaniements sont aussi indiqués par les héritages successifs de silex verdis depuis les Sables de Dieppe jusqu'à la base des S.G.P.C., au moins jusqu'à la Maison Mirabeau (fig. 2). Les traces de l'extension ancienne des sables marins se suivent donc, vers le SW, au-delà de leur limite actuelle, de plus en plus diluées dans les apports fluviaux, puis progressivement transformées par l'évolution continentale.

## 3° RELATIONS ENTRE LES SABLES DE DIEPPE ET LES SABLES DE CRIEL, DONNÉES DU NANNOPLANCTON CALCAIRE.

Du contenu paléontologique des Sables de Dieppe et de Criel, abondant et varié, nous ne mentionnerons ici que la nannoflore calcaire.

	MOYENNE	$\sigma$
Sables de Dieppe (somm.)	293	78
S. du Petit-Ailly (1)	300	82
Sables et G. du Pays de Caux	M. Mirab. 304 Cap d'A. 321	87 102
S. du Petit-Ailly (2)	340	81

Tableau I. — Valeurs moyennes des moyennes et  $\sigma$  (en  $\mu\text{m}$ ) des principales unités des sables thanétiens de Varengueville et de Dieppe.

Table I. — Mean values of mean diameters and  $\sigma$  (in micrometers) of main units of Varengueville and Dieppe thanetian sands.

a) *Les Sables de Dieppe* ont livré une nannoflore identifiable dans la partie tout à fait inférieure de leur portion non décalcifiée. Celle-ci est peu diversifiée et assez mal conservée à la suite des transformations diagenétiques (dissolution et/ou calcification secondaire).

Seulement une petite partie des exemplaires s'est avérée déterminable. L'ensemble se compose de quinze espèces autochtones, parmi lesquelles *Ericsonia eopelagica* (Bramlette et Riedel, 1954) Romein, 1979 et *Toweius pertusus* (Sullivan, 1965) Romein, 1979 abondent. *Prinsius bisulcus* (Stradner, 1963) Hay et Mohler, 1967 et *Toweius eminens* (Bramlette et Sullivan, 1961) Gartner, 1971 sont également bien représentées. A cela s'ajoutent de rares exemplaires de *Chiasmolithus bidens* (Bramlette et Sullivan, 1961) Hay et Mohler, 1967, *Chiasmolithus cf. consuetus* (Bramlette et Sullivan, 1961) Hay et Mohler, 1967, *Discoaster mohleri* Bukry et Percival, 1971, *Ericsonia subpertusa* Hay et Mohler, 1967, *Ericsonia universa* (Wind et Wise, 1977) Romein, 1979, *Heliolithus riedelii* Bramlette et Sullivan, 1961, *Hornibrookina australis* Edwards et Perch-Nielsen, 1975, *Neochiastozygus concinnus* (Martini, 1961) Perch-Nielsen, 1971, *Placozygus sigmoides* (Bramlette et Sullivan, 1961) Romein, 1979, *Zygodiscus adamas* Bramlette et Sullivan, 1961 et *Zygodiscus plectopons* Bramlette et Sullivan, 1961. Quelques formes allochtones, remaniées du Crétacé supérieur, sont à signaler.

La présence de *Heliolithus riedelii*, en l'absence de *Discoaster multiradiatus* Bramlette et Riedel, 1954, indique la biozone NP8. Par conséquent, les Sables de Dieppe peuvent être mis en corrélation avec les "Thanet Sands", stratotype du Thanétien.

b) *Les Sables de Criel*, échantillonnés dans la carrière Abraham, ont fourni une association bien conservée de 16 espèces autochtones (et de quelques formes remaniées du Crétacé supérieur): *Braarudosphaera bigelowii* (Gran et Braarud, 1935) Deflandre, 1947, *Chiasmolithus bidens* (Bramlette et Sullivan, 1961) Gartner, 1971, *Cruciplacolithus* sp., *Discoaster lenticularis* Bramlette et Sullivan, 1961, *Discoaster mohleri* Bukry et Percival, 1971, *Discoaster multiradiatus* Bramlette et Riedel, 1954, *Discoaster pacificus* Haq, 1969, *Ericsonia eopelagica* (Bramlette et Riedel) Romein, 1979, *Fasciculithus* sp., *Hornibrookina australis* Edwards et Perch-Nielsen, 1975, *Markalius astroporus* (Stradner, 1963) Hay et Mohler, 1967, *Neochiastozygus concinnus* (Martini, 1961) Perch-Nielsen, 1971, *Scapholithus apertus* Hay et Mohler, 1967, *Toweius pertusus* (Sullivan, 1965) Romein, 1979, *Toweius tovae* Perch-Nielsen, 1971, *Zygodiscus adamas* Bramlette et Sullivan, 1961. *Toweius pertusus* domine l'association, tandis que *Discoaster multiradiatus*, *Hornibrookina australis* et *Scapholithus apertus* sont également assez abondants. La coexistence de *Discoaster multiradiatus*, *Discoaster mohleri*, des genres *Scapholithus* et *Fasciculithus*, en l'absence des genres *Tribrachiatus* et *Heliolithus* suggère la biozone NP9 (vraisemblablement la partie supérieure). Les Sables de Criel appartiennent au som-

met du Paléocène. Ils sont nettement plus jeunes que ceux exposés plus au S dans la falaise de la Côte aux Hérons et sont plus ou moins contemporains (éventuellement un peu plus jeunes) que les Sables de Bracheux.

Le diachronisme des Sables thanétiens déjà mis en évidence plus au N (Dupuis *et al.*, 1982; Dupuis et Gruas-Cavagnetto, 1985) se trouverait une nouvelle fois confirmé biostratigraphiquement.

Par ailleurs, le positionnement des Sables de Dieppe dans une échelle biozonale utilisable à grande distance, permet de situer précisément les évolutions continentales de la série d'Ailly. L'Altérite de Vastérial est en grande partie antérieure à la biozone NP8, tandis que l'enchaînement des sables fluviaux et continentaux lui est postérieur.

### III. — PREMIERES INTERPRETATIONS : EVOLUTION DU BORD SW DU BASSIN DE PARIS VERS LA LIMITE PALEOCENE - EOCENE INFERIEUR

En tenant compte de l'attribution de la Formation de Varengeville à la biozone NP11 (Lezaud, 1966; Aubry, 1983), il est possible de retracer l'évolution du bord SW du Bassin de Paris, à la lisière Paléocène-Eocène inférieur, depuis la zone NP8 jusqu'à la zone NP11.

L'extension méridionale maximum de la mer thanétienne est atteinte pendant la zone NP8, mais ce haut niveau marin n'est pas matérialisé par des dépôts transgressifs (sauf peut-être les silex verdis). C'est au contraire une aggradation littorale assez lente qui l'enregistre alors qu'il reste stable ou légèrement descendant. En effet, le réseau fluvial dont le développement accompagne la régression des rivages vers le N (?), incise et déblaie les sables marins indiquant une baisse du niveau de base.

Au cours de cette période, à Varengeville même, l'Altérite de Vastérial cesse probablement d'évoluer. Pourtant les dépressions inscrites dans la craie plus ou moins altérée, accueillent des sables argileux dans lesquels précipitent des carbonates dulçaquicoles impliquant la poursuite d'une mobilisation du calcaire à l'amont.

Un moment exporté vers la mer où il se fixait dans les flores et les faunes des sables thanétiens, celui-ci se bloque de plus en plus dans les faciès lacustres. Lorsque la mer transgresse à nouveau, il parvient encore un peu dans la lagune des S.A.O.M. où il s'immobilise en particulier dans les stromatolites. Mais la progression de la transgression semble mettre fin à cette dynamique du carbonate ou en tout cas coïncider avec son arrêt.

Dans ce scénario, lessivage et silicification sont tardifs et nettement différés par rapport aux phénomènes de mobilisation - fixation carbonate.

La grésification elle-même, bien que proche de la surface, n'est pas à proprement parler de nature pédologique. Les Grès du Pays-de-Caux se rapprocheraient plutôt des silcrètes du type " non weathering profile " (Summerfield, 1983).

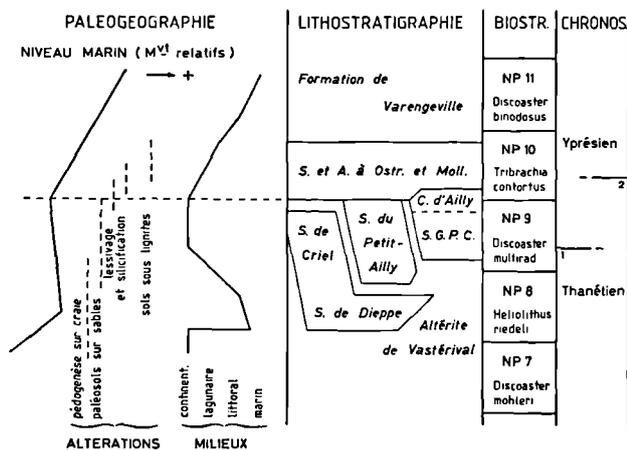


Fig. 5. — Récapitulation des principaux résultats litho- et biostratigraphiques et des interprétations paléogéographiques tendant à synthétiser l'enchaînement des milieux, le déroulement des altérations continentales et l'évolution du niveau marin. Deux positions possibles de la limite Paléocène-Eocène (Thanétien-Yprésien) sont indiquées : 1, selon Cavellier et Pomerol, 1983 ; 2, selon Hardenbol et Berggren, 1978. On remarque que la seconde, vers la transition NP9-(NP10), rend mieux compte des événements mis en évidence dans ce travail.

Fig. 5. — Recapitulation of the main litho and biostratigraphic results in order to synthesize the linking of the environments, the development of the continental weatherings and the marine level evolution. Two possible positions of the Paleocene-Eocene limit (Thanetian-Ypresian) are indicated : 1, after Cavellier and Pomerol, 1983 ; 2, after Hardenbol and Berggren, 1978. One can see that the second, near the NP9-(NP10) boundary, is better in agreement with the events revealed by the present study.

#### IV. — CONCLUSIONS

Notre étude, volontairement synthétique, laisse dans l'ombre certains aspects qui seront développés ailleurs : caractérisation précise de l'Altérite de Vastérial en vue d'établir sa signification climatique, pétrologie et minéralogie des altérations dans les Sables et Grès du Pays-de-Caux, inventaire paléontologique des Sables de Dieppe, etc...

Parmi de nombreux éléments nouveaux, son principal apport concerne les sables thanétiens dans lesquels sont délimitées et définies quatre formations nouvelles : les Sables et Grès du Pays-de-Caux s.s., les Sables du Petit-Ailly et les Sables de Dieppe-Criel. Leurs relations, établies entre elles, avec les couches sus-jacentes, les S.A.O.M., et sous-jacente, l'Altérite de Vastérial, complètent le cadre lithostratigraphique du Paléocène-Eocène inférieur du SW du Bassin de Paris.

La découverte de nannoplancton calcaire dans les Sables de Dieppe-Criel contribue à situer dans une échelle biozonale homogène, les principaux événements mis en évidence : haut niveau marin à la fin du Paléocène (NP8), régression suivie du déploiement de sédiments fluviaux et d'altérations continentales (NP9), puis transgression (post NP9-NP11) interrompant (?) une longue période (anté NP8-NP9) de mobilisation continentale du calcaire. Ainsi sont rendues possibles des comparaisons avec les régions voisines, notamment le Bassin Belge.

Remerciements. — Les auteurs expriment leur reconnaissance au Fonds National de la Recherche Scientifique (Bruxelles) qui, par l'octroi d'un crédit, a facilité le travail de l'un d'eux sur le terrain.

\* \* \*

BIBLIOGRAPHIE

- 1) AUBRY M.P. (1983). — Biostratigraphie du Paléogène épicontinental de l'Europe du Nord-Ouest. Etude fondée sur les nannofossiles calcaires. *Docum. Lab. Géol. Lyon*, 89, 317 p.
- 2) BIGNOT G. (1965). — Le gisement éocène du Cap d'Ailly (près de Dieppe, Seine-Maritime). *Bull. Soc. Géol. France*, (7), VII, p. 273-283.
- 3) BIGNOT G. (1971). — Carte géologique à 1/50.000 Dieppe (Ouest) XIX-8. *B.R.G.M.*
- 4) CAVELIER C. et POMEROL C. (1983). — Echelle de corrélation stratigraphique du Paléogène. Stratotypes, étages standards, biozones, chimiozones et anomalies magnétiques. *Géologie de la France, B.R.G.M.*, 3, p. 261-262, 1 tabl.
- 5) CAYEUX L. (1906). — Structure et origine des grès du Tertiaire parisien. *Mém. Serv. Carte Géol. Fr. (Etudes gîtes min. de la France)*, 161 p.
- 6) DESTOMBES P., GAMBLE H.J., JUIGNET P. and OWEN H.G. (1977). — Cretaceous and lower Tertiary of Seine-Maritime, France: a guide to key localities. *Proc. Geol. Ass.*, 88 (1), p. 15-38.
- 7) DUPUIS Ch. et GRUAS-CAVAGNETTO C. (1985). — Les Woolwich Beds et le London Clay de Newhaven (East Sussex), données palynologiques et stratigraphiques nouvelles. *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, 22, 2, p. 19-33.
- 8) DUPUIS Ch., GRUAS-CAVAGNETTO G., MERCIER M., PERREAU M., RIVELINE J. et ROCHE E. (1982). — Données paléontologiques, stratigraphiques et paléogéographiques nouvelles sur le Tertiaire de Saint-Valery-sur-Somme (France). *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, 19, 4, p. 31-46.
- 9) HARDENBOL J. et BERGGREN W.A. (1978). — A new Paleogene numerical time scale. *Ann. Assoc. Petrol. Geol., Stud., Geol.*, Tulsa, n° 6 in Cohu G.V., Glaessner G. and Hedberg E. éd., Contribution to the geological time scale, p. 213-234.
- 10) HEALD M.T. and LARESE R.E. (1974). — Influence of coatings on quartz cementation. *J. Sedim. Petrology*, 44, 4, p. 1269-1274.
- 11) LAURAIN M. et MEYER R. (1979). — Paléoaaltération et paléosol: l'encroûtement calcaire (calcrète) au sommet de la craie, sous les sédiments éocènes de la Montagne de Reims. *C.R. Ac. Sc.*, 289, D, p. 1211-1214.
- 12) LERICHE M. (1939). — Les terrains tertiaires des massifs de Varengeville et de Sotteville-sur-Mer (Seine-Inférieure). *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. LXIV, p. 150-182.
- 13) LEZAUD L. (1967). — Les nannofossiles calcaires de la Formation de Varengeville (Cuisien, Cap d'Ailly, Seine-Maritime). *Bull. Soc. Géol. Normandie, Amis Mus. du Havre*, 56, p. 41-44.
- 14) MILLOT G. (1964). — Géologie des Argiles. Masson et Cie, Paris, 449 p.
- 15) MUNIER-CHALMAS E. (1896). — Note préliminaire sur les terrains tertiaires de la Forêt d'Eu. *Bull. Soc. Géol. France*, (3), XXIV, p. 887-890.
- 16) ROBASZYNSKI F., DUPUIS Ch. et COLBEAUX J.P. (1981). — Aspects de la couverture céno et mésozoïque. Front varisque et soubassement paléozoïque. Excursion de l'A.G.P.B. du 9 au 11 octobre 1981. *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, 19, 1, p. 9-62.
- 17) SUMMERFIELD M.A. (1983). — Petrography and diagenesis of silcrete from the Kalahari basin and Cape coastal zone, southern Africa. *J. Sedim. Petrology*, 53, 3, p. 895-909.
- 18) THIRY M. (1977). — Structure en "coiffe" résultant de lessivages verticaux de formations conglomératiques. *Bull. B.R.G.M. Fr.*, (2), IV, 2, p. 105-120.
- 19) THIRY M., DELAUNAY A., DEWOLF Y., DUPUIS Ch., MENILLET F., PELLERIN J. et RASPLUS L. (1983). — Les périodes de silicification au Cénozoïque dans le Bassin de Paris. *Bull. Soc. Géol. France*, (7), XXV, p. 31-40.



## Détermination approchée des caractéristiques hydrodispersives en traçage par injection brève. Méthode des trois points

### Hydrodispersive characteristics approach in tracing experiments by pulse injecting. Three points method

par Norbert CRAMPON (\*)

*Résumé.* — L'utilisation des traçages d'essai en vue de la prévision de la propagation d'une substance polluante dans les eaux souterraines et des mesures préventives adéquates, nécessite la détermination des caractéristiques hydrodispersives liées au milieu et, si possible, indépendantes des conditions d'écoulement du moment. Parmi les méthodes de détermination de ces paramètres, l'utilisation d'un modèle global sous forme de solution explicite de l'équation de convection-dispersion s'avère la plus simple et la plus rapide, lorsque sa correspondance avec le cas réel est satisfaisante. La courbe de restitution d'un traceur injecté instantanément peut alors être interprétée très rapidement, même sans abaque, en vue d'une première estimation approchée, par la méthode dite des trois points. Une discussion des conditions de validité de la méthode est proposée à partir d'applications réalisées dans la nappe de la craie du Nord de la France.

*Abstract.* — *To forecast the spreading of a pollutant in groundwater and take adapted preventives measures, it is necessary to use results of tracing test experiments and, from those, determine hydrodispersive characteristics linked to the medium and, as far as possible, independent on momentary flow conditions. Among parameters determination methods, the use of a global model in the form of analytical solution of advection-dispersion equation is the easiest one, when it sufficiently agrees with the real case. The breakthrough curve of instantaneous injected tracer can thus be quickly interpreted, even without type-curve, by using the three points method. The availability of the proposed method is discussed from experiments carried out in semi-confined chalk aquifer in northern France.*

#### I. — PRESENTATION DU PROBLEME

Pendant longtemps, et encore dans bien des cas actuellement, les traçages ont servi essentiellement à prouver l'existence d'un transfert de substance lié à l'écoulement des eaux souterraines. Lorsque les dimensions des éléments solides et des interstices qu'ils laissent entre eux sont suffisamment petites par rapport à la distance sur laquelle l'écoulement est étudié, le transfert de masse résultant de l'ensemble des transferts élémentaires peut être considéré comme une fonction statistique (Bear, 1972) approchant la distribution gaussienne. C'est le cas en milieu poreux statistiquement

homogène, c'est plus rarement le cas en milieu fissuré. De la distribution des concentrations en fonction soit de la distance, soit du temps, il est possible de tirer un paramètre caractérisant la dispersion d'un soluté, comme le coefficient de dispersion hydrodynamique (regroupant les effets de la dispersion cinématique et de la diffusion moléculaire). Dans la mesure où le traceur tend à être un " bon traceur ", c'est-à-dire dont les molécules présentent des caractéristiques dynamiques proches de celles de l'eau (Guizerix *et al.*, 1971), le coefficient de dispersion apparaît comme une caractéristique hydrodispersive (analogue à la conductivité hydraulique ou perméabilité de Darcy en hydrodynamique).

(\*) Laboratoire d'Hydrogéologie de l'Université des Sciences et Techniques de Lille Flandres-Artois et GRECO Hydrogéologie (n° 35) du C.N.R.S.

Note présentée le 11 Décembre 1985 et acceptée pour publication par le Conseil de la S.G.N. le 7 Mai 1986.

mique). C'est également un paramètre de l'équation différentielle de la dispersion, analogue à la conductivité thermique dans celle de la chaleur (similitude des lois de transfert par conduction en milieu continu : Fourier, Ohm, Darcy, Fick).

En fait, lorsque la dispersion cinématique est prédominante sur la diffusion moléculaire, Pfannkuch (1963) a montré que le coefficient de dispersion hydrodynamique (ou apparent) était proportionnel à la vitesse moyenne de pore (ou vitesse moyenne interstitielle) "u" :  $D = \alpha u$ . "α", qui a la dimension d'une longueur, est la dispersivité et serait selon divers auteurs (Fried, 1975 ; Sauty, 1977 ; et de Marsily, 1981) "intrinsèque" du milieu. Bien que cette qualité soit discutable et remise en question, particulièrement en milieu hétérogène (Goblet *et al.*, 1977 ; Dieulin, 1980) comme en milieu fracturé (Ross, 1985 ; Crampon, 1985), la dispersivité est l'un des paramètres dont l'obtention reste nécessaire pour la prévision d'un transfert de masse. Le nombre de Peclet hydrodynamique (ou nombre de Brenner) peut être considéré comme une distance réduite  $P = x/\alpha$ , dans le cas le plus général où  $D = \alpha u$ .

L'autre paramètre utile à la prévision d'un transfert de masse est la porosité cinématique ( $\omega$ ), rapport de la vitesse de Darcy à la vitesse moyenne interstitielle. On l'obtient à partir du temps de transfert par convection pure ( $t_c$ ) déduit de la courbe de restitution d'un traceur.

Les méthodes de détermination de  $\alpha$  et  $\omega$  font généralement appel au calage d'un modèle de transfert de masse permettant de restituer une distribution des temps ou des distances de parcours voisine de celle observée grâce à la courbe de restitution du traceur. Lorsque le milieu peut être considéré comme homogène sur la distance de transfert et les conditions d'injection simples, le modèle peut correspondre à une solution explicite de l'équation différentielle de dispersion, notamment en l'absence de sorption et de décroissance radio-active. De toutes façons, cette manière de procéder permet une première approche du problème avant de passer, le cas échéant, à l'élaboration d'un modèle discrétisé, plus performant.

Les solutions explicites classiques (Bear, 1972 ; Fried, 1975) ont été transcrites sous formes d'abaques, en particulier par Sauty (1977 et 1978) et Crampon (1983). L'utilisation des premiers nécessite toutefois un tracé en paramètres adimensionnels de la courbe de restitution, et celle des seconds le calcul de l'intégrale de la courbe de restitution.

La méthode ici proposée est plus rapide car basée sur seulement trois coordonnées de la courbe concentrations-temps, lors de traçages par injection brève. Elle a bien évidemment aussi ses limites, qui seront examinées, et ne doit être considérée que comme une première approche de détermination des caractéristiques hydrodispersives.

## II. — PRINCIPE DE LA METHODE DES TROIS POINTS

### 1) Hypothèses de base.

- milieu homogène et isotrope,
- écoulement à vitesse ou à débit constant,
- absence de sorption, de réaction chimique et de décroissance radio-active,
- $D_L = \alpha_L u$  et  $D_T = \alpha_T u$ ,
- injection brève proche d'une impulsion de Dirac.

### 2) Ecoulement monodimensionnel ou radial convergent.

Conditions : milieu semi-infini, injection et détection dans le flux

$$\begin{aligned} C(0, t) &= \frac{M}{Q} \delta(t) \\ C(x, 0) &= 0 \text{ pour } x > 0 \\ C(\infty, t) &= 0 \end{aligned}$$

La solution est (Kreft et Zuber, 1978 ; Klotz *et al.*, 1980 ; Schweizer *et al.*, 1985) :

$$C(x, t) = \frac{M x}{Q (4\pi D_L t)^{1/2}} \exp \left[ -\frac{(x - ut)^2}{4D_L t} \right] \quad (1)$$

dérivée de la solution d'Ogata et Banks (1961) pour l'injection en échelon.

Comme il n'existe pas de solution explicite pour le cas de l'écoulement radial axisymétrique, l'équation (1) est utilisable, d'après les travaux de Sauty (1978), pour l'écoulement radial convergent sous réserve que le nombre de Peclet hydrodynamique soit suffisant ( $P > 3$ ). Il suffit alors de remplacer  $x$  par  $r$ , distance radiale au puits de pompage, et  $u$  par la vitesse moyenne interstitielle  $r/t_c$ .

La courbe représentative de (1), pour une distance constante ( $C(t)$  pour  $x = X$ ), est une courbe "en cloche" dissymétrique. Son maximum ou "pic" est défini par une valeur nulle de la dérivée, à laquelle correspond évidemment une valeur modale de temps  $t_M$  associée à la concentration maximale :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{M x}{Q (4\pi D_L t)^{1/2}} \cdot \frac{-u^2 t^2 - 6D_L t + x^2}{4D_L t^{3/2}} \exp \left[ -\frac{(x - ut)^2}{4D_L t} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = 0 \text{ nécessite : } t = \frac{-3D_L \pm (9D_L^2 + u^2 x^2)^{1/2}}{u^2} \quad (3)$$

dont seule la valeur positive peut correspondre au temps modal  $t_M$ .

En admettant  $D_L = \alpha_L u$ , avec  $P = ux/D$  soit donc  $P = x/\alpha_L$  et avec  $u = x/t_c$ ,  $t_M$  peut être exprimé en fonction du nombre de Peclet hydrodynamique et du temps de transfert par convection pure :

$$t_M = t_c \cdot \frac{-3 + (9 + P^2)^{1/2}}{P} \quad (4)$$

$$\text{ou } P = \frac{6t_M \cdot t_c}{t_c^2 - t_M^2} \quad (5)$$

La valeur  $t_M$  est immédiatement déductible de la courbe expérimentale de traçage. Il n'en est pas de même pour  $t_C$  dont l'obtention est néanmoins nécessaire, d'une part pour déterminer P et partant la dispersivité  $\alpha_L$ , mais aussi pour connaître la seconde caractéristique hydrodispersive : la porosité cinématique  $\omega$  :

. en monodimensionnel :  $\omega = \frac{K_i}{u} = \frac{K_i t_C}{x}$  ou  $\omega = \frac{Q}{uS} = \frac{Q t_C}{xS}$  (6)

. en radial :  $\omega = \frac{Q t_C}{\pi e r^2}$  (7)

L'objectif est donc la détermination de  $t_C$ .

En posant  $t_R = t/t_C$  (temps réduit) et en utilisant  $P = x/\alpha_L$  (distance réduite), on peut réécrire l'équation (1) comme suit :

$$C(x,t) = \frac{M x}{Q (4\pi D_L)^{1/2}} \cdot t^{-1,5} \exp \left[ -\frac{P(1-t_R)^2}{4t_R} \right] \quad (8)$$

pour  $x = X = \text{constante}$ , la première partie de cette expression est une constante (W).

Considérons deux points A et B de la partie ascendante de la courbe ( $t_A < t_B < t_M$  et  $C_A < C_B < C_M$ ), choisis arbitrairement (fig. 1). On connaît donc le rapport  $C_B/C_A = N$ . On peut donc écrire :

$$C_B = N C_A = W \cdot t_B^{-1,5} \exp \left[ -\frac{P(1-t_{RB})^2}{4t_{RB}} \right] = N \cdot W \cdot t_A^{-1,5} \exp \left[ -\frac{P(1-t_{RA})^2}{4t_{RA}} \right] \quad (9)$$

soit encore :

$$-1,5 \ln t_B - \frac{P(1-t_{RB})^2}{4t_{RB}} = \ln N - 1,5 \ln t_A - \frac{P(1-t_{RA})^2}{4t_{RA}} \quad (10)$$

En remplaçant  $t_{RA}$  et  $t_{RB}$  par leurs valeurs  $t_A/t_C$  et  $t_B/t_C$  et P par son expression en fonction de  $t_M$  et  $t_C$  (équation 5), on aboutit finalement à :

$$t_C = t_M \sqrt{\frac{\frac{t_B - t_A}{t_M} - \ln \frac{t_B}{t_A} - \frac{2}{3} \ln N}{\frac{t_M(t_B - t_A)}{t_A \cdot t_B} - \ln \frac{t_B}{t_A} - \frac{2}{3} \ln N}} \quad (11)$$

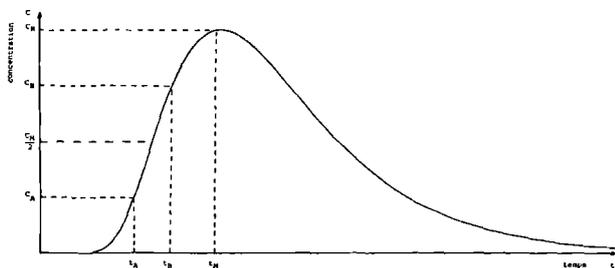


Fig. 1. — Principe de la méthode des trois points, pour l'interprétation d'une courbe concentration - temps en réponse à une injection brève.

Fig. 1. — Concentration-time curve for an instantaneous tracer injection. Location of the three used points.

Cette expression est aisée à calculer à l'aide de n'importe quelle calculatrice ayant les fonctions mathématiques élémentaires. Il est cependant préférable de la programmer afin de tester différents couples de points A et B de la courbe de restitution à étudier.

### 3) Ecoulement bidimensionnel uniforme, réponse axiale.

La réponse axiale à une impulsion de Dirac est :

$$C(x,t) = \frac{M}{4\pi e \omega (D_L \cdot D_T)^{1/2}} \cdot \frac{1}{t} \exp \left[ -\frac{(x-ut)^2}{4D_L t} \right] \quad (12)$$

Comme dans le cas de l'écoulement monodimensionnel, on peut exprimer le temps modal et le nombre de Peclet en fonction l'un de l'autre et du temps de transfert par convection pure :

$$t_M = t_C \cdot \frac{-2 + (P^2 + 4)^{1/2}}{P} \quad (13)$$

ou  $P = \frac{4t_M \cdot t_C}{t_C^2 - t_M^2}$  (14)

et finalement une expression analogue à (11) peut être établie :

$$t_C = t_M \sqrt{\frac{\frac{t_B - t_A}{t_M} - \ln \frac{t_B}{t_A} - \ln N}{\frac{t_M(t_B - t_A)}{t_A \cdot t_B} - \ln \frac{t_B}{t_A} - \ln N}} \quad (15)$$

### III. — APPLICATION ET DISCUSSION

Le choix des points A et B ne devrait évidemment avoir aucune influence sur les résultats si le transfert réel correspond rigoureusement à celui du modèle théorique retenu. Comme il n'en est rien, en pratique, il convient de choisir des points A et B sur la zone de croissance des concentrations de la courbe de restitution (à  $t < t_M$ ) pour trois raisons essentielles :

- une injection brève *in situ* ne peut pratiquement jamais ressembler à une impulsion de Dirac ; l'entraînement de la masse injectée nécessitant un certain temps, le signal d'entrée ne peut être au mieux qu'exponentiel décroissant ;

- la superposition d'écoulements à vitesses différentes est possible tant en milieu poreux stratifié qu'en milieu fissuré ; cette superposition se traduit par une courbe de restitution globale dont la croissance correspond à la vitesse la plus élevée et la décroissance à la vitesse la plus faible.

- des échanges par sorption ou par diffusion en matrice rocheuse ne peuvent jamais être exclus *a priori* : leurs effets affectent davantage la décroissance de la courbe de restitution, qu'ils peuvent prolonger exagérément, que la montée en concentration.

Sauty (1977 et 1978) préconisait lui-même le calage sur ses abaques grâce à la partie montante de la courbe et au pic.



gence de certains paramètres par rapport à la théorie, qui expliquent les différences de résultats, voire de totale inadéquation de l'une ou de l'autre méthode selon le cas rencontré.

La méthode des trois points donne, si N ne dépasse pas 3, une valeur suffisamment approchée de  $t_c$  qui entraîne elle-même une estimation correcte de  $e_\omega$  ou de  $\omega$ . Par contre, le calcul de la dispersivité à partir de P s'effectuant notamment avec la différence des carrés de  $t_c$  et  $t_M$ , il suffit d'une faible erreur d'estimation de  $t_M$  et/ou de  $t_c$  pour entraîner une forte divergence des valeurs de P et  $\alpha$ . C'est donc là l'un des points faibles de la méthode, dont il faut avoir conscience lors de son application. Il est sage aussi de travailler sur une courbe de restitution lissée et avec plusieurs couples de points A et B. La détermination du pic doit également être soignée, plus pour la valeur du temps modal que pour celle de la concentration.

Avec ces précautions, la méthode permet d'avoir une première approche des valeurs que l'on peut espérer extraire d'une courbe expérimentale de traçage en vue d'estimations préventives comme la détermination des périmètres de protection d'un captage ou le choix des emplacements de certaines nuisances.

## NOTATION

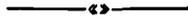
c	: concentration	( M L <sup>-3</sup> )
C <sub>M</sub>	: concentration maximale ou modale	( M L <sup>-3</sup> )
D	: coefficient de dispersion hydrodynamique (L : longitudinal ; T : transversal)	( L <sup>2</sup> T <sup>-1</sup> )
e	: épaisseur de l'aquifère (épaisseur active)	( L )
i	: gradient hydraulique	( sans dimension )
K	: conductivité hydraulique (perméabilité de Darcy)	( L T <sup>-1</sup> )
M	: masse injectée	( M )
N	: Rapport de deux concentrations	( sans dimension )
P	: Nombre de Peclet hydrodynamique	( sans dimension )
Q	: débit d'écoulement	( L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup> )
r	: distance radiale au puits de pompage	( L )
S	: section (en écoulement monodimensionnel)	( L <sup>2</sup> )
t	: variable temps	( T )
t <sub>c</sub>	: temps de transfert par convection pure	( T )
t <sub>M</sub>	: temps modal	( T )
t <sub>R</sub>	: temps réduit : t/t <sub>c</sub>	( sans dimension )
u	: vitesse interstitielle moyenne	( L T <sup>-1</sup> )
x	: distance longitudinale ou axiale	( L )
α	: dispersivité (L : longitudinale ; T : transversale)	( L )
δ(t)	: fonction de Dirac pour temps variable	( T <sup>-1</sup> )
ω	: porosité cinématique	( sans dimension )

\* \* \*

## BIBLIOGRAPHIE

- 1) BEAR J. (1972). — Dynamics of fluids in porous media. *American Elsevier*, New-York, 764 p.
- 2) CRAMPON N. (1983). — Abaques de détermination rapide des caractéristiques hydrodispersives lors de traçages par injection brève. *Hydrogéol. Géol. de l'Ingénieur*, 4, p. 287-292.
- 3) CRAMPON N. (1985). — Relationships between hydrodispersive characteristics (kinematic porosity and dispersivity) and structure of fractured medium. *Coll. IUTAM, Lower Hutt*, Nouvelle-Zélande (sous presse).
- 4) CRAMPON N., POREL G. et DROZ B. (1982). — Complémentarité des traçages d'essai et des études hydrodynamiques pour la connaissance de la répartition spatiale des caractéristiques d'un milieu calcaire fissuré. *Actes Coll. « Les milieux discontinus en Hydrogéologie »*, Orléans, p. 233-252.
- 5) DIEULIN A. (1980). — Propagation de la pollution dans un aquifère alluvial. L'effet de parcours. *Thèse Doc.-Ing.*, Paris VI et ENSMP, 207 p.
- 6) FRIED J.J. (1975). — Groundwater pollution. *Elsevier*, 330 p.
- 7) GARNIER J.M., CRAMPON N., POREL G., PREAUX C. et VREULX M. (1985). — Traçage par <sup>13</sup>C, <sup>2</sup>H, I<sup>-</sup> et uranine dans la nappe de la craie sénonienne en écoulement radial convergent (Béthune, France). *Journ. of Hydrol.*, 78, p. 379-392.
- 8) GOBLET P., LEDOUX E., LESSI J. et de MARSILY G. (1977). — Transport de matière en aquifère hétérogène. Influence du facteur d'échelle sur la détermination des paramètres de la dispersion. *Actes Coll. « Protection des eaux souterraines captées pour l'alimentation humaine »*, Orléans, p. 215-229.
- 9) GUIZERIX J., GRAS R., MARGRITA R., MOLINARI J., CALMELS P., GAILLARD B. et SANTOS-COTTIN H. (1971). — Expériences de traceur réalisées en France dans le cadre d'études sur la pollution thermique des cours d'eau. IAEA « *Nuclear techniques in environmental pollution* », p. 63-79.
- 10) KLOTZ D., SEILER K.P., MOSER H. et NEUMAIER F. (1980). — Dispersivity and velocity relationship from laboratory and field experiments. *Journ. of Hydr.*, 45, p. 169-184.

- 11) KREFT A. et ZUBER A. (1978). — On the physical meaning of the dispersion equation and its solutions for different initial and boundary conditions. *Chemical Engin. Sc.*, 33, p. 1471-1480.
- 12) de MARSILY G. (1981). — Hydrogéologie quantitative. *Masson*, Paris, 215 p.
- 13) OGATA A. et BANKS R.B. (1961). — A solution of differential equation of longitudinal dispersion in porous media. *U.S. Geol. Survey*, Prof. Paper 411-A.
- 14) PFANNKUCH H.O. (1963). — Contribution à l'étude des déplacements de fluides miscibles dans un milieu poreux. *Rev. Inst. Fr. Pétrole*, 18 (2), p. 215-270.
- 15) ROSS B. (1985). — Dispersion in fractal fracture networks. *Actes Symp. « L'approche stochastique des écoulements souterrains »*, Montvillargenne, p. 505-513.
- 16) SAUTY J.P. (1977). — Contribution à l'identification des paramètres de dispersion dans les aquifères par l'interprétation des expériences de traçage. *Thèse Doct.-Ing.*, Grenoble, 157 p.
- 17) SAUTY J.P. (1978). — Identification des paramètres du transfert hydrodispersif dans les aquifères par interprétation de traçages en écoulement cylindrique convergent ou divergent. *Journ. of Hydrol.*, 39, p. 69-105.
- 18) SCHWEIZER R., STOBBER I. et STRAYLE G. (1985). — Auswertungsmöglichkeiten und Ergebnisse von Tracerversuchen im Grundwasser. *Abh. Geol. Land. Baden-Württemberg*, 11, p. 93-139.



## Révision de *Michelinia transitoria* Knod, 1908 (Tabulata, Dévonien de Bolivie)

### Revision of *Michelinia transitoria* Knod, 1908 (Tabulata, Devonian of Bolivia)

par Yves PLUSQUELLEC (\*)

**Résumé.** — L'étude microstructurale de la muraille du type de *Michelinia transitoria* Knod, 1908, montre que l'espèce appartient au genre *Praemichelinia* Lafuste et Plusquellec, 1980; la lame médiane offre en coupe transversale une disposition originale qui fait l'objet d'une figuration détaillée. La répartition paléogéographique du genre est étendue du domaine ibéro-armoricano-maghrébin à la province malvinocaffre.

**Abstract.** — *The microstructural study of the wall of the type of Michelinia transitoria Knod, 1908, shows that this species belongs to the genus Praemichelinia Lafuste et Plusquellec, 1980; the median dark line exhibits an unusual feature which is carefully figured. The paleogeographic distribution of the genus Praemichelinia is extended from the ibero-armoricano-maghrebian area to the malvinocaffric province.*

L'étude détaillée — à l'aide de lames ultra minces à faces polies — de la muraille des Tabulés classiquement rapportés au genre *Michelinia*, a permis de mettre en évidence l'hétérogénéité microstructurale de celui-ci (Lafuste et Plusquellec, 1980, 1985). Trois taxons sont proposés pour la période dévono-carbonifère, deux d'entre eux possèdent une muraille lamellaire (*Praemichelinia* Lafuste et Plusquellec, 1980; *Michelinia* de Koninck, 1841), le troisième une muraille micro-lamellaire (*Turnacipora* Lafuste et Plusquellec, 1985).

Cette nouvelle conception du genre "*Michelinia*" nécessite une révision de toutes les espèces antérieurement décrites, ce qui peut paraître une entreprise ambitieuse, voire utopique. C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente révision de *Michelinia transitoria* Knod, seule espèce actuellement décrite dans le Dévonien d'Amérique du Sud.

Les types de cette espèce conservés dans les collections du Geologisches Institut der Albert-Ludwigs-Universität de Freiburg i. Br. (R.F.A.) ont pu être examinés grâce à l'obligeance du Dr Heinz König qui, en outre, m'a autorisé à y tailler les lames minces nécessaires à la révision efficace d'un tel matériel.

#### *PRAEMICHELINIA TRANSITORIA* (Knod, 1908)

**LECTOTYPE** : Spécimen GPIF 29 et GPIF 30; colonie plus ou moins complète, partiellement engagée dans le sédiment, sciée en deux parties dont l'une, GPIF 30, est figurée par Knod, Pl. XXX, fig. 1 (section « polie ») et fig. 3 (cassure irrégulièrement rectifiée). Les lames minces ont été taillées dans GPIF 29.

**PARALECTOTYPE** : Spécimen GPIF 27 figuré par Knod, Pl. XXX, fig. 2.

**LOCUS TYPICUS** : Icla, province de Chuquisaca, Bolivie.

**STRATUM TYPICUM** : Untere Icla - Schichten *sensu* Steinmann et Knod, *Scaphiocoelia* - Schichten Dévonien inférieur (Siegenien supérieur probable). Voir Isaacson, 1977.

**MATÉRIEL** : Les deux colonies étudiées par Knod; pas de matériel complémentaire.

#### **Morphologie.**

Seul le paralectotype, fidèlement représenté par Knod, donne des indications sur la morphologie du polypier. Il s'agit d'une colonie massive à corallites

(\*) Laboratoire de Paléontologie et de Stratigraphie du Paléozoïque, Faculté des Sciences, 6, avenue Le Gorgeu, 29287 Brest Cedex et GRECO 130007 du C.N.R.S.

Note présentée le 6 Novembre 1985 et acceptée pour publication par le Conseil de la S.G.N. le 7 Mai 1986.

cerioïdes de grande taille pouvant atteindre 10-11 mm de diamètre.

La face non figurée de cette colonie, très altérée, montre une "épithèque" à stries de croissance, entourant une cavité tubulaire d'allure vermiforme sans affinité avec un quelconque *Loxonema* comme semble l'indiquer Knod. Cette cavité, dont le diamètre est voisin de 3-4 mm, rappelle le « commensal » des *Pleurodictyum* mais cette galerie n'a pu être observée sur les coupes pratiquées dans GPIF 29 ni sur les empreintes à l'acétate effectuées sur la section Knod XXX 1.

Quant à la cassure perpendiculaire à cette surface (Knod XXX 3), elle ne montre pas de façon aussi précise que sur la figure originale le corps vermiforme ; on y observe néanmoins une structure plus ou moins oblique créant une discontinuité dans l'organisation des corallites.

Ces observations trop partielles ne permettent pas de donner une interprétation satisfaisante de cette structure mais quoi qu'il en soit la morphologie générale du polypier exclut son attribution au genre discoïde *Pleurodictyum*.

La muraille, bien exposée au niveau des calices ou dans des régions plus profondes du polypier, montre des rides septales généralement plates et larges. Elles portent des épines granuleuses irrégulièrement disposées et sont séparées par des sillons interseptaux étroits creusés parfois de petites dépressions punctiformes.

Dans de rares cas, les rides septales se prolongent sur la partie périphérique des planchers. Les pores muraux sont visibles sur les faces des corallites, ils paraissent également présents aux angles des murailles mais cette disposition n'a pu être confirmée en lame mince. Leur diamètre varie de 0,20 à 0,30 mm.

#### Structure interne.

— La muraille, très légèrement onduleuse, montre un épaissement périphérique localement très marqué. Il n'y a pas été observé de sections de pores muraux.

— Les planchers, minces la plupart du temps, sont complets, assez fréquemment concaves, plans au convexes ou incomplets et convexes.

Quelques-uns d'entre eux, en périphérie du polypier, sont considérablement épaissis (fig. 1). Il n'y a pas de système marginal différencié de planchers en arc-boutant comme chez certaines formes du Carbonifère.

— Le mode de multiplication végétative n'a pu être mis en évidence compte tenu du petit nombre de lames minces.

#### Microstructure.

La microstructure de la muraille étudiée à l'aide de lames minces d'épaisseur normale et de lames ultra

minces à faces polies (Lafuste, 1970) se révèle conservée de façon satisfaisante.

— La lame médiane apparaît en coupe longitudinale sous forme d'une ligne sombre généralement continue et légèrement onduleuse ; par contre, en coupe transversale, elle offre un aspect inhabituel, ondulation plus ou moins régulière et bien marquée, accentuée par des diverticules linéaires disposés perpendiculairement au bord de la muraille. Parfois même, la lame médiane devient discontinue et ce sont les éléments transverses qui dominent (fig. 2). Cette disposition est exceptionnelle chez les *Michelinidae* et constitue probablement le caractère le plus original de cette espèce.

Les lames à faces polies montrent la nature isogranulaire de la lame médiane (fig. 3).

— La stéréozone est fondamentalement constituée par un sclérenchyme lamellaire ; en coupe longitudinale,

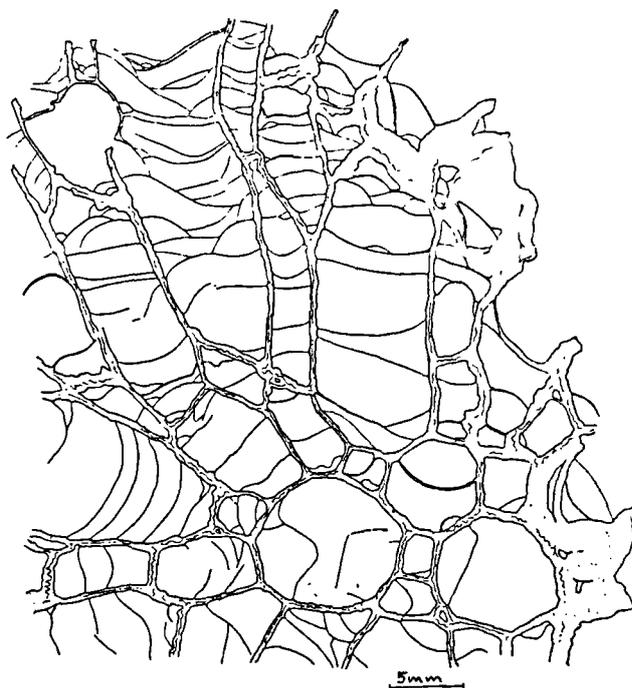


Fig. 1. — *Praemichelinia transitoria* (Knod).

Lectotype (GPIF 30) ; coupe principalement longitudinale ; remarquer les épaissements périphériques de la muraille. Dessin d'une empreinte à l'acétate réalisée sur la section figurée par Knod, Pl. XXX, fig. 1.

Fig. 1. — *Praemichelinia transitoria* (Knod).

Lectotype (GPIF 30) ; section mostly longitudinal, with peripheral zone strongly thickened. Drawing from acetate peel made on the section figured by Knod, Pl. XXX, fig. 1.

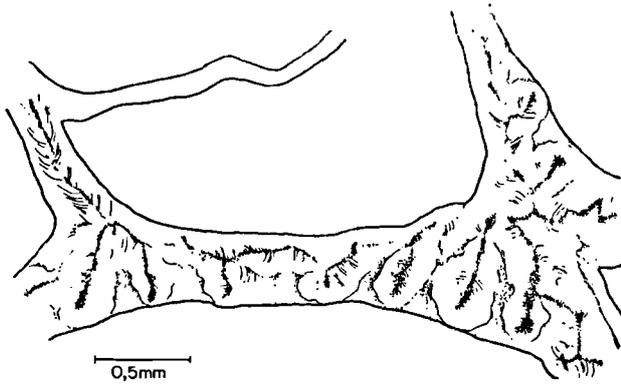


Fig. 2. — *Praemichelinia transitoria* (Knod). Lectotype (lame GPIF 29A); coupe transversale dans la muraille d'un corallite montrant la disposition particulière de la lame médiane. La coupe devient oblique ou longitudinale dans la partie supérieure de la figure et permet d'observer les lamelles obliques sur la lame médiane.

Fig. 2. — *Praemichelinia transitoria* (Knod). Lectotype (thin section GPIF 29A); transverse section in the wall of a corallite showing an unusual setting of the dark line. The section become more or less longitudinal in the upper part of the figure and allows to see the lamellae of the stereozone disposed obliquely in a distally opened V.

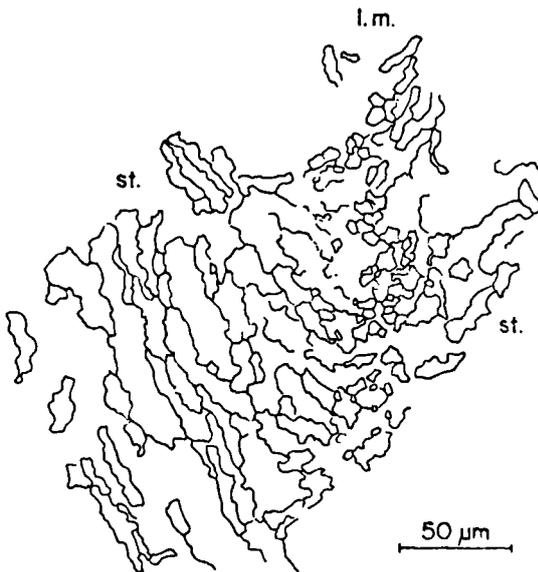


Fig. 3. — *Praemichelinia transitoria* (Knod). Lectotype (lame à faces polies GPIF 29B); coupe longitudinale montrant les granules de la lame médiane (l.m.) et les lamelles obliques de la stéréozone (st.).

Fig. 3. — *Praemichelinia transitoria* (Knod). Lectotype (polished thin section GPIF 29B); longitudinal section showing the dark median line (l.m.) composed of granules and the oblique lamellae of the stereozone (st.).

ces lamelles forment, en tous points de la muraille, de part et d'autre de la lame médiane, un V ouvert en direction des calices. Les sections ultra minces à faces polies permettent d'observer la morphologie des lamelles; elles présentent un contour ondulé avec des concavités marquées, orientées vers les calices, ce qui est la règle pour ces éléments microstructuraux mais aussi parfois des concavités dirigées vers la lame médiane (fig. 3).

En certains points du squelette et particulièrement à la périphérie du polypier, la stéréozone lamellaire est recouverte par un épaississement constitué de fibres orthogonales à la surface de la muraille. Ce sclérenchyme fibreux indifférencié montre, dans les régions où il est le plus épais, une zonation liée à un mode de croissance en couches successives (fig. 4). Ces dépôts fibreux sont également responsables du surépaississement des planchers (fig. 4).

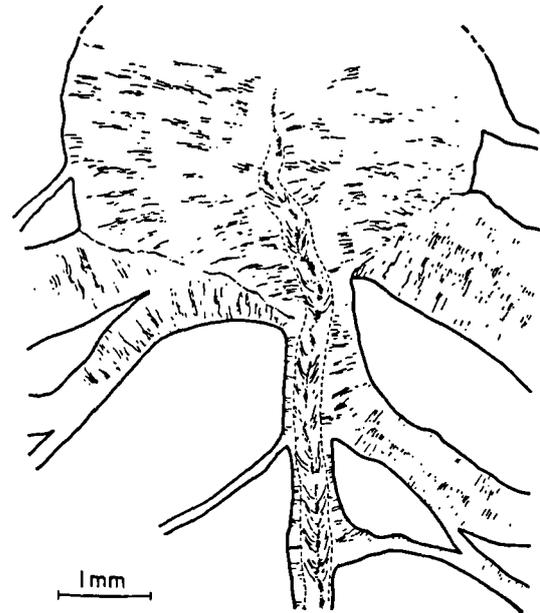


Fig. 4. — *Praemichelinia transitoria* (Knod). Lectotype (lame GPIF 29 D); coupe longitudinale montrant la nature lamellaire de la partie centrale de la muraille et les épaississements fibreux sur cette dernière et sur les planchers.

Fig. 4. — *Praemichelinia transitoria* (Knod). Lectotype (thin section GPIF 29D); longitudinal section showing the lamellar microstructure of the central part of the wall and the secondary fibrous thickening on it and on the tabulae.

#### Attribution générique.

Par la morphologie générale du polypier et la présence de planchers incomplets vésiculeux, la forme bolivienne appartient bien aux Michelinimorphes; les caractéristiques microstructurales de la lame médiane et de la stéréozone en font un représentant tout à fait indubitable du genre *Praemichelinia* Lafuste et Plusquellec, 1980.

Le genre *Michelinia* s.s. de Koninck s'en différencie par la disposition des lamelles de la stéréozone qui sont globalement parallèles à la lame médiane.

Compte tenu de sa position stratigraphique (Siegenien supérieur probable), l'attribution de l'espèce de Knod au genre *Praemichelinia* est tout à fait satisfaisante. En effet, ce genre, qui a une vaste répartition stratigraphique, est connu dès le Gedinnien, tandis que le genre *Michelinia* s.s. n'est attesté qu'à partir de l'Emsien supérieur, voire de l'Eifelien.

#### Paléogéographie.

La répartition paléogéographique du genre *Praemichelinia*, connu jusqu'à présent au Dévonien inférieur dans le seul domaine ibéro-armoricano-maghrébin, se trouve étendue à la province malvinocaffre.

On notera également que le genre *Parastriatopora*, Tabulé remarquable du Gedinnien supérieur du Massif Armoricaire et d'Afrique du Nord, est aussi présent dans le Dévonien inférieur précoce de Bolivie (Lafuste, communication personnelle et Branisa, 1965 : *Striatopora* cf. *S. missouriensis*, Pl. 48, fig. 2-13). La présence en Bolivie des genres *Praemichelinia* et *Parastriatopora*, bien que situés vraisemblablement à des niveaux stratigraphiques légèrement différents, indique certaines affinités — qu'il conviendrait de préciser — entre la Province malvinocaffre et le domaine « ibarmaghien » (\*).

(\*) Néologisme formé à partir des mots Ibérique, Armoricain et Maghrébin.

#### BIBLIOGRAPHIE

- 1) BRANISA L. (1965). — Los fosiles guias de Bolivia. *Bull. Ser. Geol. Bolivia*, 6, p. 1-65, 225-282, Pl. 1-80. La Paz.
- 2) ISAACSON P.E. (1977). — Devonian Stratigraphy and Brachiopod paleontology of Bolivia. *Palaeontographica A*, 155, Lfg. 5-6. p.133-192. 31 fig., Pl. 1-6, Stuttgart.
- 3) KNOD R. (1908). — Devonische Faunen Boliviens. *N. Jahrb. Miner. Geol. Paläont.*, XXV, p. 493-600, Pl. XXI-XXXI, Stuttgart.
- 4) LAFUSTE J. (1970). — Lames ultra-minces à faces polies. Procédé et application à la microstructure des Madréporaires fossiles. *C.R. Ac. Sc.*, 270D, p. 676-681, 1 fig., Pl. 1. Paris.
- 5) LAFUSTE J. et PLUSQUELLEC Y. (1980). — Les Polypiers Tabulata in Les Schistes et calcaires de l'Armorique (Dévonien inférieur, Massif Armoricaire), Y. Plusquellec, ed. *Mém. Soc. géol. minéral. Bretagne*, 23, p. 143-173. 26 fig., Pl. 20-22, Rennes.
- 6) LAFUSTE J. et PLUSQUELLEC Y. (1985). — Structure et microstructure de quelques Michelinijidae et Michelinimorphes (Tabulata paléozoïques). *Bull. Mus. Nat. Hist. Natur.*, 4<sup>e</sup> sér., 7, C/1. p. 13-55. 32 fig., Pl. 1-4. Paris.

— « —

## *Pseudarca*, Mollusque Bivalve singulier de l'Ordovicien supérieur du Massif Armoricain

### *Pseudarca*, a peculiar mollusk bivalve from the upper Ordovician of the Armorican Massif

par Claude BABIN (\*)

(Planches XII et XIII)

**Résumé.** — Le genre *Pseudarca* Tromelin et Lebesconte, 1875, demeure mal connu car le matériel provenant d'une seule ancienne localité, la Bouëxière (Ille-et-Vilaine, France) se réduit à quelques exemplaires des collections du XIX<sup>e</sup> siècle. L'opportunité de réviser ce genre, représenté par une seule espèce, *P. tupa*, est fournie par un matériel retrouvé dans les collections de l'Université des Sciences et Techniques de Lille. Cela permet une description plus complète du genre et l'analyse de la denture qui suggère une place dans la sous-classe Actinodontia. *Pseudarca* peut être considéré comme un Lyrodesmatidé singulier, spécialisé et sans descendance.

**Abstract.** — The genus *Pseudarca* Tromelin et Lebesconte, 1875, remains badly known because the scarcity, in the collections of the 19th century, of the material proceeding from a single ancient locality, la Bouëxière (Ille-et-Vilaine, France). A material has been rediscovered in the collections of the Université des Sciences et Techniques in Lille; it gives opportunity to revise the genus, represented by a single species, *P. tupa*. That allows a more complete description of this genus and an analysis of the dentition which suggests a position among the subclass Actinodontia. *Pseudarca* may be considered as a peculiar Lyrodesmatid, specialized and without descendants.

Le genre *Pseudarca* fut créé en 1875 par de Tromelin et Lebesconte pour désigner des Bivalves du Grès de la Bouëxière (Ille-et-Vilaine, France) rapporté à l'Ordovicien supérieur. Les auteurs indiquèrent alors (p. 5): « ce nouveau genre nous paraît voisin de *Cucullella* », taxon proposé en 1851 par McCoy, formule reprise par eux sous la même forme (1876), puis par de Tromelin sous l'expression voisine: « nous l'avons classé à côté du genre *Cucullella* ». Les comparaisons faites par ces auteurs (1876) puis par Munier-Chalmas (1876) pour son genre *Adranaria* avec *Cutellus* (Solemyacea cénozoïque), ne correspondent qu'à des homéomorphies. En 1890, par contre, Bigot qui utilise l'appellation *Adranaria* pour désigner ce genre, compara l'espèce qu'il décrit à une espèce du Dévonien, *Nucula solenoides* Goldfuss, que les auteurs placèrent

dès 1876, à la suite de Roemer, dans le genre *Cucullella* puis, à partir de 1913 avec Kegel, dans le genre *Nuculites*. Tandis que les désignations de Tromelin et Lebesconte, *Pseudarca* et *Siliquarca*, tombaient dans l'oubli total, la confusion persistait un certain temps autour des divers autres genres. En 1937, par exemple, Maillieux (p. 184) peut écrire « la dentition du genre *Cleidophorus* ne nous est qu'imparfaitement connue, par une description insuffisante basée sur celle du genre *Adranaria* Munier-Chalmas, 1876, synonyme de *Cleidophorus* ». Façon confuse d'aborder des diagnoses génériques... En 1960, Eberzina (p. 67) retient *Cleidophorus* avec pour espèce-type *Nuculites planulatus* Conrad, 1841, et place en synonymie de celui-ci *Cucullella* McCoy et *Adranaria* Munier-Chalmas. En 1966, Babin adopte la désignation *Siliquarca* (p. 241) et pro-

(\*) Laboratoire de Paléontologie et de Stratigraphie du Paléozoïque, Faculté des Sciences, 6, avenue Le Gorgeu, 29287 Brest Cedex et GRECO 130007 du C.N.R.S.

Note présentée le 11 Décembre 1985 et acceptée pour publication par le Conseil de la S.G.N. le 7 Mai 1986.

pose, pour des raisons sur lesquelles je reviendrai, de placer ce genre parmi les Lyrodesmatidae. En 1968, McAlester révisé les espèces-types de différents genres : *Adranaria tromelini* Munier-Chalmas, 1876 ; *Cleidophorus planulatus* (Conrad), 1841 ; *Cucullella antiqua* (Sowerby), 1839 ; *Nuculites oblongatus* Conrad, 1841 ; *Pseudarca typa* Tromelin et Lebesconte, 1875 ; *Tropidonuculites carinatus* (Hall), 1860. Cela le conduira à retenir dans le Treatise (1969, p. N 233), pour la famille Mallettiidae, les genres *Nuculites* (= *Cleidophorus*, *Cucullella*), *Pseudarca* (= *Adranaria*, *Siliquarca*) et *Tropidonuculites*. Pojeta (1971, p. 6, 7) indique dans son bilan des espèces ordoviciennes, deux espèces pour *Adranaria*, vingt-six pour *Cleidophorus*, six pour *Nuculites*, trois pour *Pseudarca* et une pour *Siliquarca*. Cet auteur souligne (p. 10, 16) que *Pseudarca* est généralement considéré comme un Nuculoïde mais que, eu égard à la pauvreté des caractères observés, ses affinités demeurent incertaines.

Ainsi, une réelle confusion reste-t-elle autour de ce genre *Pseudarca-Adranaria-Siliquarca* tant en ce qui concerne la connaissance de ses caractères qu'en ce qui regarde — mais ceci en découle évidemment — sa place dans la systématique et son intérêt phylogénétique éventuel. En retrouvant, dans les collections de l'Université des Sciences et Techniques de Lille, un lot de matériel récolté au siècle dernier par Lebesconte à la Bouëxière, localité-type, l'opportunité se trouve offerte de réviser ce genre non recueilli depuis, lors des prospections. Je n'ai pu, par contre, examiner les spécimens figurés par McAlester (1968, Pl. 32, fig. 1-10) qui étaient alors déposés au Laboratoire de Géologie de la Sorbonne (Paris) ; ceux-ci n'ont pas été retrouvés dans les collections de Paléontologie de l'Université Pierre et Marie Curie (lettre du conservateur, D. Pajaud, le 22 novembre 1984). Les spécimens étudiés sont désignés USTLP LBO pour ceux conservés à l'Université de Lille et LPB pour ceux des collections du Laboratoire de Paléontologie de Brest.

## CARACTÈRES MORPHOLOGIQUES OBSERVABLES

La fossilisation dans un grès quartzeux grossier n'est pas toujours très propice à l'observation. Un certain nombre de caractères peut néanmoins être relevé.

### 1) Contour.

La coquille se caractérise par son allongement ; elle est très peu convexe et a un crochet faible, placé entre le 1/4 et le 1/6 antérieures. Un unique exemplaire confirme que la coquille est équivalve (Pl. XII, fig. 1b) comme le supposait McAlester (1968, p. 15, 47). Autour de ce type moyen, une certaine variabilité du contour peut être observée. Les bords palléal et cardinal peuvent être subparallèles (Pl. XII, fig. 3) ou bien le bord palléal peut être légèrement convexe et

certaines spécimens acquièrent une morphologie plus arquée avec une partie antérieure plus élevée et une extrémité postérieure plus effilée (Pl. XII, fig. 5, 6, 8) ; c'est à ce dernier habitus que je faisais allusion (Babin, 1966, p. 241) en qualifiant la coquille "phaséoliforme". Sur la base de ces variations du contour, de Tromelin et Lebesconte créèrent quatre espèces (*typa*, *longissima*, *curtior* et *anomala*) auxquelles vinrent s'ajouter celles proposées, pour le même gisement, par Munier-Chalmas pour son genre *Adranaria* (*tromelini* et *crosssei*). Cependant, en 1890, Bigot, soulignant combien ce matériel est souvent déformé, proposait de placer les "espèces" *crosssei*, *curtior* et *longissima* en synonymie de *tromelini* Munier-Chalmas. Me fondant sur le même constat, j'admettais (1966, p. 243) que tous ces spécimens provenant d'un unique gisement, celui de la Bouëxière, pouvaient être rapportés à une seule espèce, la dénomination spécifique *typa* Tromelin et Lebesconte ayant la priorité.

L'intérêt du matériel conservé à Lille réside dans le fait que certains spécimens portent des déterminations spécifiques faites par les anciens auteurs (de la main de Lebesconte ou de celle de Barrois ?). Ainsi, sur la Pl. XII, les exemplaires des fig. 1, 3, 6, 11 et 13 sont-ils déterminés, dans les collections, *longissima* tandis que celui de la fig. 2 est attribué à *typa* et celui de la fig. 7 rapporté à *curtior*. On peut constater qu'il existe toutes les morphologies de transition entre celle de la fig. 13, très allongée, et celle de la fig. 9, relativement courte. Cela résulte des déformations et se trouve confirmé par celles qui affectent simultanément les exemplaires de *Lyrodesma securis* présents sur les mêmes plaques de grès. Cette péломorphose modifie aussi quelque peu l'inclinaison et la largeur du septum myophore.

### 2) Ornementation.

Les moules externes sont très frustes. Le moulage de l'un d'eux (Pl. XII, fig. 14) montre néanmoins une ornementation simple, concentrique, comportant quelques lignes de croissance plus marquées.

### 3) Caractères internes.

Sur les lectotypes de *Adranaria* et de *Pseudarca*, McAlester (1968) note "muscle scars unknown". J'avais pu indiquer seulement (1966) que le muscle adducteur antérieur se trouve bordé par un faible septum sans pouvoir préciser le contour de cette empreinte. Quelques individus du matériel complémentaire montrent cette impression antérieure de forme ovale, un peu effilée dans sa partie supérieure (Pl. XIII, fig. 5 et fig. 1 du texte). Elle est immédiatement surmontée d'une petite empreinte accessoire contiguë de sa pointe. Une autre empreinte accessoire, plus fortement imprimée dans la valve, est séparée de la précédente par une petite arête, sorte d'expansion antéro-dorsale du septum principal. Sur les moules internes,

cette petite empreinte accessoire constitue une pointe en avant de celle du crochet et souvent plus saillante qu'elle. Le septum qui borde postérieurement l'adducteur est assez large et très peu élevé; sa longueur atteint environ la moitié de la hauteur de la valve à ce niveau. L'empreinte de l'adducteur postérieur n'est pas discernable et devait donc être très peu marquée sur l'intérieur de la coquille.

McAlester (1968) interprète comme ligne palléale un léger sillon visible sur le spécimen qu'il figure Pl. 32, fig. 6. Sur quelques exemplaires observés ici, se distingue aussi un faible tracé (Pl. XII, fig. 5) qui pourrait être l'empreinte palléale mais celui-ci est, en général, double comme il semble l'être d'ailleurs sur l'un des spécimens de McAlester (Pl. 32, fig. 8). L'interprétation reste donc un peu douteuse.

La denture constitue le caractère le plus intéressant. Les dents ne sont développées que dans la partie umbonale de la charnière et occupent ainsi à peine le tiers de la longueur de la charnière. L'état de conservation permet de compter les dents sur 16 individus. La répartition en est la suivante :

16 dents	1 exemplaire
15 dents	2 exemplaires
14 dents	4 exemplaires
13 dents	4 exemplaires
12 dents	2 exemplaires
11 dents	3 exemplaires

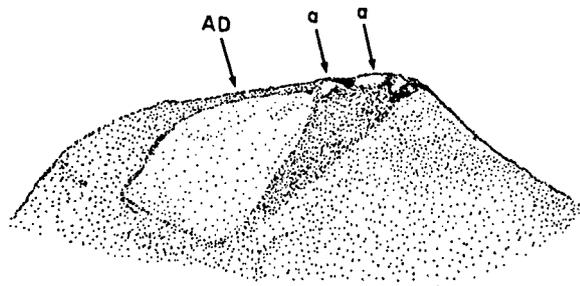


Fig. 1. — Disposition de la musculature antérieure observable sur un moule interne de *Pseudarca typa*. Gr. = 5.

AD : empreinte du muscle adducteur antérieur.

a : empreintes de deux petits muscles accessoires. Le septum myophore apparaît sous forme d'une gouttière triangulaire, très peu profonde.

Fig. 1. — Arrangement of the muscle scars on an internal mold of *Pseudarca typa*. (× 5).

AD : anterior adductor scar.

a : two small accessory scars. The myophoric septum appears like a very triangular groove.

Ces dents sont élevées, minces, lamellaires, les plus postérieures de la série pouvant être discrètement arquées. Toutes ces dents, y compris les plus postérieures d'entre elles, convergent vers le crochet (un diagramme dentaire sommaire (Babin, 1966, p. 242) rend compte de cette disposition). L'exemplaire bivalve montre l'aspect denticulé de la partie dentée dans un écusson bien dessiné (Pl. XII, fig. 1b). J'écrivais en 1966 : « ces dents présentent probablement des faces striées (cependant la fossilisation grossière dans le grès ne permet pas d'être affirmatif sur ce point) ». Le nouveau matériel examiné montre clairement la présence de microcrênelures sur les faces latérales des 9 ou 10 dents antérieures au moins (Pl. XIII, fig. 3 et fig. 2a du texte). Le sillon du ligament externe, probablement opisthodète, n'est observable sur aucun exemplaire.

#### PROBLEME TAXINOMIQUE ET SIGNIFICATION PHYLETIQUE DE *PSEUDARCA*

Pour ce qui est, tout d'abord, de la désignation générique, j'avais en 1966, proposé de retenir de préférence *Siliquarca* à *Pseudarca*, ces deux noms apparaissant simultanément dans la première note (1875) de Tromelin et Lebesconte et ces auteurs indiquant, en renvoi infrapaginal, qu'ils avaient déjà utilisé *Siliquarca* dans des références manuscrites. Je soulignais, en outre, le caractère suggestif de cette désignation eu égard à la morphologie de la coquille. Il est vrai, néanmoins, que de Tromelin et Lebesconte paraissaient préférer *Pseudarca* puisqu'ils proposaient de revenir à leur désignation, restée *nomen nudum*, sauf cas de pré-emploi (1876, p. 686). McAlester a donc retenu (1968, 1969) cette seconde désignation et considéré *Siliquarca* comme un synonyme objectif. Je me range ici à cette opinion. La proposition de Munier-Chalmas (1876) d'un genre *Adranaria* est, par contre, postérieure et devient synonyme de *Pseudarca* (McAlester, 1969, p. N 234).

Plus important est le problème de la position systématique de ce genre car le choix fait de l'attribution reflète la conception que l'on a de son éventuelle signification phylétique. En assimilant ce genre à *Nuculites-Cleidophorus* (Eberzina, 1960) ou en le plaçant près de lui dans la superfamille Nuculacea (McAlester, 1969), on le considère comme un Paléotaxodonte. En faveur de cette attribution militent le nombre relativement important de dents (11 à 16) et l'aspect denticulé de la charnière en vue dorsale, observé ici pour la première fois (Pl. XII, fig. 1b). Le rapprochement fait avec *Nuculites* semble, par contre, relever essentiellement d'homéomorphie, allongement de la coquille et présence d'un septum myophore; les dents occupent une partie plus importante de la charnière chez *Nuculites*.

En plaçant *Pseudarca* dans la famille Lyrodesmatidae (Babin, 1966), on considère ce genre comme un représentant de la sous-classe Actinodontia. Une telle proposition est justifiée par la convergence des dents vers le crochet bien que les plus postérieures de la série n'atteignent pas celui-ci. Cette disposition peut s'inscrire néanmoins dans la diagnose que Pojeta (1978, p. 232) donne pour la sous-classe : « characterized by the presence of elongate lamellar teeth, all of which reach or nearly reach the beaks ; there are no edentulous spaces between the cardinal and anterior and posterior teeth, and the posterior teeth extend under the elongate external ligament. Some of the younger Ordovician representatives of the subclass lose the elongate lamellar teeth » (souligné par moi). Auparavant (p. 230), Pojeta a défini le groupe Actinodontia par « shells with numerous teeth ». Le nombre de dents observé chez *Pseudarca* est, en définitive, moindre que celui présenté par la plupart des Paléotaxodontes et notamment par *Nuculites* ; cela ne constitue donc pas un argument dirimant pour considérer *Pseudarca* comme un Paléotaxodonte.

Le septum myophore n'est pas l'apanage de *Nuculites* ; il est présent également chez des Nuculacea et de nombreux Actinodontia (Lyrodesmatidae, Redolliidae).

L'absence de sinus palléal a été admise ici pour *Pseudarca*. Au contraire, *Lyrodesma* présente un faible sinus mais cela est le cas aussi de nombreux genres de la superfamille Nuculacea.

J'ai attiré l'attention à différentes reprises sur les microcrênelures des dents (Babin et Le Pennec, 1982). Celles-ci offrent un développement très variable. Elles sont présentes chez certains *Nuculites* tel *N. subrectangularis* (Babin, 1966 et fig. 1c du texte) mais absentes chez beaucoup d'autres espèces de ce genre. Elles sont considérées comme toujours présentes dans la famille Lyrodesmatidae (*Lyrodesma*, *Noradonta*, *Tromelinodonta* ; voir Babin, 1982 et fig. 2b du texte).

Il semble, en définitive, y avoir davantage d'arguments favorables pour considérer *Pseudarca* comme un représentant des Actinodontes plutôt que des Paléotaxodontes. Le voisinage sur plusieurs plaquettes du grès de la Bouëxière, de *Pseudarca typa* et de *Lyrodesma securis* (Pl. XIII, fig. 7) rend aisée la comparaison des dentures et incite à rapprocher ces deux genres.

Il n'en demeure pas moins que les hésitations relatives à la classification montrent l'ambiguïté des caractères de *Pseudarca*. Cela conduit naturellement à se demander ce que représente, dans l'évolution des Bivalves ordoviciens, ce genre singulier connu jusqu'alors d'une seule localité et d'âge ordovicien supérieur. Lyrodesmatidae (Actinodontia) et Malletiidae (Nuculacea) sont représentés avant l'Ordovicien supérieur. La disposition dentaire de *Pseudarca* ne constitue donc pas un habitus intermédiaire ancestral à partir duquel se seraient réalisées les dispositions caractéristiques des deux sous-classes. On peut considérer que *Pseudarca* représente plutôt une adaptation morpho-

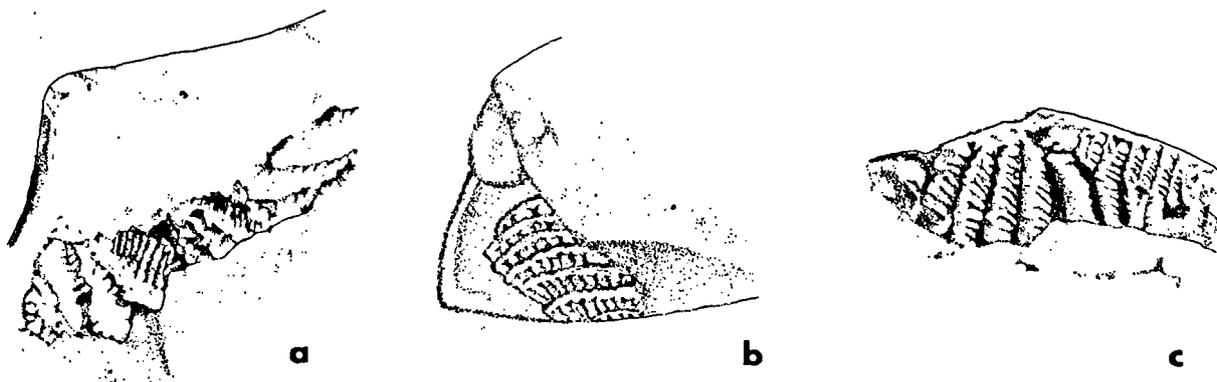


Fig. 2. — Microcrênelures des faces latérales des dents sur des moules internes.

- a : *Pseudarca typa*. Gr. = 9.  
 b : *Lyrodesma securis*. L'extrémité du crochet a été enlevée. Gr. = 6.  
 c : *Nuculites subrectangularis*. L'extrémité du crochet a été enlevée ; on remarque que les dents ne sont pas disposées ici en éventail ; la rangée postérieure chevauche, sous l'umbo, la rangée antérieure. Gr. = 7.

Fig. 2. — Microcrenulations on the lateral sides of the teeth (internal molds).

- a : *Pseudarca typa*. (× 9).  
 b : *Lyrodesma securis*. The umbral end has been broken. (× 6).  
 c : *Nuculites subrectangularis*. The umbral end has been broken ; the teeth are not fan-arranged ; the posterior series overlaps, beneath the umbro, the anterior series. (× 7).

logique de Lyrodesmatidae à un mode de vie plus activement fouisseur. L'allongement conséquent de la coquille induit un étirement de la charnière avec légère augmentation du nombre de dents mais celles-ci conservent la disposition, la morphologie et les microcrénélures caractéristiques de la famille Lyrodesmatidae. Pourrait-on admettre, par ailleurs, que les représentants du genre *Nuculites* à microcrénélures — qui seront des formes dévoniennes — entretiennent quelques rapports avec *Pseudarca*? Dans une telle hypothèse, le genre *Nuculites* serait artificiel en regroupant des espèces à caractères dentaires différents. Cette position attribuerait

une importance non négligeable pour les relations phylétiques à la présence de microcrénélures sur les dents. Cette importance reste à démontrer car la propension à la réalisation de microcrénélures paraît exister dans des groupes très divers (Babin et Le Pennec, 1982). Enfin, l'ultraendémisme de *Pseudarca*, s'il demeurerait confirmé, correspondrait sans doute à une forte spécialisation; cela paraît peu propice à lui faire assurer un rôle phylogénétique important. Actinodonte très spécialisé, extrêmement localisé dans l'espace et dans le temps, le genre *Pseudarca* fut probablement un taxon sans aucune descendance.

#### BIBLIOGRAPHIE

- 1) BABIN C. (1966). — Mollusques Bivalves et Céphalopodes du Paléozoïque armoricain. *Impr. Comm. Adm.*, Brest, 470 p., 18 pl.
- 2) BABIN C. (1982). — *Tromelinodonta* nov. gen., Bivalve Lyrodesmatide (Mollusca) de l'Arenigien (Ordovicien inférieur). *Géobios*, 15, 3, p. 423-427.
- 3) BABIN C. et LE PENNEC M. (1982). — Ontogenèse et phylogenèse : A propos de quelques caractères dentaires des Mollusques Bivalves. *Malacologia*, 22, (1-2), p. 709-720.
- 4) BIGOT A. (1890). — Notes sur quelques Pélécytopodes des grès siluriens de l'Ouest de la France. *Bull. Soc. géol. France*, 3<sup>e</sup> sér., p. 691-701. Pl. 22-23.
- 5) EBERZINA A.G. (1960). — Conchifères. Bivalvia. In Orlov I.A. *Traité de Paléontologie* (en russe). p. 18-197.
- 6) KEGEL W. (1913). — Der Taunusquarzit von Katzenbogen. *Königl. preuss. geol. Land.*, p. 1-163, 6 pl.
- 7) McALESTER A.L. (1968). — Type species of Paleozoic Nuculoid Bivalve Genera. *Geol. Soc. Amer. Mem.* 105. 143 p., 36 pl.
- 8) McALESTER A.L. (1969). — Superfamily Nuculanacea in Moore R.C. *Treatise on Invertebrate Paleontology*, pt N, vol. 1 (of 3), p. N 231-241.
- 9) MAILLIEUX E. (1937). — Les Lamellibranches du Dévonien inférieur de l'Ardenne. *Mém. Mus. roy. Hist. nat. Belg.*, 81, 274 p., 14 pl.
- 10) MUNIER-CHALMAS M. (1876). — Mollusques nouveaux des terrains paléozoïques des environs de Rennes. *Journ. Conchyl.*, 3, XVI, p. 102-109.
- 11) POJETA J. (1971). — Review of Ordovician Pelecypods. *Geol. Surv. Prof. Pap.*, 695, 46 p., 20 pl.
- 12) POJETA J. (1978). — The origin and early taxonomic diversification of pelecypods. *Phil. Trans. roy. Soc. London*, B 284, p. 225-246.
- 13) ROEMER C.F. (1876). — *Lethaea geognostica*.
- 14) de TROMELIN G. (1876). — Etude de la faune du Grès silurien de May, Jurques, Campandré, Mont-Robert, etc. (Calvados) avec des observations sur divers fossiles paléozoïques de l'Ouest de la France. *Bull. Soc. linn. Normandie*, 3<sup>e</sup> sér., I, p. 5-81.
- 15) de TROMELIN G. et LEBESCONTE P. (1875). — Note sur quelques fossiles des grès siluriens de Saint-Germain-sur-Ille, la Bouëxière, Champeaux, etc... *Ed. Cotonnec*, Quimper, 8 p.
- 16) de TROMELIN G. et LEBESCONTE P. (1876). — Présentation de fossiles paléozoïques du département d'Ille-et-Vilaine et note additionnelle sur la faune silurienne de l'Ouest de la France. A.F.A.S., Nantes (1875), p. 683-687.
- 17) de TROMELIN G. et LEBESCONTE P. (1877). — Observations sur les terrains primaires du Nord du département d'Ille-et-Vilaine, ... *Bull. Soc. géol. Fr.*, 3<sup>e</sup> sér., 4 (1876), p. 583-623.

\* \* \*

EXPLICATION DES PLANCHES

PLANCHE XII

*Pseudarca typa* Tromelin et Lebesconte

Fig. 1 à 13. — Moules internes montrant la variabilité morphologique qui relève pour partie de déformations tectoniques du matériel. Gr. = 1,6.

1. - Exemple bivalve.
  - a) vu par la valve droite.
  - b) vue cardinale montrant la brièveté de la partie dentée de la charnière. Spécimen attribué à *P. longissima* dans les anciennes collections. USTLP LBO 1.
2. - Valve gauche. Remarquer la forme du septum myophore. Exemple attribué à *P. typa* dans les anciennes collections. LPB 1244.
3. - Valve droite attribuée à *P. longissima*. USTLP LBO 3.
4. - Valve gauche montrant la denture et le septum. USTLP LBO 6.
5. - Valve gauche montrant l'empreinte adductrice antérieure, les deux empreintes accessoires et la ligne palléale (?). USTLP LBO 4.
6. - Valve droite portant une linéation d'allongement et déterminée *P. longissima* dans les anciennes collections. USTLP LBO 9.
7. Valve droite montrant les empreintes musculaires antérieures; déterminée *P. curtior* dans les collections. USTLP LBO 8.
8. - Valve gauche. USTLP LBO 10.
9. - Valve gauche particulièrement courte et élevée et montrant les empreintes musculaires. LPB 726.
10. - Valve droite. LPB 729.
11. - Valve gauche. Individu assez jeune, déterminé *P. longissima* dans les collections. USTLP LBO 2.

12. - Valve gauche. LPB 727.

13. - Valve gauche déterminée *P. longissima* dans les collections. LPB 1243.

Fig. 14. — Moulage révoltex de la partie postérieure d'un moule externe montrant l'ornementation concentrique fruste. LPB 730.

PLANCHE XIII

Fig. 1 à 6. — *Pseudarca typa*.

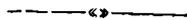
1. - Moulage révoltex de la denture de la valve gauche figurée Pl. XII, fig. 2. LPB 1244. Gr. = 4,7.
2. - Moulage révoltex de la denture d'une valve droite. Noter la présence d'une charnière de *Lyrodesma securis*. LPB 730. Gr. = 4,7.
3. - Moule interne. Détail de quelques dents sous-umbonales montrant les microcrénelures des faces latérales. USTLP LBO 12. Gr. = 9.
4. - Moulage révoltex (LPB 9093) d'une valve droite. USTLP LBO 11. Gr. = 4,5.
5. - Détail de la partie umbonale d'un moule interne de valve droite montrant le septum et les empreintes musculaires (voir fig. 1 du texte). USTLP LBO 7. Gr. = 7.
6. - Moulage révoltex de la charnière d'une valve gauche. LPB 9094. Gr. = 4,5.

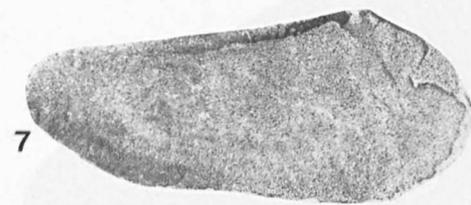
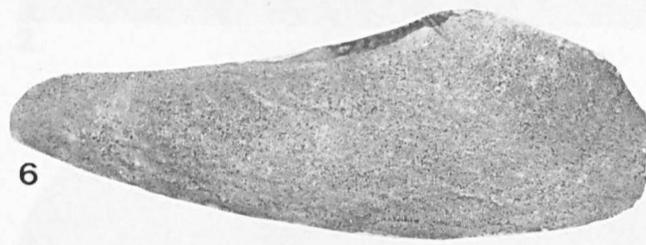
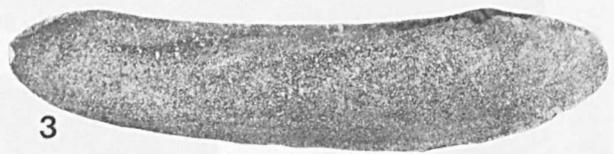
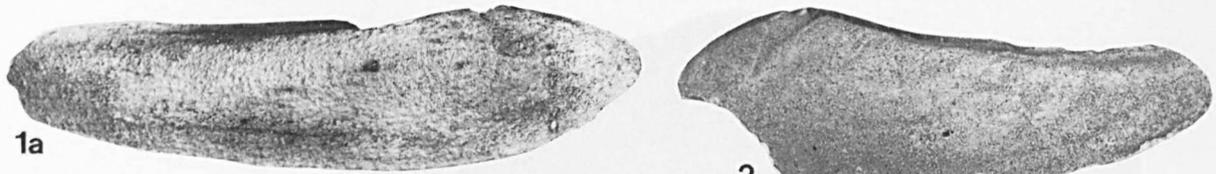
Fig. 7. — *Lyrodesma securis*.

Moulage révoltex (LPB 9095) d'une valve droite pour comparaison. Noter le septum et la disposition en éventail des dents. USTLP LBO 13. Gr. = 5.

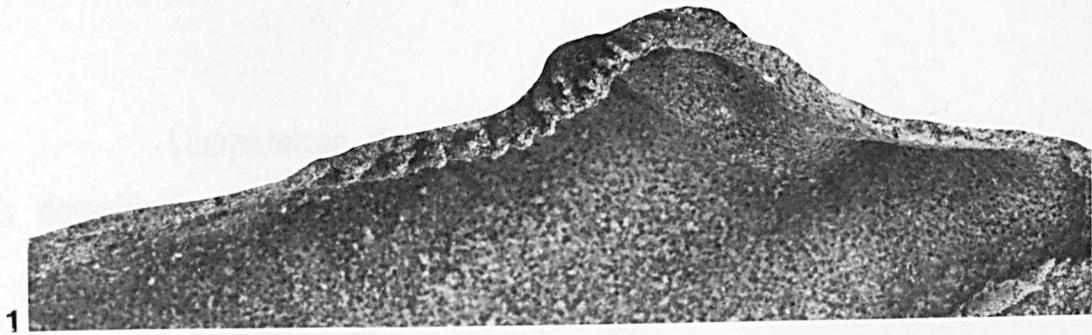
Fig. 8. — *Pseudarca typa*.

Moulage révoltex (LPB 9096) de la denture d'une valve droite. USTLP LBO 4. Gr. = 4,5.

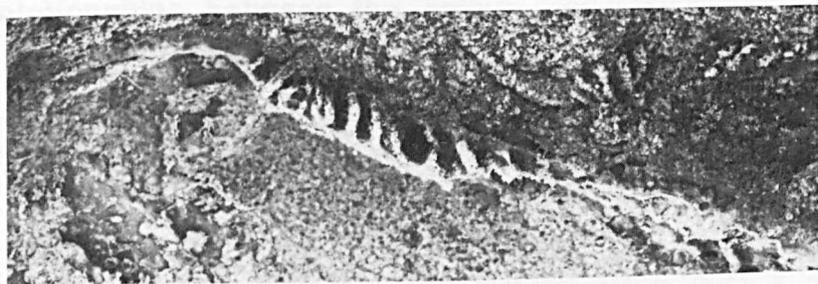








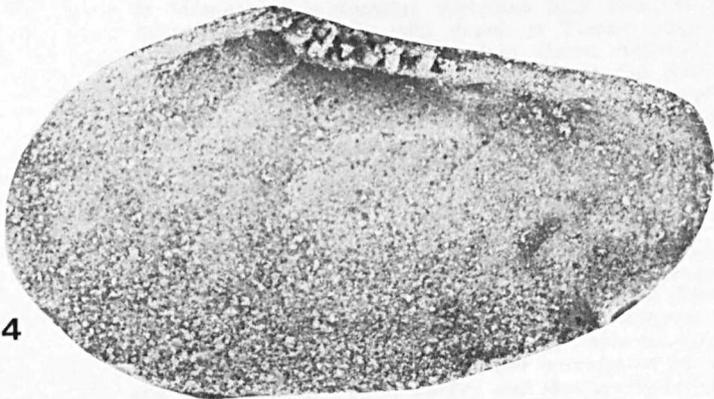
1



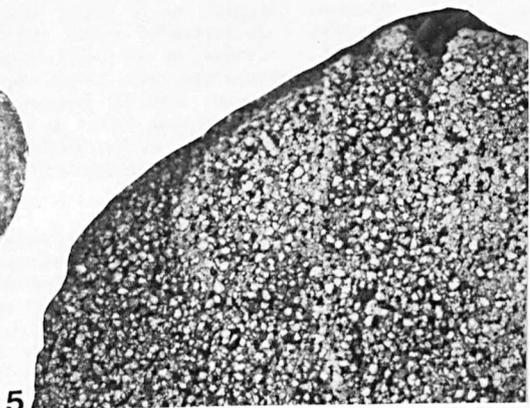
2



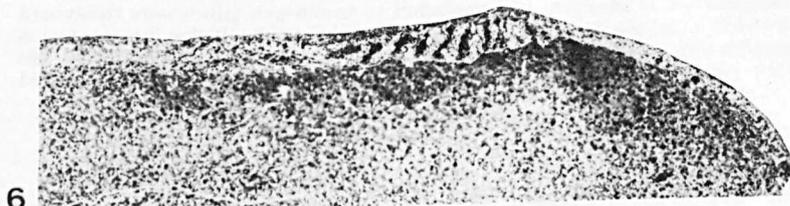
3



4



5



6



7



8



## Comparaison de biocoenoses du Permien supérieur des domaines mésogéen (en Méditerranée centrale et orientale) et téthysien. Intérêt paléogéographique

### Relationships between the Tethys and the Central and Eastern Mediterranean in the Upper Permian. Paleogeographic interest

par M. LYS (\*)

*Résumé.* — La présence en Méditerranée centrale et orientale, de microfaunes benthiques de Fusulinida (*Polydiexodina*, *Neoschwagerina*, *Afghanella*, *Yabeina*) et de formes à affinités pélagiques (*Paraglobivalvulina*, *Colaniella*, *Codonofusiella*, etc...), caractérisant respectivement différentes biozones du Permien, nous incite à rechercher les relations existant entre la Mésogée et le domaine Téthysien bien avant le Trias. De tels éléments majeurs de microfaune existent en effet depuis la Tunisie jusqu'en Grèce et en Turquie, rejoignant ainsi les régions plus orientales (Iran, Oman, Afghanistan, Pamir, Himalaya du Ladakh) ou extrême-orientales (Cambodge, Chine, Japon). Des considérations sur la présence de *Yabeina* en Tunisie d'une part, au Pamir et en Extrême-Orient d'autre part, l'hypothèse de migrations des *Polydiexodina*, *Afghanella*, *Paradagmarita* fournissent en outre des éléments paléobiogéographiques couvrant une région extrêmement vaste et durant une période relativement restreinte du Permien moyen-supérieur depuis le Murghabien moyen (biozone à *Neoschwagerina craticulifera*) jusqu'au *Djulfien* supérieur inclus (Dorashamien) (biozone à *Colaniella parva*).

*Abstract.* — *There exists already in the Upper Permian in the Central and Eastern Mediterranean both benthonic fusulinid microfaunas (Polydiexodina, Neoschwagerina, Afghanella, Yabeina) and forms with pelagic affinities (Paraglobivalvulina, Colaniella, Codonofusiella, etc...) which respectively characterize different biozones. Their presence has stimulated research for the possible relationships between the Mesogean and the Tethyan domains well before the Triassic. These major microfaunal elements are distributed between Tunisia and Greece, as well as in Turkey and thus are linked with the more oriental (Iran, Oman, Afghanistan, Pamir, Ladakh) or Far Eastern regions (Cambodia, China, Japan). In view of the occurrence of Yabeina in Tunisia as well as in Pamir and in the Far East, the hypothesis concerning migrations of Polydiexodina, Afghanella, Paradagmarita tend to confirm a widespread paleobiogeography covering a vast region during a relatively limited part of the Middle-Upper Permian i.e. from the Middle Murghabian (Neoschwagerina craticulifera biozone) until, and including, the Djulfian (Dorashamian, Colaniella parva biozone).*

#### I. — BIOSTRATIGRAPHIE

L'étude de la biostratigraphie de la Mésogée permienne en Méditerranée et au Moyen-Orient a déjà fait l'objet d'une publication. (Argyriadis et Lys, 1977).

Nous y présentons les principaux résultats des travaux micropaléontologiques que nous avons effectués en Grèce, Turquie, Iran, Oman, Afghanistan, s'ajoutant aux données publiées par de nombreux auteurs en diverses régions. Il semble nécessaire, à la lumière

(\*) Laboratoire de Géologie Historique, Centre d'Orsay de l'Université Paris-Sud, 91405 Orsay (France).

Note présentée le 6 Novembre 1985 et acceptée pour publication par le Conseil de la S.G.N. le 3 Décembre 1986.

d'études récentes effectuées en Tunisie, en Albanie, en Turquie, en Inde (Himalaya du Ladakh), de comparer entre elles les biocoenoses de microfaunes de quelques bassins avec celles des régions classiques du domaine Téthysien et d'apporter des éléments complémentaires à la connaissance de la paléogéographie du Permien supérieur de la Mésogée en Méditerranée centrale et orientale.

Les étages classiques utilisés dans la stratigraphie du Permien supérieur de la Téthys, les biozones (fig. 1) et leurs espèces critères (Fusulines et autres foraminifères - index), leur paléocologie (formes benthoniques et formes pouvant s'adapter à la vie pélagique), sont autant de points déjà abordés (Argyriadis et Lys, 1977); aussi prions-nous le lecteur de s'y reporter.

A) MEDITERRANEE CENTRALE ET ORIENTALE

1) Tunisie.

L'étude des sondages du Sud-Tunisien, Bir Soltane (Bs1) et Tebaga (Tb1), d'après les matériaux de la Société Serept, déjà publiée (Glantzböckel et Rabaté, 1964) et la publication de Skinner et Wilde (1967), reprise par nous en 1982 à la demande de la Société SNEA.P., nous a permis d'identifier :

a) le Murghabien moyen-supérieur (biozones à *Neoschwagerina craticulifera/margaritae*) sur une épaisseur de sédiments de 300 m environ (à Tb1) et de 600 m environ (à Bs1); on y trouve : *Codonofusiella nana*.

TRANSCAUCASIE PAMIR		T E T H Y S				J A P O N		
in Ruzenshev, 1965 Reitlinger, 1965 Laven, 1967		in Leven, 1981				in Ishii et al., 1975		
Système		ET AGES		B I O Z O N E S				
Séries				F U S U L I N I D A	AMMONOIDES	RRACHIOPODES		
						FORAMINIFERES		
PERMIEN SUPERIEUR	INDUAN	TRIAS	DORASHAMIEN (Changstngien?)	<i>Palaeofusulina</i>	8	( <i>Ophioeras</i> )	( <i>Clavata</i> )	
					7	( <i>Otooceras</i> )		
PERMIEN SUPERIEUR	DJULFIEN	SUPERIEUR	DJULFIEN	<i>Paradunbarula</i>	6	<i>Paratiroplites Kittli</i>		<i>Parafusulina</i>
						<i>Shevyrevites shevyrevi</i>		
					5	<i>Djulfites spinosus</i>		
PERMIEN SUPERIEUR	MURGHABIEN	MOYEN	MURGHABIEN	<i>Lepidolina</i>	4	<i>Iranites transcaucasicum</i>		<i>Palaeofus. parva</i>
						<i>Phisonites triangulus</i> (Comelicania)		
					3	<i>Vedicoeras ventroplanum</i> (Haydenella)		
PERMIEN SUPERIEUR	KUBERGANDIEN	INF	KUBERGANDIEN	<i>Yabeina</i>	2	( <i>Eoaxoceras</i> )	( <i>Araxilevia</i> )	<i>Pal. simplex</i>
						( <i>Cyclolobus-Timorites</i> )		
					1			
PERMIEN SUPERIEUR	ARTINSKIEN	MOYEN	BOLORIEN	<i>Carwellina C. outalensis</i>		( <i>Waagenoceras</i> )		<i>Neoschwagerina margaritae</i>
						( <i>Glaucoceras</i> )		
						<i>Armenina, Misellina ovalis</i>		
PERMIEN SUPERIEUR	SAKMARIEN	INF	SAKMARIEN	<i>Misellina</i> { <i>N. parvicostata</i> <i>N. dyhrenfurthi</i>		( <i>Perrinites</i> )		<i>Lepidolina Kumensis</i>
						( <i>Metaperrinites</i> )		
						<i>Chalareschwagerina Ch. vulgaris</i> <i>Ch. solita</i>		
PERMIEN SUPERIEUR	ASSELIEN	INF	ASSELIEN	<i>Robustoschwagerina</i> <i>Paraschwagerina</i>		( <i>Properrinites</i> )		<i>Lepidolina multiseptata</i>
						<i>Schwagerina</i> { <i>S. ophaerica</i> <i>S. moelleri</i> <i>S. vulgaris</i>		
CARBONIFERE SUP.	GZHELIEN			<i>Daixina sokensis</i>		<i>Eudisoceras</i>		M. LYS - 1984

Fig. 1. — Echelle stratigraphique des étages et biozones du Permien de la Téthys proposés par Leven, 1981, excepté les biozones indiquées ( ). Ont été reportées en outre des références particulières à la Transcaucasie, à l'Iran Central et au Pamir (Ruzenshev et al., 1965; Leven, 1967) et au Japon (Ishii et al., 1975).

Fig. 1. — Permian Tethys stage scale and biozonations proposed by Leven, 1981, except biozone with ( ). Particular references concerning Transcaucasia, Central Iran and Pamir (Ruzenshev and al., 1965; Leven, 1967) and Japan (Ishii and al., 1975) are reported.

*Dunbarula nana*, *Staffella tunetana*, *Verbeekina* (*V. verbeeki*, *V. pontica*), *Afghanella* (*A. africana*, *A. robbinsae*, *A. tumida*), *Sumatrina* cf. *longissima*, *Baisalina pulchra*, *Hemigordius reicheli*, *Abadehella coniformis*.

b) le Murghabien supérieur (biozone à *Neoschwagerina margaritae*) sur une épaisseur considérable de 178 m (à Bs1) et de 2 900 m (à Tb1) ! ; il est caractérisé par *N. cf. margaritae* et *Globivalvulina vonderschmitti* accompagnés de *Reichelina cribroseptata*, *Dunbarula matthieui*, *Codonofusiella* [*C. nana*, *C. paradoxica* (à pavillon)], *Yangchienia thompsoni*, *Verbeekina verbeeki*, *Polydiexodina* (*P. afghanensis*, *P. bithynica*), *Afghanella robbinsae*, *Sumatrina annae* et de nombreux non Fusulinida : *Baisalina pulchra*, *Dagmarita chanackchensis*, *Lasiotrochus* (*L. divergens*, *L. granifer*), *Lasiotrochus*. Il faut signaler en outre que cette biozone a été nettement identifiée dans les échantillons de surface (en affleurements) du Dj. Tebaga où l'on retrouve sensiblement le même milieu, mais où on note en plus : *Dunbarula nana*, *Neoschwagerina* (*N. tebagaensis*, *N. fusiformis*), *Hemigordiopsis renzi* et des algues : *Gymnocodium bellerophontis*.

c) le Pamirien inférieur (biozone à *Yabeina globosa*), présent uniquement en affleurement au Djebel Tebaga. C'est l'équivalent *pro parte* du Midian (Leven, 1981). Il est caractérisé par *Yabeina* (*Y. syrtalis* et *Y. punica*) très abondantes et *Dunbarula* (*D. nana* et *D. matthieui*).

*Yabeina syrtalis* serait à notre avis une forme de transition se situant, dans l'évolution du phylum des Neoschwagerinidae, entre *Neoschwagerina margaritae* et *Yabeina globosa*, ce qui la placerait dans la partie inférieure de la biozone à *Y. globosa*, connue en Extrême-Orient.

d) les niveaux supérieurs du Pamirien et Djulfien *s. l.* n'ont pu être identifiés avec certitude en l'absence de microfaunes caractéristiques (faciès défavorables très littoraux) sauf peut-être dans un autre sondage (BMT1) où la présence possible de *Paradagmarita* prouverait l'existence d'un Djulfien sommital (Dorashamien), dernier niveau marin avant la base du Trias.

## 2) Sicile.

Notre étude précédente (Argyriadis et Lys, 1977), basée sur celle de Skinner (Skinner et Wilde, 1966) et nos analyses, d'après les matériaux Argyriadis, font mention de formes très classiques *Neoschwagerina*, *Verbeekina*, *Dunbarula*, etc., des biozones à *Neoschwagerina* (*N. craticulifera*, *N. margaritae*), reliant ainsi les blocs de Sosio aux biofaciès connus en Tunisie.

## 3) Albanie.

En fonction des résultats de Bignot et Neumann (Bignot *et al.*, 1982), des Fusulinida (*Neoschwagerina*, *Verbeekina*, *Sumatrina*, *Codonofusiella*) nous apportent

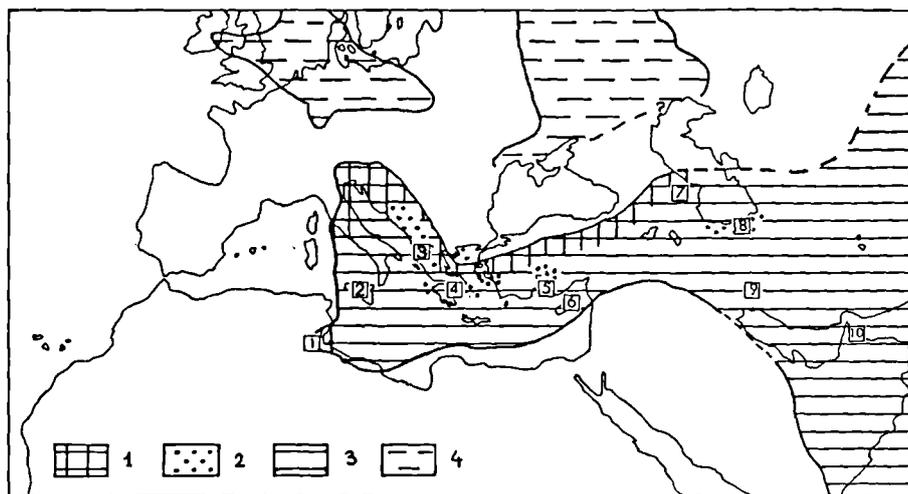


Fig. 2. — Localisation des affleurements du Permien supérieur cités ; ils s'insèrent dans le contexte du schéma de la Mésogée permienne d'après Argyriadis (1978) (in Argyriadis *et al.*, Mém. B.R.G.M., 115, 1980, fig. 2, p. 201).

1, Tunisie. — 2, Sicile (Sosio). — 3, Albanie-Montenegro. — 4, Grèce (Attique, Péloponnèse). — 5, Turquie (Sud-Anatolie). — 6, Chypre. — 7, U.R.S.S. (Caucasie, Transcaucasie). — 8, Iran (Elbourz). — 9, Iran (Zagros). — 10, Oman.

Fig. 2. — Localisation of the mentioned upper Permian outcrops ; they are included in the scheme of the upper Permian Mesogean sea, according to Argyriadis (1978) (in Argyriadis *et al.*, Mem. B.R.G.M., 115, 1980, p. 201).

déjà l'indication de la biozone à *Neoschwagerina* et au-dessus, avec *Yabeina*, celle de la biozone à *Yabeina globosa*, ce qui permet la comparaison avec la Tunisie et le Montenegro. Cependant, fait nouveau en Albanie, la présence de *Paraglobivalvulina mira*, de *Colaniella* cf. *minima* et *Paradoxiella skinneri* et, en outre, celle de *Lasiotrochus tatoiensis* confirment bien l'existence en Albanie, comme au Montenegro, de la biozone à *Colaniella* du Djulfien preuve de l'extension occidentale de la Téthys au Permien supérieur, plus tardive peut-être encore qu'en Tunisie où le Djulfien n'a pu être prouvé aussi formellement.

#### 4) Yougoslavie.

Notre étude, basée sur la bibliographie (*in* Argyriadis et Lys, 1977), mentionne les divers Fusulinida caractérisant les biozones à *Neoschwagerina*, la biozone à *Yabeina* et le Djulfien de Serbie et du Montenegro.

#### 5) Grèce et Chypre.

Faisant suite à de remarquables travaux (Renz et Reichel, 1945 ; Reichel, 1945), nous avons pu reconnaître dans les matériaux de différentes thèses la plupart des divers étages déjà mentionnés (Argyriadis et Lys, 1977) avec les biozones suivantes :

a) biozone à *Neoschwagerina craticulifera* en Attique ; plus à l'Est, à Chypre particulièrement, avec *N. craticulifera*, *Verbeekina verbeeki*, *Sumatrina annae*, *Lasiotrochus granifer*, *Hemigordiopsis renzi*, etc... ;

b) biozone à *Neoschwagerina margaritae* en Eubée, en Othrys, à Hydra, avec *N. margaritae*, *Codonofusiella* (*C. nana*, *C. paradoxica*), *Reichelina minuta*, *Dunbarula matthieui*, *Globivalvulina vonderschmitti* ; elle existe aussi en Crète (unité de Vatos) (Bonneau et Lys, 1978) ;

c) biozone à *Yabeina globosa*, avec *Yabeina* (?) possible en Eubée ;

d) Djulfien, en Eubée, en Péloponnèse avec *Paraglobivalvulina mira*, *Codonofusiella erki* et plus spécialement le Djulfien supérieur (Dorashamien) (biozone à *Colaniella parva*) en Attique et à Salamine avec les espèces critères *Colaniella parva* et *Palaeofusulina prisca* associées à *Reichelina minuta*, *Codonofusiella nana*, *Hemigordius reicheli*, *Hemigordiopsis renzi*, *Lasiotrochus granifer*, *Lasiotrochus tatoiensis*, *Dagmarita chanakchensis*, *Abadehella coniformis*, etc..., prouvant ainsi à ce niveau l'existence d'une mer largement ouverte aux influences pélagiques et ses relations avec la Téthys classique située plus à l'Est. Cette même biozone se retrouvera en Eubée, à Hydra et à Chypre avec *Colaniella parva*, *Palaeofusulina* (*P. prisca*, *P. cf. nana*).

#### 6) Turquie.

En Anatolie méridionale, les coupes de la région d'Antalya (Kemer, Pamuçak), déjà décrites (Argyriadis et Lys, 1977) ; Lys et Marcoux, 1978), nous montrent

l'installation, à partir du Murghabien moyen, d'un régime calcaire dont l'épaisseur atteindra 300-400 m et qui favorisera la prolifération de foraminifères caractérisant successivement :

a) biozone à *Neoschwagerina craticulifera* avec de nombreuses *Polydiexodina* (*P. bithynica*, *P. afghanensis*) associées à *Yangchienia tobleri*, *Verbeekina verbeeki*, *Hemigordius reicheli*, *Hemigordiopsis renzi*, *Dagmarita chanakchensis*, etc... ;

b) biozone à *Neoschwagerina margaritae* avec *N. margaritae*, *Afghanella schencki*, *Sumatrina annae*, *Verbeekina verbeeki*, *Codonofusiella paradoxica*, *Kahlerina pachytheca*, *Globivalvulina vonderschmitti*, etc... ;

c) Djulfien à *Paraglobivalvulina mira*, *Fronidina permica*, *Staffella zisongzhengensis* ;

d) Djulfien supérieur (Dorashamien), équivalent de la biozone à *Colaniella parva*, avec *Paradagmarita monodi*, *Paraglobivalvulina mira*, *Pseudotristix solida*, *Pachyphloia iranica*, *Hemigordius reicheli sigmoidalis*, *Hemigordius evolutus*, *Baisalina pulchra* et des Fusulinida associés : *Reichelina cribrosepta*, *Codonofusiella paradoxica*, *Palaeofusulina* cf. *laxa*, *Sphaerulina* (*S. crassispira*, *S. ogbinensis*). Le passage du Permien au Trias s'effectue au sein même d'un faciès oolithique qui comprend cette dernière biozone du Permien supérieur.

Dans la région d'Alanya nous retrouverons, à la nappé de Hadim, la même succession du Murghabien et du Djulfien inférieur et supérieur avec sensiblement les mêmes foraminifères (*Afghanella*, *Sumatrina*, *Verbeekina*, etc.) sans la présence, toutefois, des *Neoschwagerina* et des *Polydiexodina*. Il en sera de même à Bademli (Monod, 1977) et aux gorges de Balat, dont proviennent les *Paradagmarita* (Lys et Marcoux, 1978), considérées comme critères de la biozone à *Colaniella parva* et *Palaeofusulina* du Djulfien supérieur (Dorashamien).

En Anatolie orientale, la coupe d'Hazro (Lys, *in* Fontaine *et al.*, 1980) nous fournit, elle aussi, des éléments du Murghabien, mais surtout le Djulfien inférieur à *Paraglobivalvulina mira* et le Djulfien supérieur (Dorashamien) à *Paradagmarita monodi* et *Colaniella* dont la coexistence dans un même niveau valorise le critère *Paradagmarita* connu depuis l'Anatolie jusqu'au Sud-Zagros, Iran méridional.

En Anatolie occidentale, les régions de Bursa et de Bergame fournissent des éléments du Murghabien ; à Bursa (Lys, 1971) et à Bergame (Erk, 1942) existent des biocoenoses comprenant des *Neoschwagerina*, *Afghanella*, *Sumatrina*, *Yangchienia*, *Parafusulina* et surtout des *Polydiexodina* (*P. diskayaensis*, *P. bithynica*) remarquables, dans ces formations des biozones à *Neoschwagerina*.

Mentionnons enfin la région d'Ankara où Skinner (1969) recense *Neoschwagerina*, *Yangchienia*, *Dunbarula*, etc... se rapportant, à notre avis, au Murghabien

supérieur et *Yabeina opima* au Pamirien inférieur ; cet ensemble rappelle assez bien la région de Tebaga (Tunisie).

## B) REGIONS PLUS ORIENTALES

### 1) U.R.S.S. (Crimée, Caucase, Transcaucasie, Pamir).

La présence en Crimée de *Neoschwagerina*, *Polydiexodina*, prouve l'existence de Murghabien supérieur, celle de *Yabeina*, le Pamirien inférieur. Miklukho-Maklay décrit également en 1964 le Permien supérieur du Caucase avec une microfaune très riche à *Codonofusiella*, *Palaeofusulina*, *Reichelina*, *Colaniella*, qui appartiennent sans conteste à la biozone à *Colaniella parva* - *Palaeofusulina* du Djulfien supérieur (Dorashamien). Il y a donc dans ces régions (les plus septentrionales ?) existence de dépôts marins, parfois récifaux, du Permien supérieur, avec microfaunes classiques à Fusulinida et autres, en bordure Nord du domaine Téthysien. Miklukho-Maklay considère ces séries de Nikitin et d'Urushten comme dépôts de mer ouverte, parfois relativement profonds et à microfaune planctonique, tels les *Lasiodiscus*, *Reichelina*, *Codonofusiella*.

En Transcaucasie, la région de Djulfa, classiquement connue en raison du passage continu en régime marin du Permien au Trias, renferme des niveaux très riches en Fusulinida (*Eopolydiexodina*, *Polydiexodina*, *Verbeekina*, *Sumatrina*, *Chusenella*, *Codonofusiella*, *Reichelina*, *Leella*, *Nankinella*, *Sphaerulina*) et en petits foraminifères typiques (*Paraglobivalvulina*, *Dagmarita*, *Baisalina*, *Pseudotristix*, *Neoendothyra*) trouvés dans la région de Djulfa et Dorasham depuis le Murghabien (Gnishikh) jusqu'au Pamirien (Arianian), ce dernier subdivisé en Midian-Djulfien-Dorashamien. Nous ne pouvons exposer ici en détail ces subdivisions proposées par Leven (1981) auquel nous reportons le lecteur pour l'étude du Permien de la Téthys ; qu'il nous suffise de signaler que l'étude des petits foraminifères de Transcaucasie (Reitlinger, 1965) nous a permis de caractériser, en de nombreuses régions, les niveaux du sommet du Permien supérieur.

Au Pamir, l'ensemble des formations marines quasi continues depuis l'Assélien jusqu'au Pamirien a été très bien analysé par Leven (1967). Il a pu établir une biostratigraphie basée sur l'évolution des Fusulinida et notamment des *Neoschwagerinidae*. Ces biozones devenues classiques sont utilisées à l'échelle mondiale et surtout pour l'étude du Permien moyen et supérieur du domaine Téthysien. Les biocoenoses du Murghabien, outre les *Neoschwagerina*,

Murghabien supérieur - biozone à *N. margaritae*

Murghabien moyen - biozone à *N. craticulifera*

Murghabien inférieur - biozone à *N. simplex*

comprennent les genres classiques tels que *Afghanella*, *Sumatrina*, *Verbeekina*, *Yangchienia*, *Parafusulina*, *Polydiexodina*, *Codonofusiella*.

Le Pamirien inférieur (Midian, équivalent de la biozone à *Yabeina-Lepidolina*) comprend à la base *Yabeina* et *Chusenella* ; le Pamirien supérieur comprend *Reichelina*, *Codonofusiella* dans un Djulfien.

### 2) Afghanistan.

Il nous semble inutile de reprendre la description du Permien marin d'Afghanistan, l'énumération des biozones et de leurs biocoenoses respectives. L'essentiel en a été décrit dans nos publications, et notamment en 1971 (Lys et de Lapparent) et en 1977 (Lys). Nous nous bornerons à reprendre ici quelques données publiées en 1977 (Argyriadis et Lys) :

« Le Permien se présente en Afghanistan avec une sédimentation marine très puissante (plusieurs milliers de mètres) en faciès de bordure subsidente de plate-forme, permettant ainsi la prolifération des microfaunes et particulièrement des Fusulinida à travers tout le Permien depuis l'Assélien moyen jusqu'au Djulfien supérieur, ce dernier en continuité avec le Trias (Scythien)... ».

« La puissante série calcaire du Murghabien (2 000 - 2 500 m) où les trois biozones, bien caractérisées par les *Neoschwagerina*, auxquelles sont associés les autres foraminifères, Fusulinida ou non (*Parafusulina*, *Polydiexodina*, *Afghanella*, *Sumatrina*, *Verbeekina*, *Yangchienia*, *Codonofusiella*, *Globivalvulina*, *Neoendothyra*, *Baisalina*, *Dagmarita*, *Hemigordius*, *Hemigordiopsis*, etc...) marquent bien la parenté avec le Pamir ».

Le Pamirien (*sensu* Leven, 1967) n'a pu être caractérisé d'une manière certaine dans sa partie inférieure (biozone à *Yabeina*), alors qu'au Pamir, Leven recense *Y. opima* ; la partie supérieure (Djulfien) et surtout le Djulfien supérieur (biozone à *Colaniella parva*) (Dorashamien) (cf. Lys, 1980) existe nettement sur plusieurs centaines de mètres dans les coupes à l'Ouest de Tezak où nous avons pu déterminer *Paraglobivalvulina mira*, *Colaniella parva*, *Pseudotristix solida*, associées à *Reichelina minuta*, *Codonofusiella*, *Dagmarita chanakchensis*, *Baisalina pulchra*, *Robuloides gibbus*, *Globivalvulina vonderschmitti*, etc..., toutes formes connues en Transcaucasie, Chypre, Turquie.

« Le très grand nombre de genres et d'espèces de foraminifères au Permien supérieur, leur abondance, leur diversification, leur taille (surtout pour les *Polydiexodina* qui peuvent atteindre une longueur de 14 cm !) nous permettent de penser que l'Afghanistan central, dans le domaine Téthysien proprement dit, est une région privilégiée qui a pu parfois alimenter les autres bassins occidentaux (Tunisie, Yougoslavie, Turquie) ou asiatiques (Transcaucasie, Pamir) ».

### 3) Iran.

— *Elbourz*.

Nos études, plus particulièrement poussées dans l'Elbourz oriental (Lys *et al.*, 1978), montrent l'existence de :

a) Murghabien supérieur (biozone à *N. margaritae*) avec *N. margaritae*, *Verbeekina*, *Dunbarula matthieuvi*, *Codonofusiella*, *Globivalvulina vonderschmitti*, etc... ;

b) Djulfien inférieur à *Paraglobivalvulina mira*, etc... ;

c) Djulfien supérieur à *Colaniella*, *Reichelina*, *Codonofusiella*, *Pachyphloia iranica*, etc...

Bozorgnia (1973) a recensé dans l'Elbourz central un Djulfien inférieur à *P. mira* et Radiolaires et un Djulfien supérieur à *Colaniella parva*, *Codonofusiella*, etc...

— Iran central - Tabas (données inédites).

Transgressif sur l'Assélien moyen à *Schw. moelleri* et le Sakmarien inférieur à *Monodiexodina ferganica*, le Murghabien moyen-supérieur est présent avec *Codonofusiella nana*, etc... ; le Djulfien inférieur avec *Paraglobivalvulina mira*, etc... ; Le Djulfien supérieur avec *Pachyphloia iranica*, *Codonofusiella*, *Reichelina*, etc...

Dans la région d'Abadeh, nous avons pu observer dans les matériaux de Taraz (1974) :

a) le Murghabien moyen avec *Neoschwagerina craticulifera*, *Afghanella schencki*, *Sumatrina annae*, *Verbeekina pontica*, etc... ;

b) le Murghabien supérieur avec *Neoschwagerina kojensis*, *Afghanella sumatrinaeformis*, *Polydiexodina afghanensis*, *Abadehella coniformis* ;

c) le Djulfien (800 m d'épaisseur) avec un Djulfien inférieur à *P. mira*, *Reichelina*, etc... et un Djulfien supérieur à *Parareichelina reticulata*, *Codonofusiella* (*C. nana*, *C. lui*), *Pseudotristix solida*. Il n'y a pas de *Colaniella* !

— Zagros.

Région de Borudjerd (Ouest Zagros) (matériel Braud) ; on y observe une puissante série calcaire (1 000 - 1 200 m) avec un Djulfien supérieur à *Paraglobivalvulina mira*, *Pachyphloia iranica*, *Hemigordius reicheli*, *Hemigordius renzi*, *Reichelina minuta*, *Paradagmarita monodi*, etc...

Région Sud Zagros, Shuh-e-Kurmeh (matériaux Total-Dufaure) ; on y observe :

a) le Murghabien supérieur avec *Globivalvulina vonderschmitti*, *Hemigordius renzi*, etc... ;

b) le Djulfien inférieur avec *Codonofusiella nana*, *Staffella*, etc... ;

c) le Djulfien supérieur avec *Paraglobivalvulina mira*, *Paradagmarita monodi*, etc...

Dans tout le Zagros, au Murghabien et au Djulfien, on observe une sédimentation de plate-forme en mer ouverte.

#### 4) Oman.

D'après notre étude (Lys in Montenat *et al.*, 1976), au Dj. Akhdar existent :

a) le Murghabien moyen, le Murghabien supérieur avec *Globivalvulina vonderschmitti*, etc... ;

b) le Djulfien supérieur avec *Paraglobivalvulina mira*, *Paradagmarita*, *Pseudotristix solida*, *Hemigordius reicheli* et un biofaciès caractéristique à *Shanita amosi*

(Bronn. *et al.*), connu également en Birmanie et en Turquie.

Dans le parautochtone de la Muti formation (Glennie *et al.*, 1974), « l'Oman exotique » renferme, selon nos observations personnelles, un très beau Djulfien supérieur (Dorashamien) (biozone à *Colaniella*) de faciès pélagique avec *Colaniella*, *Reichelina*, *Parareichelina*, reposant sur des pillow-lavas. Il s'agit là de dépôts en domaine Téthysien dans une des extrémités orientales du bloc africain.

#### 5) Himalaya du Ladakh (Inde).

Le bloc exotique de Lamayuru a fait l'objet d'une publication (Lys, Colchen *et al.*, 1980) valorisant la très belle microfaune de la biozone à *Colaniella parva* du Djulfien tout à fait supérieur (Dorashamien). Si nous y consacrons à nouveau un paragraphe, c'est dans le but de mettre en évidence les constituants de cette biocoenose particulièrement bien datée stratigraphiquement par les *Colaniella*, *Palaeofusulina*. Nous y trouvons un très grand nombre de genres et espèces déjà signalées dans les régions que nous venons de mentionner. Parmi les Fusulinida, *Reichelina*, *Parareichelina*, *Codonofusiella*, *Palaeofusulina*, *Nankinella*, *Staffella* ainsi que *Paradoxiella* qui constitue ici une exception et parmi les non Fusulinida, *Neoendothyra*, *Bradyina*, de nombreuses *Colaniella*, *Hemigordius*, *Baisalina*, *Dagmarita*, *Globivalvulina*, *Paraglobivalvulina* de grande taille, tout un cortège de Nodosariidae décrites en Turquie (*Langella*, *Pseudolangella*, *Ichtyolaria*, *Pachyphloia*, *Protonodosaria*, *Fronidina*, etc...) ainsi que *Lasiodiscus*, *Robuloides*, *Abadehella*, *Stipulina*, au total 30 genres et plus de 50 espèces s'y rapportant.

« Ce bloc calcaire, associé à des serpentines et pillow-lavas, constitue un témoin d'un domaine paléogéographique épicontinental de mer ouverte situé, soit en bordure de la plate-forme péri-indienne ou encore péri-gondwane, soit plus vraisemblablement en position de plate-forme intermédiaire entre le bassin des flyschs de Lamayuru et le domaine océanique téthysien » (p. 78 et fig. 3 in Lys, Colchen *et al.*, 1980). Ces considérations structurales paléobiogéographiques et micro-paléontologiques montrent bien les relations de cette région essentiellement téthysienne avec les régions plus ou moins lointaines, soit vers l'Ouest, soit vers l'Est Indo-Pacifique.

## II. — COMPARAISONS ENTRE LES BIOCOENOSSES

Nous avons vu jusqu'à présent les différentes régions dans un contexte biostratigraphique ; nous voudrions insister maintenant sur les comparaisons des biocoenoses respectives. En prenant pour exemples deux régions très éloignées l'une de l'autre, telles que le Sud-Tunisie et l'Afghanistan, qui représentent deux extrémités du domaine téthysien, nous relevons les ensembles suivants :

1° *Neoschwagerina* avec les espèces classiques *N. craticulifera*, *N. margaritae*, à côté desquelles peuvent coexister des espèces régionalement valables ; *Afghanella*, *Sumatrina*, *Verbeekina*, *Yangchienia*, *Parafusulina*, *Polydiexodina* surtout représentée par *P. afghanensis* de grande taille.

2° Toutes ces grandes formes benthiques de plate-forme littorale, parfois périrécifales, caractérisent le Murghabien moyen et supérieur en Tunisie comme en Afghanistan. Il en est de même pour les petites formes telles que : *Neoendothyra*, *Hemigordius*, *Hemigordiopsis*, *Baisalina*, *Dagmarita*, *Globivalvulina*, *Abadehella*, etc... et les nombreux *Nodosariidae*.

3° A un niveau plus récent, la biozone à *Yabeina* nous fournit un exemple de comparaison entre Tunisie, Pamir et Extrême-Orient. Très abondante en effet en Tunisie, *Yabeina* se retrouvera en Albanie, Yougoslavie d'une part et au Pamir, en Thaïlande, Cambodge, Chine, Japon, d'autre part.

4° Au Djulfien inférieur, *Paraglobivalvulina* se trouvera aussi bien en Grèce, en Turquie, qu'en Transcaucasie, en Iran (Elbourz, Abadeh, Sud Zagros).

5° Au Djulfien supérieur (Dorashamien), la biozone à *Colaniella* fournira des points de comparaison extrêmement précieux tant pour les formes littorales que pour les formes à tendance pélagique. En effet :

— *Palaeofusulina*, strictement confinée au Permien tout à fait supérieur (biozone à *Colaniella parva* - *Paleofusulina* (fig. 1), existe en de très nombreux points en Grèce (Attique, Salamine, Hydra), à Chypre, en Yougoslavie, en Turquie (Pamuçak), au Caucase, au Ladakh, en Indo-Chine, en Chine, au Japon.

— *Colaniella* avec quelques espèces (dont *C. parva*, signalée pour la première fois à Chypre par Reichel), existe en bien d'autres endroits : en Grèce (Eubée, Hydra, Salamine), en Albanie ; on la retrouve au Caucase, en Turquie (Hazro), en Iran, en Oman, en Afghanistan, au Pakistan, au Ladakh, à Timor, en Chine, au Japon. Ce genre remarquable nous fournit la preuve que des communications existaient bien entre des régions téthysiennes à faciès de mer ouverte (type "Oman exotics", Ladakh) et des régions où la mer du Permien terminal persistait.

— Citons également : *Paradagmarita* (ce genre est connu depuis l'Anatolie jusqu'au Sud Zagros, sur le bord Nord de la plaque africaine) et un genre très particulier de Schubertellidae, *Paradoxiella*, venu de l'Ouest Texas et du Japon ; remarquablement évolué au Ladakh, *P. skinneri*, il est peut-être présent en Albanie. C'est là un bel exemple de l'interconnexion dans la Téthys au Permien terminal par voie exclusivement orientale.

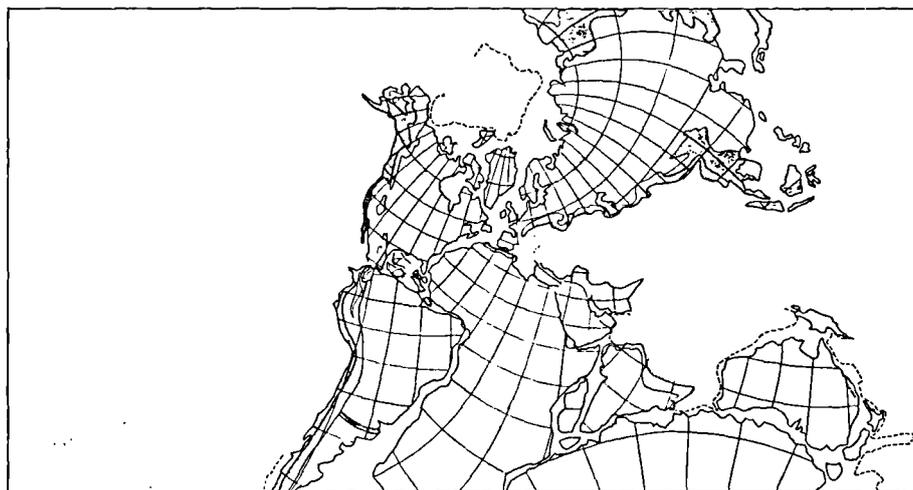


Fig. 3. — Reconstitutions paléogéographiques (cartes en projection Mercator) établies d'après des données paléomagnétiques (d'après Smith, Briden et Drewry). Permien (environ  $250 \pm 25$  Ma). Les latitudes ont pu être estimées mais les séparations longitudinales relatives restent, par contre, inconnues [in Pomerol et Babin, 1977, p. 93, Doin éd. (modifié)].

Fig. 3. — Paleogeographical reconstitutions (maps in Mercator system) established after paleomagnetic data (after Smith, Briden and Drewry). Permian system (ca  $250 \pm 25$  Ma). Latitudes have been approached, but relative longitudinal partitions however remain unknown [in Pomerol and Babin, 1977, p. 93, Doin ed. (modified)].

## CONCLUSIONS

En ce qui concerne les régions centrale et orientale de la Méditerranée, nous pouvons reprendre nos propos antérieurs (Argyriadis et Lys, 1977) :

1° Interruption de sédimentation à caractère franchement marin entre un Assélien typique (à *Pseudoschwagerina-Schwagerina*) et un Murghabien moyen ou supérieur (à *Neoschwagerina*) à sédimentation calcaire épicontinentale de type plate-forme.

2° Transgression généralisée au Murghabien moyen (biozone à *Neoschwagerina craticulifera*) ou supérieur (biozone à *Neoschwagerina margaritae*) permettant l'implantation de faciès calcaires et la prolifération de Fusulinida (*Neoschwagerina*, *Afghanella*, *Sumatrina*, *Codonofusiella*, *Polydiexodina*, etc...) et de nombreux petits foraminifères (*Dagmarita*, *Baisalina*, *Hemigordius*, *Hemigordiopsis*, *Pachyphloia*, *Froncina*, etc...).

3° Persistance de faciès marins au Djulfien et en certaines régions jusqu'au sommet (Dorashamien), permettant à des *Paraglobivalvulina*, *Colaniella*, *Palaeofusulina*, *Paradagmarita* et bien d'autres de participer à la composition de biocoenoses, nous fournissant les critères indiscutables de datation précise.

4° L'ensemble de ces populations de Fusulinida et petits foraminifères évoqués à propos du Permien supérieur peut provenir de migrations à partir de bassins plus orientaux et notamment des régions de bordure du domaine téthysien.

Il semble bien que la mer ait effectué au Pamirien un retrait dans l'Ouest de la Mésogée laissant proliférer les *Yabeina* en Tunisie, puis s'effaçant peu après en direction de l'Est, mais nous laissant jusqu'à l'aube du Trias des témoins marins de ces échanges dans des régions privilégiées, comme l'Albanie, l'Attique, l'Anatolie méridionale et orientale, Chypre, sans oublier des régions comme le Caucase, la Transcaucasie.

## BIBLIOGRAPHIE

- 1) ARGYRIADIS I. (1975). — Mésogée permienne, chaîne hercynienne et cassure téthysienne. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (7), XVII, p. 56-67.
- 2) ARGYRIADIS I., de GRACIANSKY P.C., MARCOUX J., RICOU L.E. (1980). — The opening of the Mesozoic Tethys between Eurasia and Arabia-Africa. In *Géologie des chaînes alpines issues de la Téthys. Mém. B.R.G.M.*, n° 115, p. 199-214.
- 3) ARGYRIADIS I. et LYS M. (1977). — La dynamique de la lithosphère au Permien supérieur et ses relations avec la biostratigraphie en Méditerranée et au Moyen-Orient. 6<sup>me</sup> Colloque Géol. Régions Egéennes, Athènes 1977, *Proc. vol. III, Inst. Geol. Athènes, Grèce*, p. 1217-1241, 3 fig. (paru en 1978).
- 4) BIGNOT G., KODRA A., NEUMANN M. et PIRDENI A. (1982). — Le Permien supérieur des Alpes Albanaises. *C.R. Ac. Sc. Paris*, t. 295, sér. III, p. 883-886, 1 fig.
- 5) BONNEAU M. et LYS M. (1978). — Sur la présence de Permien fossilifère dans l'unité de Vatos (Crète) ; sa nature interne et l'ampleur des charriages dans l'arc égéen. *C.R. Ac. Sc.*, Paris, t. 287, sér. D, p. 423-426, 1 fig.
- 6) BOZORGNIA F. (1973). — Paleozoic foraminiferal biostratigraphy of Central and East Alborz mountains, Iran. *Nat. Iranian Oil Cy, Geol. Lab.*, publ. n° 4, Teheran.
- 7) BUSSON G. et BUROLLET P.F. (1973). — La limite Permien-Trias sur la plate-forme saharienne (Algérie, Tunisie, Libye) in the Permian and Triassic systems and their mutual boundary. *Canadian Soc. Petr. Geol.*, mém. 2, 1973, p. 74-88, 3 fig.
- 8) FONTAINE J.M., BRUNTON C.H., LYS M., RAUSCHER R. et BALKAS O. (1980). — Données nouvelles sur la stratigraphie des formations paléozoïques de la plate-forme arabe dans la région d'Hazro (Turquie). *C.R. Ac. Sc. Paris*, t. 291, sér. D, p. 917-920, 1 fig.
- 9) GLENNIE K.M., BŒUF M.G.A., HUGHES CLARK M.W., MOODY STUART M., PILAAR W. et REINHARDT B.M. (1974). — Geology of the Oman Mountains. Part. I, II, III. *Verh. Kon. Nederlands Geol. Mijn. Gen. Trans. Geol. ser.*, vol. 31, 423 p.
- 10) GLINTZBOECKEL Ch. et RABATE J. (1964). — Microfaune et microfaciès du Permo-Carbonifère du Sud tunisien (International Sedimentary Petrographical Series, v. 7) Leiden, E.J. Brill, 36 p.
- 11) ISHII K., OKIMURA Y. et NAKAZAWA K. (1975). — On the genus *Colaniella* and its biostratigraphic significance. *Journ. Geosc. Osaka city Univ.*, vol. 19, art. 6, p. 107-138, Pl. 1-4.
- 12) LEVEN E. Ya. (1967). — Stratigraphy and Fusulinids of the Pamir Permian deposits *Trans. Ac. Sc. U.R.S.S., Geol. Inst.*, 167, p. 1-224, Pl. I-XXXIX. Moscou.
- 13) LEVEN E. Ya. (1975). — A stage scale for the Permian deposits of Tethys (Trad. en anglais : *Intern. Geol. Rev.*, vol. 18, 7, p. 807-819). *Moscow Obs. Isp. Pr. Bull.*, ser. Geol. vol. 50/1, p. 5-21 (en russe).
- 14) LEVEN E. Ya. (1981). — Permian-Tethys stage scale and correlation of sections of the Mediterranean-Alpine folded belt. I.G.C.P. n° 5, *Newsletter*, vol. 3, p. 100-112, 1 tabl.
- 15) LYS M. (1971). — Les calcaires à Fusulines des environs de Bergama (Turquie) : Zeytindag et Kinik. *Notes et Mém. Moyen-Orient*, t. XII, p. 167-171, 1 fig., 1 tabl., Pl. XXIII.

- 16) LYS M. (1977). — Biostratigraphie du Carbonifère et du Permien d'Afghanistan (Micropaléontologie). *Mém. Soc. Géol. Fr.*, mém. h.-s. n° 8, p. 291-308.
- 17) LYS M. (1983). — Foraminifères benthiques (non Fusulinida), critères mineurs de biozones dans la biostratigraphie du Carbonifère et du Permien. Benthos' 83 - 2<sup>me</sup> Symposium Intern. Foram. benthiques, Pau, 1983. Ed. Elf-Aquitaine, Pau, 1984, p. 393-400, 4 tabl.
- 18) LYS M., avec la collaboration de COLCHEN M., BASSOULLET J.P., MARCOUX J. et MASCLE G. (1980). — La biozone à *Colaniella parva* du Permien supérieur et sa microfaune dans le bloc calcaire exotique de Lamayuru (Himalaya du Ladakh). *Rev. Microp.*, vol. 23, n° 2, 1980, p. 76-108. 3 fig., 2 tabl., 7 pl.
- 19) LYS M. et de LAPPARENT A.F. (1971). — Foraminifères et microfaciès du Permien d'Afghanistan central. *Notes et Mém. Moyen-Orient* (Mus. nat. Hist. nat. Paris), XII, p. 49-166, Pl. XII-XXII.
- 20) LYS M. et MARCOUX (1978). — Les niveaux du Permien supérieur des nappes d'Antalya (Taurides occidentales, Turquie). *C.R. Ac. Sc.*, Paris, t. 286, sér. D, p. 1417-1420, 1 pl.
- 21) LYS M., STAMPFLI G. et JENNY J. (1978). — Biostratigraphie du Carbonifère et du Permien de l'Elbourz oriental (Iran du N-E). *Notes Lab. Paléont. Univ. Genève*, n° 10 (Mém. Brönnimann), p. 63-78. 5 tabl., 8 pl.
- 22) MIKLUKHO-MAKLAY K.V. (1964). — Foraminifères du Permien supérieur du Caucase septentrional. *Moscou V. Nauk. Issl. Geol. Inst. VSEGEI* Minist. Geol. I Okhr. Ned.
- 23) MONOD O. (1977). — Recherches géologiques dans le Taurus occidental au S de Beysehir (Turquie). Thèse Dr Sc., Orsay, Univ. Paris-Sud.
- 24) MONTENAT C., de LAPPARENT A.F., LYS M., TERMIER H. et G. et VACHARD D. (1976). — La transgression permienne et son substratum dans le Jebel Akhdar (Montagnes d'Oman. Péninsule Arabique). *Ann. Soc. géol. Nord*, t. XCVI, p. 239-258.
- 25) REICHEL M. (1945). — Sur quelques foraminifères nouveaux du Permien méditerranéen. *Ecl. Géol. Helv.*, vol. 38-2, p. 524-560.
- 26) REITLINGER E.A. (1965). — Développement des Foraminifères au Permien terminal et au Trias ancien sur le territoire de Transcaucasie. *Vopr. Microp. Acad. Sci. URSS, Inst. Geol.*, vol. 9, p. 45-70.
- 27) RENZ C. et REICHEL M. (1945). — Beiträge zur Stratigraphie und Paläontologie der Ostmediterranen Jungpaläozoikums und dessen Einordnung im griechischen Gebirgssystem. *Eclog. geol. Helv.*, 33, p. 211-313.
- 28) RUZHENTSEV V.E. et SARYTCHEVA T.G. (1965). — Développement et succession des microorganismes à la limite du Paléozoïque et du Mésozoïque. *Trav. Inst. Géol. Acad. Sc. U.R.S.S.*, éd. Nauka, t. 108, p. 1-432 [trad. du russe : Brown D.A., publ. 117 (1968), 119 (1969). *Geol. Dpt. Australia, Nat. Univ. Canberra*].
- 29) SKINNER J.W. et WILDE G.L. (1966). — Permian Fusulinids from Sicily. *Univ. Kansas Pal. Contr.*, paper 8, 16 p., 20 pl.
- 30) SKINNER J.W. et WILDE G.L. (1967). — Permian foraminifera from Tunisia. *Univ. Kansas Pal. Contr.*, paper 30, 22 p., 32 pl.
- 31) SKINNER J.W. (1969). — Permian foraminifera from Turkey. *Univ. Kansas Pal. Contr.*, paper 36, 14 p., 32 pl.
- 32) TARAZ H. (1974). — Geology of the Surmaq - Deh Bid area, Abadeh region, Central Iran. *Geol. Surv. Iran*, rept. n° 37. 148 p.





---

TABLE DES MATIÈRES

Tome CV - 1985

---

**Activité de la Société**

- Assemblées générales : 6 février 1985, p. 3 ; 6 mars 1985, p. 4.  
Assemblées ordinaires : 9 janvier 1985, p. 3 ; 6 février 1985, p. 4 ; 6 mars 1985, p. 5 ; 5 juin 1985, p. 157 ;  
6 novembre 1985, p. 219 ; 11 décembre 1985, p. 220.  
Séance spéciale consacrée aux *Aspects de la Géologie de l'Ardenne*, organisée en hommage au Professeur  
A. Beugnies : 2-3 mai 1985 :  
Avant-propos, par J.M. Charlet, p. 61.  
Introduction, par R. Marlière, p. 63.  
Excursion sous la direction du Professeur A. Beugnies, p. 145.  
Liste des publications du Professeur A. Beugnies, p. 153.  
Elections pour le renouvellement du Conseil, p. 3, 4.  
Elections de nouveaux membres, p. 3, 4, 5, 157, 219, 220.

**Géologie appliquée - Hydrogéologie**

- R. MIGUEZ et J.P. HENRY. — Le discage : propositions de conventions pour une étude de la morphologie,  
p. 43.  
N. CRAMPON. — Détermination approchée des caractéristiques hydrodispersives en traçage par injection  
brève. Méthode des trois points, p. 243.

**Géologie stratigraphique et structurale**

- H. FOURRIER. — Reconnaissance des dépôts tertiaires et quaternaires des buttes de Oisy-le-Verger et du  
Bois du Quesnoy, p. 27.  
A. BOUROZ. — Coulissement dans le Paléozoïque du Boulonnais : la faille de Ferques, p. 37.  
F. BERGERAT, A. BOTHOREL et J. CHOROWICZ. — Evaluation du traitement en composantes prin-  
cipales des images MSS Landsat pour la cartographie géologique. Application à l'analyse structurale  
de la région ardéchoise (France), p. 47.  
M. VANGUESTAINE. — Progrès récents de la stratigraphie par Acritarches du Cambro-Ordovicien  
d'Ardenne; d'Irlande, d'Angleterre, du Pays de Galles et de Terre-Neuve orientale, p. 65.  
Ph. STEEMANS et J.M. GRAULICH. — Etude palynologique de la partie profonde du sondage de  
Porcheresse-Havelange (Province de Namur, Belgique), p. 77.

- M. STREEL. — Biostratigraphie par spores du Dévonien ardenno-rhénan, p. 85.
- J.F. RAOULT et F. MEILLIEZ. — Commentaires sur une coupe structurale de l'Ardenne selon le méridien de Dinant, p. 97.
- A. DELMER. — Relations tectoniques entre le gisement houiller du Nord et celui du Borinage, p. 111.
- F. AMEDRO. — Biostratigraphie des craies cénomaniennes du Boulonnais par les ammonites, p. 159.
- I.E. KEREY, G. KELLING and R.H. WAGNER. — An outline stratigraphy and palaeobotanical records from the middle Carboniferous rocks of northwestern Turkey, p. 203.
- P. MICONNET. — Stratigraphie et évolution anté-tectonique de la région de Lagonegro (Bassin lucanien, Italie méridionale), p. 221.
- C. DUPUIS et E. STEURBAUT. — Altérites, sables marins (NP8, NP9) et fluviatiles, silicification et Stromatolites dans le Paléocène supérieur entre Criel et le Cap d'Ailly (Haute-Normandie), p. 233.
- M. LYS. — Comparaison de biocoenoses du Permien supérieur des domaines mésogéen (en Méditerranée centrale et orientale) et téthysien. Intérêt paléogéographique, p. 259.

#### Magmatisme - Métamorphisme

- C. TRIBOULET et Y. BASSIAS. — Origine magmatique et géodynamique des métavolcanites associées aux Phyllades (Péloponnèse orientale, Grèce), p. 11.
- P. DE BETHUNE. — Esquisse historique des théories sur le métamorphisme en Ardenne, p. 115.
- Excursion du 3 mai 1985 sous la direction du Professeur Beugnies. Structure et métamorphisme de l'aire anticlinale de l'Ardenne, p. 145.

#### Minéralogie

- S. DE BETHUNE et A.M. FRANSOLET. — Genèse d'un filon de quartz à Ottré (massif de Stavelot, Belgique) par métasomatose de phyllades à chloritoïde, p. 121.

#### Paléomagnétisme

- E. HOGE. — Cinquante années de recherches géomagnétiques en Ardenne (1930-1980). Relations avec la géologie, p. 133.
- J.B. EDEL et M. COULON. — Mise en évidence de rotations tardihercyniennes à partir d'un profil paléomagnétique à travers l'Ardenne et le Brabant, p. 139.

#### Paléontologie

- M. VANGUESTAINE. — Progrès récents de la stratigraphie par Acritarches du Cambro-Ordovicien d'Ardenne, d'Irlande, d'Angleterre, du Pays de Galles et de Terre-Neuve orientale, p. 65.
- Ph. STEEMANS et J.M. GRAULICH. — Etude palynologique de la partie profonde du sondage de Porcheresse-Havelange (Province de Namur, Belgique), p. 77.
- M. STREEL. — Biostratigraphie par spores du Dévonien ardenno-rhénan, p. 85.
- F. AMEDRO. — Biostratigraphie des craies cénomaniennes du Boulonnais par les ammonites, p. 159.
- F. LAURENTIAUX-VIEIRA et D. LAURENTIAUX. — Paléodictyoptère nouveau du Namurien belge, p. 187.

- F. LAURENTIAUX-VIEIRA et D. LAURENTIAUX. — Présence du genre *Zdenekia* Kuk. (Protorthoptères Paoliides) dans le Westphalien inférieur de Belgique, p. 195.
- I.E. KEREY, G. KELLING and R.H. WAGNER. — An outline stratigraphy and palaeobotanical records from the middle Carboniferous rocks of northwestern Turkey, p. 203.
- Y. PLUSQUELLEC. — Révision de *Michelinia transitoria* Knod, 1908 (Tabulata, Dévonien de Bolivie), p. 249.
- C. BABIN. — *Pseudarca*, mollusque bivalve singulier de l'Ordovicien supérieur du Massif Armoricaïn, p. 253.

#### Sédimentologie

- Ph. CLABAUT et H. CHAMLEY. — Observations sédimentologiques sur le littoral de Wissant (Site des caps, Boulonnais), p. 169.
- Y. DESPEYROUX et H. CHAMLEY. — Distribution des sédiments récents dans l'estuaire de la Canche (Pas-de-Calais), p. 179.

#### Paléozoïque

- C. TRIBOULET et Y. BASSIAS. — Origine magmatique et géodynamique des métavolcanites associées aux Phyllades (Péloponnèse orientale, Grèce), p. 11.
- A. BOUROZ. — Coulissement dans le Paléozoïque du Boulonnais : la faille de Ferques, p. 37.
- M. VANGUESTAINE. — Progrès récents de la stratigraphie par Acritarches du Cambro-Ordovicien d'Ardenne, d'Irlande, d'Angleterre, du Pays de Galles et de Terre-Neuve orientale, p. 65.
- Ph. STEEMANS et J.M. GRAULICH. — Etude palynologique de la partie profonde du sondage de Pcrcheresse-Havelange (Province de Namur, Belgique), p. 77.
- M. STREEL. — Biostratigraphie par spores du Dévonien ardennes-rhénois, p. 85.
- J.F. RAOULT et F. MEILLIEZ. — Commentaires sur une coupe structurale de l'Ardenne selon le méridien de Dinant, p. 97.
- A. DELMER. — Relations tectoniques entre le gisement houiller du Nord et celui du Borinage, p. 111.
- P. DE BETHUNE. — Esquisse historique des théories sur le métamorphisme en Ardenne, p. 115.
- S. DE BETHUNE et A.M. FRANSOLET. — Genèse d'un filon de quartz à Otré (massif de Stavelot, Belgique) par métasomatose de phyllades à chloritoïde, p. 121.
- J.B. EDEL et M. COULON. — Mise en évidence de rotations tardihercyniennes à partir d'un profil paléomagnétique à travers l'Ardenne et le Brabant, p. 139.
- Excursion du 3 mai 1985 sous la direction du Professeur Beugnies. Structure et métamorphisme de l'aire anticlinale de l'Ardenne, p. 145.
- F. LAURENTIAUX-VIEIRA et D. LAURENTIAUX. — Paléodictyoptère nouveau du Namurien belge, p. 187.
- F. LAURENTIAUX-VIEIRA et D. LAURENTIAUX. — Présence du genre *Zdenekia* Kuk. (Protorthoptères Paoliides) dans le Westphalien inférieur de Belgique, p. 195.
- I.E. KEREY, G. KELLING and R.H. WAGNER. — An outline stratigraphy and palaeobotanical records from the middle Carboniferous rocks of northwestern Turkey, p. 203.
- M. LYS. — Comparaison de biocoenoses du Permien supérieur des domaines mésogéen (en Méditerranée centrale et orientale) et téthysien. Intérêt paléogéographique, p. 259.
- Y. PLUSQUELLEC. — Révision de *Michelinia transitoria* Knod, 1908 (Tabulata, Dévonien de Bolivie), p. 249.
- C. BABIN. — *Pseudarca*, mollusque bivalve singulier de l'Ordovicien supérieur du Massif Armoricaïn, p. 253.

**Mésozoïque**

- F. AMEDRO. — Biostratigraphie des craies cénomaniennes du Boulonnais par les ammonites, p. 159.
- P. MICONNET. — Stratigraphie et évolution anté-tectonique de la région de Lagonegro (Bassin lucanien, Italie méridionale), p. 221.

***Cénozoïque - Actuel***

- H. FOURRIER. — Reconnaissance des dépôts tertiaires et quaternaires des buttes de Oisy-le-Verger et du Bois du Quesnoy, p. 27.
- F. BERGERAT, A. BOTHOREL et J. CHOROWICZ. — Evaluation du traitement en composantes principales des images MSS Landsat pour la cartographie géologique. Application à l'analyse structurale de la région ardéchoise (France), p. 47.
- Ph. CLABAUT et H. CHAMLEY. — Observations sédimentologiques sur le littoral de Wissant (Site des caps, Boulonnais), p. 169.
- Y. DESPEYROUX et H. CHAMLEY. — Distribution des sédiments récents dans l'estuaire de la Canche (Pas-de-Calais), p. 179.
- C. DUPUIS et E. STEURBAUT. — Altérites, sables marins (NP8, NP9) et fluviatiles, silicification et Stromatolites dans le Paléocène supérieur entre Criel et le Cap d'Ailly (Haute-Normandie), p. 233.

—————«»—————

ANNALES DE LA SOCIETE GEOLOGIQUE DU NORD

---

TABLE DES PLANCHES

Tome CV - 1985

---

- Pl. I à IV. — La faille de Ferques, Paléozoïque du Boulonnais (note de A. BOUROZ, p. 42).
- Pl. V. — Image MSS Landsat de la région ardéchoise (note de F. BERGERAT *et al.*, p. 56).
- Pl. VI. — Métasomatose de phyllades à chloritoïde et genèse d'un filon de quartz à Ottré (Belgique) (note de S. DE BETHUNE *et al.*, p. 132).
- Pl. VII à XI. — Plantes du Carbonifère moyen du nord-ouest de la Turquie (note de I.E. KEREY *et al.*, p. 216).
- Pl. XII et XIII. — *Pseudarca* de l'Ordovicien supérieur du Massif Armoricaïn (note de C. BABIN, p. 258).

« »

---

TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS

Tome CV - 1985

---

- F. AMEDRO. — Biostratigraphie des craies cénomaniennes du Boulonnais par les ammonites, p. 159.
- C. BABIN. — *Pseudarca*, mollusque bivalve singulier de l'Ordovicien supérieur du Massif Armoricain, p. 253.
- Y. BASSIAS. — Voir C. TRIBOULET et Y. BASSIAS, p. 11.
- F. BERGERAT, A. BOTHOREL et J. CHOROWICZ. — Evaluation du traitement en composantes principales des images MSS Landsat pour la cartographie géologique. Application à l'analyse structurale de la région ardéchoise (France), p. 47.
- A. BOTHOREL. — Voir F. BERGERAT *et al.*, p. 47.
- A. BOUROZ. — Coulissement dans le Paléozoïque du Boulonnais : la faille de Ferques, p. 37.
- H. CHAMLEY. — Voir P. CLABAUT et H. CHAMLEY, p. 169.
- H. CHAMLEY. — Voir Y. DESPEYROUX et H. CHAMLEY, p. 179.
- J. CHOROWICZ. — Voir F. BERGERAT *et al.*, p. 47.
- Ph. CLABAUT et H. CHAMLEY. — Observations sédimentologiques sur le littoral de Wissant (Site des caps, Boulonnais), p. 169.
- M. COULON. — Voir J.B. EDEL et M. COULON, p. 139.
- N. CRAMPON. — Détermination approchée des caractéristiques hydrodispersives en traçage par injection brève. Méthode des trois points, p. 243.
- P. DE BETHUNE. — Esquisse historique des théories sur le métamorphisme en Ardenne, p. 115.
- S. DE BETHUNE et A.M. FRANSOLET. — Genèse d'un filon de quartz à Ottré (massif de Stavelot, Belgique) par métasomatose de phyllades à chloritoïde, p. 121.
- A. DELMER. — Relations tectoniques entre le gisement houiller du Nord et celui du Borinage, p. 111.
- Y. DESPEYROUX et H. CHAMLEY. — Distribution des sédiments récents dans l'estuaire de la Canche (Pas-de-Calais), p. 179.
- C. DUPUIS et E. STEURBAUT. — Altérites, sables marins (NP8, NP9) et fluviatiles, silicification et Stromatolites dans le Paléocène supérieur entre Criel et le Cap d'Ailly (Haute-Normandie), p. 233.
- J.B. EDEL et M. COULON. — Mise en évidence de rotations tardihercyniennes à partir d'un profil paléomagnétique à travers l'Ardenne et le Brabant, p. 139.
- H. FOURRIER. — Reconnaissance des dépôts tertiaires et quaternaires des buttes de Oisy-le-Verger et du Bois du Quesnoy, p. 27.
- A.M. FRANSOLET. — Voir S. DE BETHUNE et A.M. FRANSOLET, p. 121.

- J.M. GRAULICH. — Voir P. STEEMANS et J.M. GRAULICH, p. 77.
- J.P. HENRY. — Voir R. MIGUEZ et J.P. HENRY, p. 43.
- E. HOGE. — Cinquante années de recherches géomagnétiques en Ardenne (1930-1980). Relations avec la géologie, p. 133.
- G. KELLING. — Voir I.E. KEREY *et al.*, p. 203.
- I.E. KEREY, G. KELLING and R.H. WAGNER. — An outline stratigraphy and palaeobotanical records from the middle Carboniferous rocks of northwestern Turkey, p. 203.
- F. LAURENTIAUX-VIEIRA et D. LAURENTIAUX. — Paléodictyoptère nouveau du Namurien belge, p. 187.
- F. LAURENTIAUX-VIEIRA et D. LAURENTIAUX. — Présence du genre *Zdenekia* Kuk. (Protorthoptères Paoliides) dans le Westphalien inférieur de Belgique, p. 195.
- M. LYS. — Comparaison de biocoenoses du Permien supérieur des domaines mésogéen (en Méditerranée centrale et orientale) et téthysien. Intérêt paléogéographique, p. 259.
- F. MEILLIEZ. — Voir J.F. RAOULT et F. MEILLIEZ, p. 97.
- P. MICONNET. — Stratigraphie et évolution anté-tectonique de la région de Lagonegro (Bassin lucanien, Italie méridionale), p. 221.
- R. MIGUEZ et J.P. HENRY. — Le discage : propositions de conventions pour une étude de la morphologie, p. 43.
- Y. PLUSQUELLEC. — Révision de *Michelinia transitoria* Knod, 1908 (Tabulata, Dévonien de Bolivie), p. 249.
- J.F. RAOULT et F. MEILLIEZ. — Commentaires sur une coupe structurale de l'Ardenne selon le méridien de Dinant, p. 97.
- Ph. STEEMANS et J.M. GRAULICH. — Etude palynologique de la partie profonde du sondage de Porcheresse-Havelange (Province de Namur, Belgique), p. 77.
- E. STEURBAUT. — Voir C. DUPUIS et E. STEURBAUT, p. 233.
- M. STREEL. — Biostratigraphie par spores du Dévonien ardennes-rhénan, p. 85.
- C. TRIBOULET et Y. BASSIAS. — Origine magmatique et géodynamique des métavolcanites associées aux Phyllades (Péloponnèse orientale, Grèce), p. 11.
- M. VANGUESTAINE. — Progrès récents de la stratigraphie par Acritarches du Cambro-Ordovicien d'Ardenne, d'Irlande, d'Angleterre, du Pays de Galles et de Terre-Neuve orientale, p. 65.
- R.H. WAGNER. Voir I.E. KEREY *et al.*, p. 203.





Sont en vente au Siège de la Société :

#### MEMOIRES(\*)

<b>Tome I, n° 1.</b> — Ch. BARROIS, <i>Recherches sur le terrain créacé de l'Angleterre et de l'Irlande</i> , 1876, 232 p.	336,00 F
n° 2. — P. FRAZER, <i>Géologie de la partie Sud-Est de la Pensylvanie</i> , 1882, 178 p.	252,00 F
n° 3. — R. ZEILLER, <i>Mémoire sur la flore houillère des Asturies</i> , 1882, 24 p.	36,00 F
<b>Tome IV, n° 1.</b> — J. GOSSELET, <i>Etudes sur les variations du Spirifer Verneuilli</i> , 1894, 63 p., 7 pl.	90,00 F
<b>Tome VI, n° 1.</b> — P. BERTRAND, <i>Etude du stipe de l'Adelophyton jutierl</i> , B. Renault, 1907, 38 p., 4 pl.	85,00 F
n° 2. — J. GOSSELET et al., <i>Faune silurodévonienne de Liévin</i> , 1912-1920. Fasc. 2	336,00 F
n° 3. — V. COMMONT, <i>Saint-Acheul et Montières: Notes de Géologie, de Paléontologie et de Préhistoire</i> , 1909, 68 p., 3 pl.	156,00 F
<b>Tome VII, n° 1.</b> — P. BERTRAND, <i>Etude des Stipes d'Asterochloena laxa</i> , Stenzel, 1911, 72 p., 6 pl.	102,00 F
<b>Tome VIII, n° 2.</b> — Ed. LEROUX, <i>Le tunnel de l'Ave Maria</i> , 1929, 50 p., 5 pl.	120,00 F
<b>Tome IX, n° 1.</b> — G. DUBAR, <i>Etude sur le Lias des Pyrénées françaises</i> , 1925, 332 p., 7 pl.	432,00 F
n° 2. — G. FOURNIER et al., <i>Poissons élasmodontes de Denée</i> , 1926, 23 p., 6 pl.	96,00 F
<b>Tome X, n° 2.</b> — J. LAVERDIERE, <i>Terrains paléozoïques des Pyrénées occidentales</i> , 1931, 132 p., 8 pl.	180,00 F
<b>Tome XII.</b> — D. LEMAITRE, <i>Faune des Calcaires dévoniens du Bassin d'Ancenis</i> , 1934, 268 p., 18 pl.	336,00 F
<b>Tome XIII.</b> — P. BRICHE et al., <i>Flore infraliasique du Boulonnais</i> , 1963, 145 p., 11 pl.	252,00 F
<b>Tome XIV.</b> — G. WATERLOT, <i>Les Gigantotrachés du Siluro-Dévonien de Liévin</i> , 1966, 23 p., 5 pl.	84,00 F
<b>Tome XV.</b> — J. MANIA, <i>Gestion des Systèmes aquifères. Applications au Nord de la France</i> , 1978, 228 p.	180,00 F
<b>Tome XVI.</b> — A. BOUROZ et al., <i>Essai de synthèse des données acquises dans la genèse et l'évolution des marqueurs pétrographiques dans les bassins houillers</i> , 1983, 118 p., 10 pl.	250,00 F

#### FASCICULES SPECIAUX(\*)

«Géologie du Nord de la France» (T. LXXXIX, fasc. 1)	85,00 F
«Centenaire de la S.G.N.» (T. XC, fasc. 4)	100,00 F
«Rupture des roches et massifs rocheux» (T. XCV, fasc. 3)	70,00 F
«Données nouvelles sur le Paléozoïque de l'Europe occidentale» (T. XCVI, fasc. 4 et T. XCVII, fasc. 1)	200,00 F
«Apports récents à la Géologie du Gondwana» (T. XCVII, fasc. 4)	150,00 F
«Géologie de l'Europe, du Précambrien aux bassins sédimentaires post-hercyniens» (T. XCIX, fasc. 1)	150,00 F
«Géologie appliquée aux problèmes d'énergie et de matières premières» (T. CII, fasc. 2)	150,00 F
«Tectonique cassante en distension et coulissement» (T. CIII, fasc. 2-3)	250,00 F

#### PUBLICATIONS(\*)

Publication N° 1. — J. CHOROWICZ, <i>Etude géologique des Dinarides le long de la transversale Split-Karlovac (Yougoslavie)</i>	130,00 F
Publication N° 2. — J. CHARVET, <i>Essai sur un orogène alpin: Géologie des Dinarides au niveau de la transversale de Sarajevo (Yougoslavie)</i>	150,00 F
Publication N° 3. — J. ANGELIER, <i>Néotectonique de l'arc égéen</i>	140,00 F
Publication N° 4. — J.J. FLEURY, <i>Les zones de Gavrovo-Tripolitza et du Pinde-Olonos (Grèce continentale et Péloponnèse du Nord). Evolution d'une plate-forme et d'un bassin dans leur cadre alpin</i>	175,00 F
Publication N° 5. — M. COUSIN, <i>Les rapports Alpes-Dinarides. Les confins de l'Italie et de la Yougoslavie</i>	175,00 F
Publication N° 6. — F. THIEBAULT, <i>L'évolution géodynamique des Hellénides externes en Péloponnèse méridional</i>	185,00 F
Publication N° 7. — P. DEWEVER, <i>Radiolaires du Trias et du Lias de la Téthys</i>	180,00 F
Publication N° 8. — J. FERRIERE, <i>Paléogéographie et tectoniques superposées dans les Hellénides internes: les massifs de l'Othrys et du Pélion (Grèce continentale)</i>	185,00 F
Publication N° 9. — H. MAILLOT, <i>Les Paléoenvironnements de l'Atlantique sud: Apport de la géochimie sédimentaire</i>	130,00 F
Publication N° 10. — Cl. BROUSMICHE, <i>Les Fougères sphénoptériennes du Bassin Houiller Sarro-Lorrain</i>	200,00 F
Publication N° 11. — B. MISTIAEN, <i>Phénomènes récifaux dans le Dévonien d'Afghanistan (Montagnes Centrales). Analyse et systématique des Stromatopores</i>	200,00 F
Publication N° 12. — T. HOLTZAPFFEL, <i>Les minéraux argileux. Préparation, analyse diffractométrique et détermination</i>	T.T.C. 90,00 F
Publication N° 13. — J.L. MANSY, <i>Géologie de la Chaîne d'Omineca des Rocheuses aux plateaux intérieurs (Cordillère Canadienne). Evolution depuis le Précambrien</i>	200,00 F
Publication N° 14. — C. BECK, <i>Géologie de la Chaîne Caraïbe au méridien de Caracas (Venezuela)</i>	125,00 F

Les membres abonnés bénéficient d'une réduction de 20 % sur un exemplaire de chacune de ces publications.  
Les prix sont augmentés des frais de port et d'emballage quand les volumes ne sont pas pris directement au dépôt.  
(\*) Tous les prix sont indiqués hors taxe, sauf indication contraire (T.T.C.).

# SOMMAIRE

Tome CV

1985

4<sup>me</sup> trimestre

	pages
P. MICONNET. — Stratigraphie et évolution anté-tectonique de la région de Lagonegro (Bassin lucanien; Italie méridionale) ..	221
Ch. DUPUIS et E. STEURBAUT. — Altérites, sables marins (NP8, NP9) et fluviatiles, silicification et stromatolites dans le Paléocène supérieur entre Criel et le Cap d'Ailly (Haute-Normandie) .....	233
N. CRAMPON. — Détermination approchée des caractéristiques hydrodispersives en traçage par injection brève. Méthode des trois points .....	243
Y. PLUSQUELLEC. — Révision de <i>Michelinia transitoria</i> Knod, 1908 (Tabulata, Dévonien de Bolivie) .....	249
C. BABIN. — <i>Pseudarca</i> , Mollusque Bivalve singulier de l'Ordovicien supérieur du Massif Armoricaïn .....	253
M. LYS. — Comparaison de biocoenoses du Permien supérieur des domaines mésogéen (en Méditerranée centrale et orientale) et téthysien: Intérêt paléogéographique .....	259

© 1987 Société Géologique du Nord Editeur, Lille

Toute reproduction, même partielle, de cet ouvrage est interdite. Une copie ou reproduction par quelque procédé que ce soit, photographie, microfilm, bande magnétique, disque ou autre, constitue une contrefaçon passible des peines prévues par la loi du 11 mars 1957 sur la protection des droits d'auteur.

Imprimé en France (Printed in France)