

*Société*  
*Géologique du*  
*Nord*

**ANNALES**

**Tome 3 (2<sup>m</sup>e série), Fascicule 4**  
*parution 1994*

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD  
59655 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX

ISSN 0767-7367

# SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE 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 des 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 auteur, ne peut dépasser le total de 8 pages, 1 planche simili 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 du bon à tirer.

## Cotisations et Abonnements (à la date du 1<sup>er</sup>-1-1993)

	QUALITÉ	COTISATION	ABONNEMENT aux Annales	TOTAL
FRANCE et C.E.E.	Personnes physiques <sup>(2) (3)</sup>	40,00 F	160,00 F T.T.C.	200,00 F
AUTRES PAYS	Personnes physiques	40,00 F	180,00 F T.T.C.	220,00 F

Abonnement des non-membres : FRANCE et C.E.E. : 365,00 F H.T. — ÉTRANGER : 420,00 F

## ANNALES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE 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.

**Tomes I à LXXIX** (manquent I, II, V à IX, XVI, XXII, XXXIV à XXXVI, XXXIX à XLIII, XLV, XLVII à LVIII)..... 200,00 F H.T.

**Tomes LXXX à XCV** (manque XCI)..... 270,00 F H.T.

**Tomes XCVI à CV** ..... 330,00 F H.T.

**Tome CVI** ..... 385,00 F H.T.

### TABLES GÉNÉRALES DES ANNALES

Table 1 (Tomes I à XX) - Table 2 (Tomes XX à XXX) - Table 3 (Tomes XXXI à XL) - Table 4 (Tomes XLI à LXXIX) 50,00 F H.T.

Table 5 (Tomes LXXX à CIX) ..... par table

*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 (80,00 F), soit un total de 120,00 F.

(3) Les membres de l'APBG peuvent bénéficier d'un tarif préférentiel sur l'abonnement (120,00 F), soit un total de 160,00 F.

*Société*  
*Géologique du*  
*Nord*

*ANNALES*

**Tome 3 (2<sup>m</sup>e série), Fascicule 4**  
*parution 1994*

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD  
59655 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX

ISSN 0767-7367

CONSEIL D'ADMINISTRATION

— 1994 —

<i>Président</i> .....	M. N. CRAMPON
<i>Premier Vice-Président</i> .....	M. M. DEBUYSER
<i>Seconds Vice-Présidents</i> .....	M. B. MISTIAEN M. F. ROBASZYNSKI
<i>Conseillers</i> .....	M. C. DUPUIS M. D. VACHARD M. J.N. PROUST M. J. FERRIÈRE M. A. BLIECK M <sup>lle</sup> B. TESSIER
<i>Secrétaire</i> .....	M. J.F. DECONINCK
<i>Secrétaire Adjoint</i> .....	M. B. BEAUVIÈRE
<i>Trésorier</i> .....	M. J.M. DÉGARDIN
<i>Déléguée aux Publications</i> .....	M <sup>me</sup> Paule CORSIN
<i>Bibliothécaire</i> .....	M. A. TRENTESAUX

---

Se sont joints au Comité d'organisation scientifique :  
M<sup>lle</sup> D. BRICE, MM. H. COULON, B. MISTIAEN, G. POREL.

**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, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex  
Tél. 20 43 43 43 (postes 4104 et 4132) - C.C.P. Lille 52-47 Y

---

---

**Compte-rendu de l'activité de la Société**

Année 1994, 2<sup>ème</sup> semestre

ASSEMBLEE ORDINAIRE DU 16 NOVEMBRE 1994

Présidence de M. N. CRAMPON, Président

---

Deux communications orales ont été présentées :

P. Debrabant, B. Adida, J. Painset, J.F. Deconinck & P. Récourt. - Comportement géotechnique des Argiles de Châtillon (Kimméridgien /Tithonien du Boulonnais)

A. Maqoud & P. Bracq.- La craie du Nord de la France est-elle karstifiée?

COMMUNICATIONS ÉCRITES

Rémy GOURVENNEC. — Précisions nouvelles sur le genre *RETICULARIOPSIS* FREDERIKS, 1916 (Brachiopoda, Spiriferida).

Pierre SEMENOFF-TIAN-CHANSKY et Yves PLUSQUELLEC. — Présence de *Aulokoninckophyllum* dans le conglomérat de Caouennet, Carbonifère du Bassin de Chateaulin (Massif Armoricain, France).



## PRÉCISIONS NOUVELLES SUR LE GENRE *RETICULARIOPSIS* FREDERIKS, 1916 (BRACHIOPODA, SPIRIFERIDA).

### New informations about the genus *Reticulariopsis* Frederiks, 1916 (Brachiopoda, Spiriferida)

par Rémy GOURVENNEC(\*)

(Planche II)

**Résumé.** — L'étude de topotypes de l'espèce *Reticulariopsis dereimsi* (Oehlert, 1901), espèce-type du genre, permet d'apporter des précisions nouvelles sur cette espèce et sert de base à une redéfinition du genre *Reticulariopsis*. L'inventaire critique des espèces rapportées au genre fixe sa répartition géographique et stratigraphique. Le problème de l'unique espèce silurienne est également discuté.

**Abstract.** — *New precisions on Reticulariopsis dereimsi (Oehlert, 1901) arise from the study of topotypes and allow a redefinition of the genus Reticulariopsis. The geographical and stratigraphical distribution of Reticulariopsis is established from the critical examination of the species assigned to the genus. The problem of the single silurian species is also discussed.*

#### I. — INTRODUCTION

Bien qu'ayant été cité à maintes reprises dans la littérature, le genre *Reticulariopsis* Frederiks, 1916 reste à l'heure actuelle mal défini. Ceci tient à la fois à l'imprécision de la diagnose originale et aux difficultés non négligeables qui se présentent généralement lorsqu'on cherche à distinguer les divers genres de Reticularioidea, ceux-ci montrant assez peu de différences dans leurs caractères externes. Ce malaise s'est traduit ces dernières années par une augmentation sensible de descriptions d'espèces rattachées avec doute au genre *Reticulariopsis* et restant en nomenclature ouverte. Cependant l'espèce-type du genre a été correctement décrite à l'origine par Oehlert (1901) et peut servir de base solide pour une redéfinition du genre dans une optique moderne. Sur cette base il sera ensuite possible d'établir des comparaisons avec d'autres Reticularioidea.

#### II. — HISTORIQUE

En 1916, suivant un modèle rigide de classification des Spiriferida basé surtout sur la structure de l'appareil apical (présence ou absence de certains caractères) et l'ornementation externe, Frederiks crée le genre *Reticulariopsis* qu'il range dans les "Delthyrinae aperturatae duplicispinei" fimbriés avec appareil apical simple. La diagnose est succincte: "*Reticularia*-like but without

septum". Trois espèces-types sont désignées: *R. ellipticus* Phillips, 1836, *R. fimbriata* Conrad, 1842 et *R. dereimsi* Oehlert, 1901. On peut d'ores et déjà noter qu'ainsi conçu le genre regroupe des espèces hétérogènes tant au niveau des structures internes que de la microsculpture. Par exemple, le type d'épines de *R. dereimsi* et de *R. fimbriatus* est très différent. Qui plus est, *R. ellipticus* possède un septum médian, ce qui vient en contradiction avec la définition du genre. Par la suite Frederiks (1918) tentera d'améliorer cette définition en séparant *R. fimbriatus* qui devient l'espèce-type d'un genre nouveau: *Elita*. Dans la même publication *R. dereimsi* est explicitement désignée comme espèce-type du genre *Reticulariopsis*, lequel est rangé dans les "fimbriatae duplicispinae" (bien qu'en réalité il possède des épines simples, comme on le verra par la suite). Cependant, dans une troisième publication, Frederiks (1926) change d'avis en désignant *Spirifera elliptica* Phillips comme type de *Reticulariopsis*, classé ici dans la sous-famille Munellinae, section des lamello-spinosae. Toutefois, la désignation de 1918 étant valide au sens du Code International de Nomenclature Zoologique, c'est la seule qui doit être retenue, comme l'a bien montré Pitrat (1965). Malheureusement, plusieurs auteurs ont considéré la désignation la plus récente (*S. elliptica*) comme valide, ce qui a conduit à une certaine confusion dans la définition du genre. Parmi eux, on notera les travaux de George (1932) qui, ayant révisé l'espèce *elliptica*, a constaté qu'elle possédait un septum médian ventral comparable à celui de *Reticularia*. En conséquence, il a logiquement placé le genre *Reticulariopsis* dans la synonymie du précédent, opinion qui a longtemps prévalu par la suite. Signalons au passage

(\*) Laboratoire de Paléontologie & Stratigraphie du Paléozoïque. Université de Bretagne Occidentale. U.F.R. Sciences & Techniques. 6, Avenue Le Gorgeu. B.P. 809 - 29285 BREST CEDEX, France.

Note présentée le 16 Novembre 1994 et acceptée pour publication par le Conseil de la S.G.N. le 16 Novembre 1994.

que l'espèce *elliptica* est d'une taille nettement supérieure à celle des deux autres espèces initialement attribuées à *Reticulariopsis*. Grabau (1931), lorsqu'il crée le genre *Tingella*, pour regrouper les espèces possédant des bases crurales développées à la valve dorsale, des lames dentales à la valve ventrale mais pas de septum, possède probablement une opinion identique à celle adoptée par George car il ne fait aucune allusion au genre *Reticulariopsis* auquel correspondent parfaitement tous les caractères qu'il énonce. Vandercammen (1958) discutera et complètera la définition du genre *Tingella* mais sur des bases erronées: sans discuter l'espèce-type, il rapporte au genre, outre *T. reticularioides* Grabau, 1931, les espèces *concentrica* Schnur, 1853 et *dereimsi* Oehlert, 1901. La première sera par la suite rattachée à *Gerothyris* tandis que l'espèce belge qu'il rapporte à *dereimsi* est vraisemblablement différente de l'espèce de Oehlert, du moins en partie. Elle s'en écarte en effet par la présence d'une plaque delthyriale, caractère inconnu à ce jour chez les formes espagnoles. C'est d'ailleurs à la suite de cette étude que l'on admettra que *R. dereimsi*, et plus généralement le genre *Reticulariopsis*, possède une plaque delthyriale, ce qui est inexact. Ces aspects seront développés plus loin dans la discussion du genre. Le rattachement de l'espèce *concentrica* au genre *Tingella* conduit Vandercammen à admettre pour le genre un champ musculaire excavé et un épaississement apical de la coquille, caractères qui ne semblent pas exister chez l'espèce-type pour autant qu'on puisse en juger d'après les indications de Grabau. Ils sont absents ou très atténués chez *dereimsi*.

C'est Pitrat (1965), dans le Treatise, qui rétablira l'autonomie du genre *Reticulariopsis* en constatant la validité de la désignation de *R. dereimsi* comme espèce-type et en soulignant ses différences avec *Reticularia*. L'auteur introduit *Eoreticularia* et *Tingella* dans la synonymie de *Reticulariopsis*. Si cette synonymie peut être admise dans le second cas, il n'en est pas de même pour *Eoreticularia* (espèce-type *E. indifferens*) qui se distingue de *Reticulariopsis* par sa microsculpture (absence d'épines) et l'absence de ctenophoridium à la valve dorsale, et qui doit donc être considéré comme un genre valide.

Struve (1970) reprend la diagnose de Pitrat qu'il modifie légèrement en n'admettant pas l'existence occasionnelle d'une faible costulation latérale bien que celle-ci ait été signalée par Oehlert chez l'espèce-type. L'espèce *Tingella bicollina* Struve, 1961 rangée par l'auteur dans le genre *Reticulariopsis* sera plus tard désignée comme espèce-type du genre *Yeothyris* Struve, 1992.

La nécessité d'une révision du genre *Reticulariopsis* sera évoquée par Lenz (1977) puis par Perry (1984). Ce dernier met l'accent sur les difficultés à distinguer les différents genres de reticulariidés et signale en particulier la grande ressemblance entre *Reticulariopsis* et les stades juvéniles de *Warrenella* chez lesquels l'épaississement apical de la coquille est encore peu prononcé. Il constate également que la méconnaissance de l'espèce-type du genre *Reticulariopsis* fait de ce genre un réceptacle facile ("grab-bag term") pour tous les spiriférides lisses mal décrits.

L'objet de la présente étude est de donner une définition plus claire du genre *Reticulariopsis* à partir de l'examen de l'espèce-type et du matériel provenant de la localité-type. La distribution spatio-temporelle du genre sera également brièvement analysée en regard de cette nouvelle définition.

### III. — SYSTÉMATIQUE

Ordre : SPIRIFERIDA Waagen, 1883

Sous-ordre : RETICULARIOIDEA Waagen, 1883

Famille : RETICULARIIDAE Waagen, 1883

Sous-famille : RETICULARIINAE Waagen, 1883

Genre *RETICULARIOPSIS* Frederiks, 1916.

Espèce-type *Spirifer (Reticularia) dereimsi* Oehlert, 1901.

#### Synonymie

- 1916 *Reticulariopsis* Frederiks, p. 17
- 1918 *Reticulariopsis* Frederiks, p. 87
- 1926 *Reticulariopsis* Frederiks, p. 404
- 1931 *Tingella* Grabau, p. 406
- 1958 *Tingella* Vandercammen, p. 1
- 1959 *Tingella* Havlicek, p. 156 & 251
- 1960 *Reticulariopsis* Ivanova, p. 276
- 1964 *Tingella* Drot, p. 76
- 1965 *Reticulariopsis* Pitrat, p. H719
- 1969 *Reticulariopsis* Pavlova, p. 46
- 1970 *Reticulariopsis* Struve, p. 506
- 1971 *Reticulariopsis* Brice, p. 204
- 1978 *Reticulariopsis* Xu, Wang & Chen, p. 376
- 1982 *Reticulariopsis* Strusz, p. 134

#### Diagnose

Taille petite à moyenne, légèrement transverse, avec des extrémités cardinales arrondies. Interarea ventrale étroite et basse, concave, prolongée par un crochet recourbé. Sinus et bourrelet étroits, assez bien délimités, le premier peu profond, le second peu élevé. Flancs lisses ou ornés de 3-4 côtes obscures, larges et très basses. Microornementation constituée de lamelles de croissance régulièrement espacées portant des épines (ou bases d'épines) marginales orientées radialement. Intérieur ventral avec lames dentales élevées, fines et relativement courtes; myophragme parfois robuste mais pas de septum médian. Intérieur dorsal avec bases crurales assez longues (=lamelles apicales dorsales), fossettes dentales peu profondes et ctenophoridium.

#### Diagnosis

*Small to medium size, slightly transverse with rounded cardinal extremities. Short, low, concave ventral interarea and curved beak. Shallow, narrow, rather well defined sulcus and corresponding fold. Flanks smooth or bearing 3-4 obscure, low and wide costae. Ornament of regularly spaced growth lamellae with marginal spines (or spine bases), radially distributed. Ventral interior with high, narrow and relatively short dental plates; myophragm occasionally robust; median septum lacking. Dorsal interior with long crural plates, shallow sockets and ctenophoridium.*

#### Discussion

Dans la littérature récente, comme on a pu le comprendre au vu du bref historique dressé ci-dessus, la conception du genre *Reticulariopsis*, quoique vague, avait essentiellement pour base les travaux de Vandercammen (1958) sur *Tingella*, considéré par tous les auteurs comme synonyme de *Reticulariopsis*. Cette référence ne peut plus être utilisée aujourd'hui sans un examen critique. En effet, le matériel ayant servi à Vandercammen pour décrire l'espèce *dereimsi* ne provenait pas d'Espagne mais de Belgique.



Malheureusement, il semble aujourd'hui que ce matériel ne corresponde pas à l'espèce *dereimsi* telle qu'elle a été définie par Oehlert. En effet, si la forme belge présente avec celle d'Espagne beaucoup de rapports, en particulier dans son aspect externe, sa microsculpture et certains détails de la structure interne telles que les stries radiaires (vascularisation d'après Vandercammen), les topotypes en provenance de Santa Lucia (localité-type, province de León) ne montrent aucune trace de plaque delthyriale, fût-ce au stade embryonnaire. Tout au plus peut-on noter un léger épaississement apical qu'on peut considérer comme un coussinet septal rudimentaire. On notera d'autre part que les niveaux d'où proviennent les deux formes sont d'âges différents: Emsien en Espagne, Eifelien supérieur en Belgique. Par ailleurs, les spécimens décrits sous le nom de *concentrica* par Vandercammen se sont révélés depuis appartenir à l'espèce *eifliana* qui appartient au genre *Gerothyris* Struve 1970 (tandis que l'espèce *concentrica* s.s. est vraisemblablement à rattacher au genre *Warrenella* d'après son aspect externe et sa structure interne, en particulier l'épaississement apical de la coquille). *Gerothyris* est caractérisé par une ornementation très particulière, composée d'épines de tailles différentes (Struve, 1970; pl. 12, fig. 59), que l'on retrouve chez l'espèce décrite par Vandercammen (pl. 1, fig. 22-23). Ce type d'ornementation se distingue aisément de celui observé chez *Reticulariopsis*.

Enfin, on peut ajouter que *Tingella reticularioides* Grabau, dont le type est perdu, ne montre aucune trace de plaque delthyriale pour autant qu'on puisse en juger d'après la description de Grabau.

En définitive, l'existence d'une plaque delthyriale chez *Reticulariopsis* ne repose que sur la description d'un matériel erroné attribué à *R. dereimsi* et présentant une plaque delthyriale au demeurant assez rudimentaire et peu développée. Ce caractère ne peut donc être considéré comme un élément fondamental de la diagnose du genre, mais seulement comme un caractère accessoire, occasionnel chez quelques espèces qui montrent une tendance à l'épaississement de l'appareil apical ventral pouvant aboutir à l'élaboration d'une plaque delthyriale rudimentaire. Cette dernière est un caractère plutôt rare chez les *Reticularioidea*; elle existe cependant chez un genre voisin de *Reticulariopsis*, le genre *Eoretularia*, et à l'état d'ébauche chez quelques autres (par ex. *Rhenothyris*).

La synonymie de *Reticulariopsis* et *Reticularia* proposée par George (1932) reposait, comme on l'a vu plus haut, sur une interprétation erronée de l'espèce-type de *Reticulariopsis* (*elliptica* Phillips au lieu de *dereimsi* Oehlert). *R. dereimsi* ne possède pas de septum ventral mais seulement un myophragme parfois assez large et d'aspect robuste mais qui reste toujours peu élevé et relativement court puisqu'il ne dépasse pas antérieurement le champ musculaire ventral. Il n'atteint jamais les proportions d'un septum. Un myophragme plus ou moins développé est également signalé chez la plupart des autres espèces du genre.

#### Rapports et différences

*Reticulariopsis* est très proche de *Spirinella* Johnston. Ce dernier est toutefois moins transverse en général (mais ce n'est pas toujours le cas), et possède une interarea ventrale plus élevée, un bourrelet moins prononcé et une valve dorsale proportionnellement plus basse. Tous ces

caractères étant sujets à variation, ils sont peu utilisables en pratique. La microsculpture, quand elle est conservée, est un critère plus efficace de distinction entre les deux genres: les lamelles de croissance sont beaucoup plus étroites et les épines beaucoup plus fines (15 à 20 par mm) chez *Spirinella*. Au niveau des caractères internes, la différence majeure entre les deux genres est la longueur des bases crurales qui restent toujours courtes chez *Spirinella*.

Au stade adulte, *Warrenella* se distingue aisément de *Reticulariopsis*, en particulier par sa structure interne (fort épaississement apical, à l'origine d'une excavation du champ musculaire ventral). Cependant les stades juvéniles de *Warrenella* peuvent présenter quelque analogie avec *Reticulariopsis*: ils s'en écartent par l'absence ou le faible développement des bases crurales à la valve dorsale, des lames dentales plus épaisses à la valve ventrale et, dans une moindre mesure, par un contour subcirculaire à subquadrangulaire, dans l'ensemble moins transverse que celui de *Reticulariopsis*.

Généralement de grande taille, *Rhenothyris* possède un bourrelet beaucoup plus large et plus développé que celui de *Reticulariopsis*, ainsi qu'un pseudodeltidium. A la valve ventrale, *Rhenothyris* possède une ébauche de plaque delthyriale qui fait défaut chez *Reticulariopsis*.

Le genre *Pavdenia* présente une valve ventrale plus élevée que *Reticulariopsis*, avec une interarea élevée et beaucoup moins recourbée. Le bourrelet, en particulier chez les spécimens adultes ou gérontiques, est plus abruptement délimité. Les bases crurales sont courtes contrairement à celles de *Reticulariopsis*.

#### Espèces attribuées au genre

- Reticulariopsis beichuanensis* Chen, 1978 (Longmenshan, Chine. Givétien?)
  - Spirifer (Reticularia) dereimsi* Oehlert, 1901 (Europe de l'Ouest; Kazakhstan; Maroc?. Praguien?-Emsien)
  - Spirifer robustus* var. *eifliensis* Frech in Scupin, 1900 (Allemagne; Pologne; Birmanie. Eifelien- Givétien?)
  - Reticulariopsis ertangensis* Chen, 1978 (Gwangxi, Chine. Emsien inf.)
  - Reticulariopsis lemaîtreae* Brice, 1971 (Afghanistan. Givétien sup.)
  - Reticulariopsis remesi* Havlicek, 1951 (Moravie, Tchécoslovaquie. Givétien)
  - Reticulariopsis remesi minuta* Brice, 1985 (Montagne Noire, France. Givétien)
  - Tingella reticularioides* Grabau, 1931 (Chine. Dévonien moyen)
  - Reticulariopsis sichuanensis* Chen, 1978 (Longmenshan, Chine. Givétien)
  - Reticulariopsis silurica* Strusz, 1982 (New South Wales, Australie. Wenlock)
  - Reticulariopsis talenti* Lenz & Johnson, 1985 (New South Wales, Australie. Praguien)
  - Reticulariopsis warreni* Perry, 1984 (Yukon, Canada. Lochkovien moy.-Praguien inf.). Les deux espèces (*Reticulariopsis* sp. A et sp. B) citées par Johnson (1970) dans le Nevada appartiennent en fait à *R. warreni*.
  - Reticulariopsis* sp. Lenz, 1977 (Yukon, Canada. Lochkovien-Praguien)
  - Reticulariopsis* sp. Savage, 1981 (Alaska, États-Unis. Praguien)
- Espèces appartenant probablement au genre mais nécessitant une étude plus détaillée:
- Reticulariopsis plana* Struve, 1970 (Allemagne. Eifelien)
  - Reticulariopsis* sp. Xu, 1979 (Gwangxi, Chine. Emsien sup.)
  - Reticulariopsis?* sp. Jahnke & Shi, 1989 (W-Yunnan, Chine. Praguien)
  - "*Reticulariopsis*" sp. Racheboeuf & Robardet, 1986 (Syncl. de Valle, Espagne. Emsien sup.)

### Espèces rejetées

*Tingella bicollina* Struve, 1961 (= *Yeothyris*) (Allemagne; Belgique; Maroc)

*Spirifer kerfornei* Renaud, 1942 (= *Warrenella*) (Massif armoricain, France)

"*Reticulariopsis*" *simplex domanicensis* Markovski, 1988 (= ? *Cyrtinaella*) (Oural)

*Tingella suchana* Veevers, 1959 (= ? *Rhynchospirifer*) (Fitzroy Basin, Australie)

*Warrenella timetea* Crickmay, 1960 rapportée plus tard par ce même auteur au genre *Tingella*, est en réalité une variété géographique de l'espèce *Warrenella occidentalis* (Merriam, 1940).

### Commentaires

La distribution du genre (fig. 1) montre un large hiatus entre le Wenlock et le Dévonien inférieur (Lochkovien). Cette absence de représentation du genre au Silurien terminal pose le problème de l'attribution générique de *R. silurica*, seule espèce anté-dévonienne reconnue à ce jour (en Australie, dans la région de Canberra). D'après Strusz (com. pers.), on ne peut totalement exclure l'éventualité que cette espèce puisse appartenir à *Spirinella*, mais des études complémentaires seraient nécessaires pour parvenir à cette conclusion. En l'état actuel de nos connaissances, l'appartenance de *silurica* à *Reticulariopsis* ne semble pas devoir être mise en doute. L'excellente description qu'en a fait Strusz (1982) montre que tous les caractères présents chez cette espèce, tant internes qu'externes, correspondent à ceux qu'on attend chez *Reticulariopsis*. La seule exception notable réside dans l'aspect de la microsculpture. Elle est en effet beaucoup plus fine chez *R. silurica* que chez les autres espèces de *Reticulariopsis*: 5 lamelles de croissance par mm (jusqu'à 11 près du bord antérieur) et 15 épines par mm (jusqu'à 20 épines localement) contre 1-2 lamelles et 8-10 épines chez les autres espèces. Ceci évoque l'ornementation de *Spirinella* (et en particulier l'espèce-type *S. caecistriata*, définie aussi en Australie) qui est également constituée d'éléments très fins, tout à fait comparables à ceux de *R. silurica*. Un rattachement de *silurica* à *Spirinella* reste cependant exclu compte-tenu du développement des bases crurales (rattachées au plancher de la valve sur une longue distance). Il ne paraît pas raisonnable de séparer cette espèce de *Reticulariopsis* sur le seul critère de l'ornementation, ce qui conduirait d'ailleurs à ériger pour cette espèce un genre nouveau basé uniquement sur le type de microsculpture. Une influence du milieu peut-elle être à l'origine de ce particularisme? On ne peut certes l'exclure, mais ce serait, à ma connaissance, le seul cas observé jusqu'à présent chez les spiriférides *s.l.* Parallèlement, le genre *Vadum*, défini dans la même localité que *R. silurica*, constitue un cas de figure voisin de celui qui nous occupe: il présente des analogies certaines avec un genre eodévonien, *Eoretularia*, dont il diffère par quelques détails (ornementation et structures internes dorsales). Il semble donc qu'un certain endémisme ait prévalu à cette époque dans la région, avec pour conséquences l'apparition de taxons aux caractéristiques originales. *R. silurica* (Wenlock probablement supérieur) apparaît avant *Spirinella caecistriata* (Ludlow inférieur). Strusz (1982) a évoqué la possibilité d'un ancêtre commun éosilurien pour les deux genres, mais ceci n'explique pas la "disparition" de *Reticulariopsis* durant l'époque fini-silurienne. Une seule espèce rattachée à *Spirinella* est plus ancienne que les deux précédentes et pourrait constituer un ancêtre possible: il s'agit de *S. pauciplicata* (Waite, 1956), connue dès le Llandovery supérieur aux Etats-Unis (Laketown Dolomite, Great Basin). Cette espèce possède l'ornementation très fine de *Spirinella* (env. 4 lamelles de croissance par mm et

15 épines par mm) (Sheehan, 1982). Elle a des bases crurales rattachées au plancher de la valve mais sur une courte distance et avait à l'origine été placée dans le genre *Howellella*.

Il est par ailleurs possible que des espèces de *Reticulariopsis* aient existé à la fin du Silurien mais n'aient pas encore été découvertes ou bien attribuées par erreur à d'autres genres. Ce pourrait être le cas par exemple de *Eoretularia zaaminica* Larin, 1977 (Ludlow), espèce insuffisamment documentée. D'autres candidats potentiels existent qui ont été rangés chez *Spirinella* mais dont la microornementation et/ou la structure interne restent inconnues ou mal décrites.

Au contraire, si l'on admet que les particularités de *R. silurica* sont suffisantes pour la séparer du genre *Reticulariopsis*, on est conduit à supposer que ce taxon, issu de *Spirinella* ou d'un ancêtre commun, s'est éteint sans descendance avant le Dévonien. Dans cette hypothèse, *Reticulariopsis* a pu dériver de *Spirinella* par néoténie. Seules de nouvelles découvertes dans le Silurien terminal pourront permettre de conclure définitivement.

### RETICULARIA DEREIMSI Oehlert, 1901

(Pl. II, fig. 1 à 29)

#### Synonymie

- 1901 *Spirifer* (*Reticularia*) *Dereimsi* nov. sp.- Oehlert, p. 236, pl. 6, fig. 2-16
- ?1907 *Spirifer* (*Reticularia*) *Dereimsi* (sic) Oehlert- Gortani, p. 111 [27], pl. 5 [2], fig. 4
- ?1911 *Spirifer dereimsi* Oehlert- Gortani, p.166 [26]
- 1938 *Reticularia dereimsi* Oehlert- Comte, p. 75 [37]
- ? 1952 *Eoretularia dereimsi* (Oehlert)- Rzonitskaja, p. 57, pl. 3, fig. 1-5
- non (vel pars) 1958 *Tingella dereimsi* (D.P. Oehlert)- Vandercammen, p. 9, pl. 2, fig. 1-20
- non 1963 *Tingella dereimsi* (Oehlert, 1901)- Renaud, p. 173
- ? 1964 *Tingella* aff. *bicollina* Struve, 1961- Drot, p. 76, pl. 8, fig. 9, 9a-c

#### Néotype

Le spécimen type a aujourd'hui disparu mais quelques exemplaires de la collection Oehlert sont toujours conservés au Musée de Laval. Un néotype a donc été choisi parmi ces spécimens. Il s'agit de l'exemplaire n° ML-RG4, figuré planche II, fig. 1- 5 (Musée de Laval).

#### Localité-type

Le matériel décrit par Oehlert provient de Santa Lucia (province de León, Espagne). Cette localité se situe au NW de La Pola de Gordon et expose des niveaux d'âge emsien (Garcia-Alcalde *et al.*, 1979).

#### Matériel

39 spécimens dont 20 provenant de la localité-type. Ces exemplaires sont déposés au Musée de Laval (Coll. Oehlert et Coll. Lajoukaire; ML-RG 1- 17), à l'Université d'Oviedo (DPO 29544-29559) et à l'Institut de Géologie de Rennes (IGR 107111) (spécimens du Massif armoricain).

#### Diagnose

Espèce du genre *Reticulariopsis* plutôt transverse, avec une valve ventrale élevée, terminée par un crochet

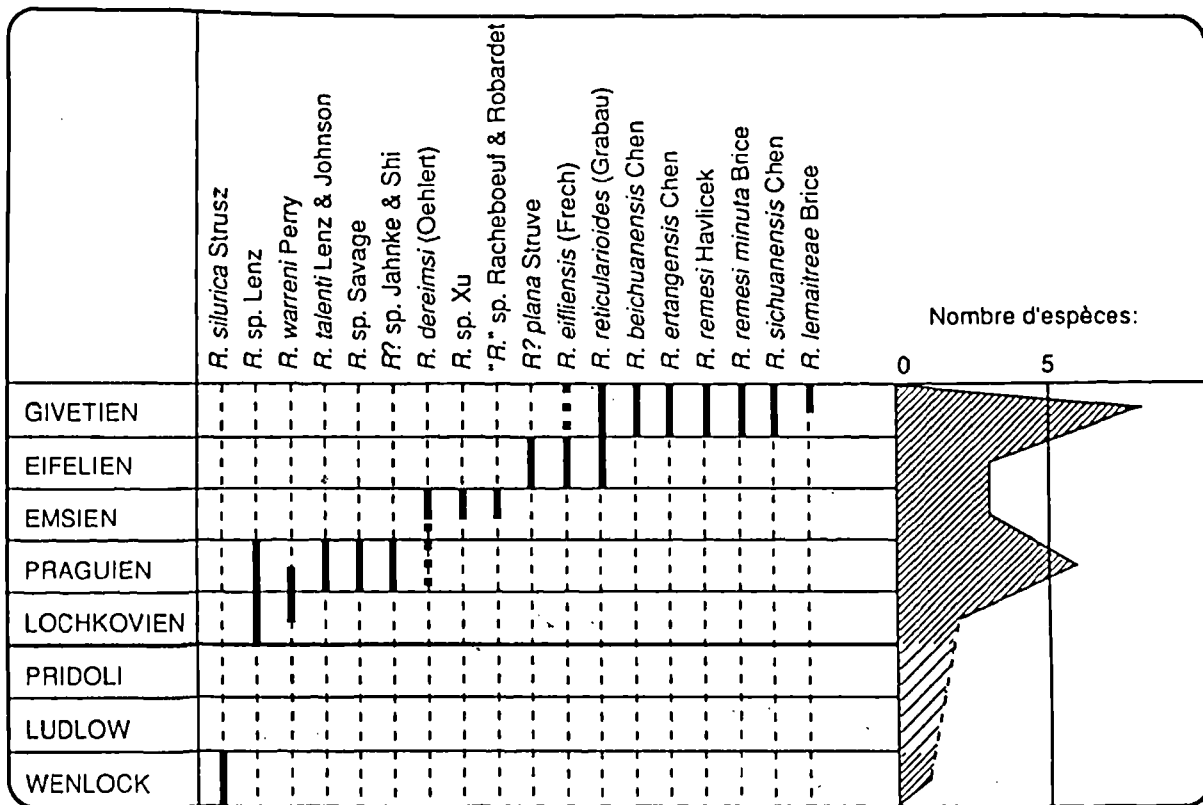


Fig. 1. — Distribution verticale des espèces attribuées au genre *Reticulariopsis* et effectif par étage.

Fig. 1. — Vertical distribution of the species assigned to *Reticulariopsis* and number of species for each stage.

fortement recourbé sur l'area, généralement lisse ou ornée de côtes basses qui n'affectent pas la commissure frontale ou latérale. Microsculpture avec lamelles de croissance régulières (env. 2/mm) portant des épines marginales radiales (8-10/mm) très longues (0,5 mm) lorsqu'elles sont préservées.

**Diagnosis**

*A species of Reticulariopsis rather transverse with high ventral valve and strongly curved beak, commonly smooth or with low incipient costulation that have no effect on the frontal or lateral commissure. Ornament of regularly spaced growth lamellae (about 2/mm) bearing long (0,5 mm) radial marginal spines (8-10/mm).*

**Description**

(les dimensions sont exprimées en mm)

**Extérieur**

Espèce de taille petite à moyenne (Tab. I et fig. 2), transverse (l/Lmoy = 1,66; l/Ltmoy = 1,30) avec des extrémités cardinales arrondies. La largeur maximale se situe entre 1/3 et 1/2 de L (en moyenne 0,40). La valve ventrale est nettement plus haute que la dorsale (Hd/Htmoy = 0,41) avec un crochet développé et fortement recourbé sur l'area. Cette dernière est étroite (env. 2/3 de l), élevée, très concave (en position catacline près de la charnière et ortho-à anacline près du crochet). Elle est plutôt mal délimitée

	L	Lt	l	Ws	Hd	Hv	Ha	la
<b>Moyenne</b>	10.96	14.12	18.37	6.67	4.41	6.51	2.19	10.55
<b>Ecart-type</b>	.38	.53	.73	.34	.34	.31	.15	.54
<b>N</b>	27	26	27	27	18.	25	21	19
<b>Val. min.</b>	5.5	6.5	8.4	2.2	1.6	2.6	1	4.5
<b>Val. max.</b>	16	20	25.5	10	7	9.5	4	15

Tableau I. — Dimensions moyennes chez *Reticulariopsis dereimsi* (specimens espagnols uniquement). L: longueur; Lt: longueur totale (crochet inclus); l: largeur; Ws: largeur du sinus; Hd: hauteur de la valve dorsale; Hv: hauteur de la valve ventrale; Ha: hauteur de l'area ventrale; la: largeur de l'area.

Table I. — Average dimensions of *Reticulariopsis dereimsi* (spanish specimens only). L: length; Lt: total length (including beak); l: width; Ws: width of sulcus; Hd: height of dorsal valve; Hv: height of ventral valve; Ha: height of area; la: width of area.

mais lorsque la microornementation est préservée, ses limites sont bien reconnaissables au brusque changement de cette ornementation au passage de la pseudoarea (stries de croissance horizontales) à l'area proprement dite (stries verticales dominantes). Le delthyrium, un peu plus large que haut, est ouvert et bordé par des lamelles deltidiales élevées qui ne se rejoignent que sous le crochet, sans former de deltidium. La commissure frontale est uniplissée avec une languette peu élevée, au contour arrondi. Le sinus ventral, de section arrondie, est peu profond et assez mal délimité (il n'est pas bordé par des côtes et ses bords ne sont

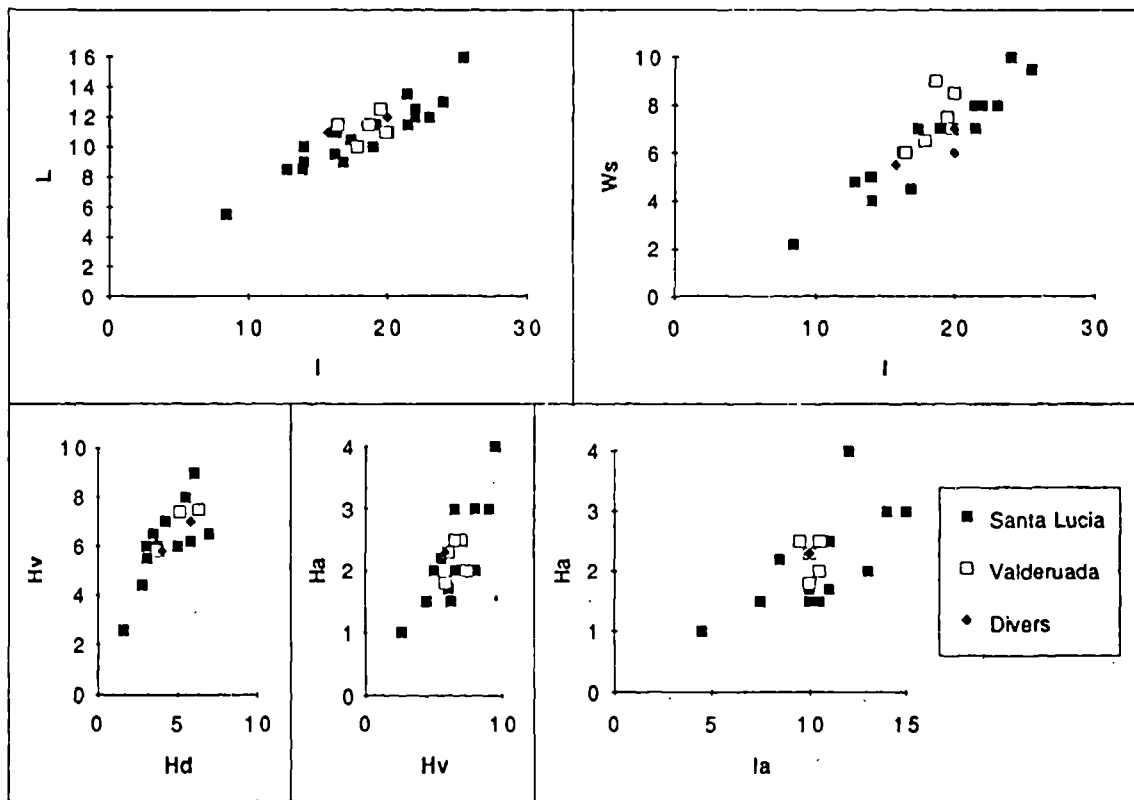


Fig. 2. — Diagrammes de dispersion pour *Reticulariopsis dereimsi*. L: longueur; l: largeur; la: largeur de l'area ventrale; Ws: largeur du sinus; Hd: hauteur de la valve dorsale; Hv: hauteur de la valve ventrale; Ha: hauteur de l'area ventrale.

Fig. 2. — Scatter diagrams of specimens of *Reticulariopsis dereimsi*. L: length; l: width; la: width of the ventral area; Ws: width of sulcus; Hd: height of dorsal valve; Hv: height of ventral valve; Ha: height of the ventral area.

reconnaissables qu'à une inflexion de la courbure de la coquille). Sa largeur au bord antérieur atteint un peu plus de 1/3 de l ( $Ws/l_{moy} = 0,36$ ). De la même façon, le bourrelet est peu élevé mais visible dès l'apex, arrondi, s'élargissant modérément vers l'avant; il peut être occasionnellement bordé par de faibles sillons limités à la zone apicale. Les flancs sont lisses en général mais 2 à 4 ondulations larges, très basses (visibles surtout en lumière rasante), séparées par d'étroits sillons, peuvent être observées sur quelques coquilles. Ces "côtes" débutent dès l'apex et se poursuivent jusqu'à la commissure qu'elles n'affectent cependant pas. La microsculpture comprend des lamelles de croissance concentriques très fines, régulières, très rapprochées (1 à 2 par mm), portant des épines marginales en position radiaire (8-10 épines par mm). Sur des échantillons du Massif armoricain, les épines sont conservées en place. Elles sont très longues (0,5 mm), de type réticulariidé (i.e. avec sillon longitudinal au sommet et prenant après usure un aspect en dent de scie) et forment sur la coquille une "toison" très dense (Pl. II, fig. 23). Elles sont implantées en bordure de lamelle avec un angle de 45° environ.

### Intérieur

La structure interne de *R. dereimsi* est bien connue depuis la description qu'en a faite Oehlert (1901, fig. 1) et qui reste tout à fait valide actuellement. A la valve ventrale, les lames dentales sont fines, plutôt courtes (mais pouvant atteindre 0,4 Lt) et modérément divergentes. Un sillon hypodeltidial large borde la partie interne de l'ouverture

delthyriale. Les lames dentales délimitent un champ musculaire peu marqué, strié longitudinalement et non excavé. Il peut exister un léger épaissement de la coquille, sensible uniquement au niveau de l'apex, et qui correspond à un petit coussinet septal d'importance très réduite. Il ne donne jamais naissance à une plaque delthyriale. Il n'est pas exclu que les mentions de plaque delthyriale et d'arc basal de la plaque delthyriale (Vandercammen, 1958) puissent correspondre respectivement au coussinet septal et aux bourrelets bordant les sillons hypodeltidiaux (ceux-ci se rejoignant au sommet du delthyrium et pouvant donner lieu à une très légère dépression sur le moule interne). Un myophragme peu profond mais net traverse le champ musculaire qu'il ne dépasse pas antérieurement. Ce myophragme n'est pas visible sur tous les exemplaires disponibles. A la surface du champ musculaire, deux rides longitudinales un peu plus marquées que les autres sont situées de part et d'autre du myophragme, en sorte que le champ musculaire semble divisé en 4 secteurs plus ou moins égaux dans le sens de sa longueur. Quelques individus bien conservés provenant de Valderuada (Espagne) montrent sur les flancs du moule interne des sillons radiaires très fins, assez régulièrement espacés (les intervalles étant plus larges que les sillons) et qui peuvent correspondre à des empreintes de vascularisation comparables à celles qui existent chez d'autres réticulariidés. Lorsqu'ils sont bien préservés, ces sillons sont présents aux deux valves; dans un cas ils sont discontinus dans la région apicale et semblent formés par l'alignement de cupules étroites et allongées.

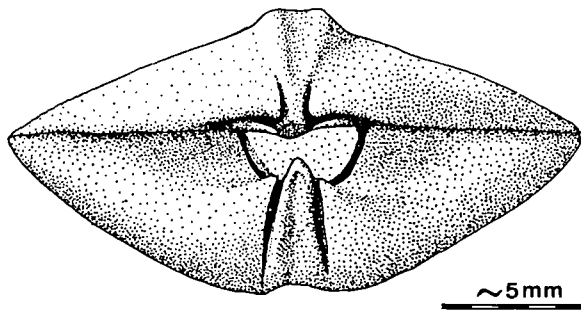


Fig. 3. — Vue postérieure du moule interne de *Reticulariopsis dereimsi* montrant les longues incisions des plaques crurales ou lamelles apicales dorsales (en haut) et celles des lames dentales (en bas).

Fig. 3. — Posterior view of the internal mold of *Reticulariopsis dereimsi* to show the long crural plates (above) and the dental plates (below).

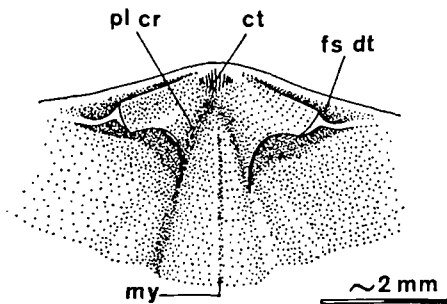


Fig. 4. — Reconstitution de l'appareil apical brachial de *Reticulariopsis dereimsi* montrant le ctenophoridium (ct) et les plaques crurales (pl cr) soudées au plancher de la valve (fs dt: fossette dentale; my: myophragme).

Fig. 4. — Reconstruction of the brachial apical apparatus of *Reticulariopsis dereimsi* to show the ctenophoridium (ct) and the crural plates (pl cr) joining the valve floor on a long distance (fs dt: sockets; my: myophragme).

L'aspect général du moule interne dorsal évoque beaucoup celui de *Eospirifer*. Les bases crurales sont bien développées, relativement épaisses, soudées au plancher de la valve sur une longue distance et peu divergentes (fig. 3). Elles sont inclinées par rapport au plan de symétrie, convergeant vers celui-ci et vers le fond de la valve (fig. 4). Elles délimitent des cavités apicales latérales de petite taille, longues mais étroites et peu élevées, donc très fragiles sur les moules internes et souvent brisées. Les fossettes dentales sont peu profondes, divergentes; elles semblent être plus ou moins colmatées postérieurement par des épaissements secondaires au fur et à mesure de leur croissance. Le processus cardinal est en légère saillie sur le moule interne (*i.e.* sur une petite plate-forme sur la coquille). Il est formé de 10 à 15 petites lamelles fines (ctenophoridium), peu élevées, généralement visibles sous forme de stries. Elles sont fragiles et peuvent être facilement détruites lors de la fossilisation ou du dégagement du fossile. Les empreintes des adducteurs

antérieurs sont légèrement excavées; entre ces excavations, en position médiane, un léger épaissement se prolonge antérieurement par un myophragme étroit et bas qui atteint à peine le milieu de la coquille. Sur un exemplaire partiellement brisé, le spiraliun est exposé: on compte 11 tours de spires.

### Rapports et différences

*R. dereimsi* diffère de *T. dereimsi sensu* Vandercammen par l'absence de plaque delthyriale. Cependant, nombre d'analogies existent entre les deux formes (aspect externe, microsculpture, légère excavation du myoglyphe dorsal, fines stries radiales sur les flancs internes de la coquille, etc.) en sorte qu'il n'est pas exclu qu'une partie au moins du matériel belge, sous réserve qu'elle ne possède pas de plaque delthyriale, puisse appartenir à *R. dereimsi s.s.* tandis que le reste du matériel (avec plaque delthyriale) pourrait se rapporter soit à un autre genre, soit à une espèce voisine, telle que *R. eifliensis* bien que Boucot (1962: 416) qui a réexaminé cette espèce, ne signale pas de plaque delthyriale. Tous les spécimens étudiés par Vandercammen ne proviennent pas du même gisement mais de plusieurs localités, ce qui a pu amener un mélange de faunes d'autant plus difficile à détecter que les taxons considérés sont très proches les uns des autres.

*R. eifliensis* (Frech in Scupin, 1900) est très voisine de *R. dereimsi*. Elle ne s'en distingue que par sa coquille plus globuleuse, sa valve ventrale proportionnellement plus élevée avec un crochet moins recourbé sur l'area, son sinus plus large et l'absence d'épaississement apical. Certains spécimens attribués à cette espèce (Biernat, 1966; Anderson *et al.*, 1969) ont un sinus et un bourrelet bien délimités par des côtes (respectivement des sillons) qui se traduisent par une ondulation de la commissure frontale contrairement à ce qu'on observe chez *R. dereimsi*. Ce n'est toutefois pas le cas de l'exemplaire figuré par Boucot (1962, pl. 51, fig. 12a) qui semble ne se distinguer de *R. dereimsi* que par son area moins recourbée et son sinus plus large. Une révision plus complète de l'espèce *eifliensis* aboutirait peut-être à sa réunion avec *dereimsi* quoique leurs distributions stratigraphiques soient différentes (Eifélien pour la première, Emsien pour la seconde).

*R. ertangensis* Chen, 1978 (figuré in Wang *et al.*, 1987, pl. 15) possède un bourrelet délimité par des sillons assez profonds très bien marqués sur la commissure frontale. Les flancs montrent une tendance nette à la costulation, beaucoup plus marquée que chez *R. dereimsi* et évoquant plus ou moins *Howellella*. Par contre, le crochet ventral est moins recourbé au-dessus de l'area.

*R. reticularioides* (Grabau, 1931) est mal connue: elle semble posséder un sinus et un bourrelet mieux délimités que *R. dereimsi* et une area ventrale plus basse, très apascline, de même qu'une area dorsale plus développée qui n'est pas sans évoquer *Rhynchospirifer*, en particulier le spécimen figuré par Grabau pl. 43, fig. 7 (1931).

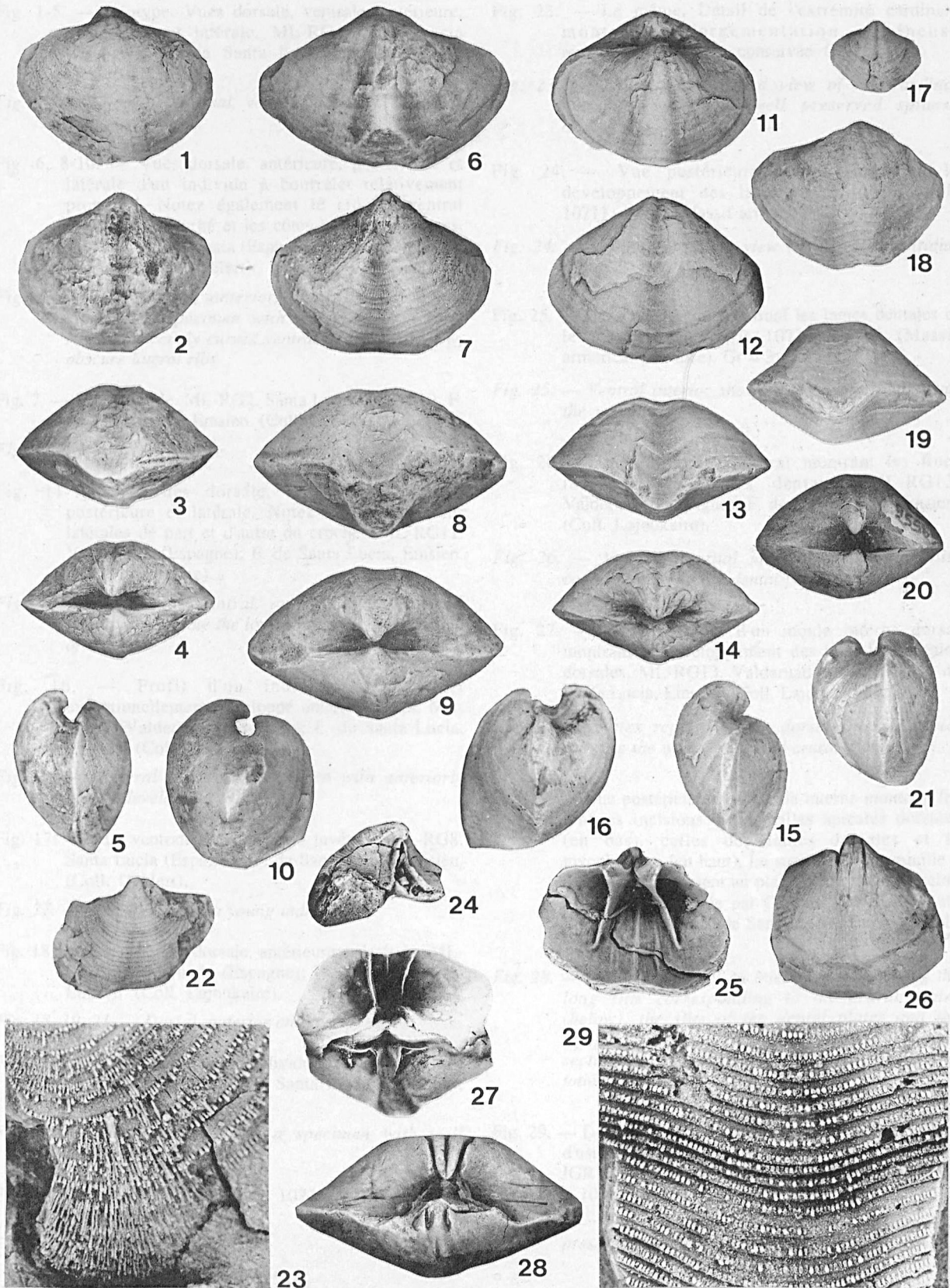
Chez *R. lemaitreae* Brice, 1971, *R. remesi* Havlicek, 1951, *R. sichuanensis* Chen, 1978 (in Xu *et al.*, 1978) et *R. beichuanensis* Chen, 1978 (in Xu *et al.*, 1978), le sinus et le bourrelet sont mal délimités, peu prononcés ou absents. Chez les deux premières espèces, l'area est beaucoup moins recourbée que chez *dereimsi*, tandis que les deux dernières sont à peu près équivalves, avec un contour presque

subcirculaire. En outre, le sommet du delthyrium de *R. lemaitreae* est partiellement occulté par un court deltidium formé par la réunion des lamelles deltidiales. Par ailleurs, chez *R. remesi*, les plaques crurales sont très courtes, évoquant celles de *Spirinella*.

REMERCIEMENTS. — Il m'est agréable de remercier ici Melle J. Guyon (Musée de Laval), le Dr J. Garcia-Alcalde (Université d'Oviedo) et J. Plaine (Université de Rennes) qui ont bien voulu me confier des échantillons de *R. dereimsi* nécessaires à la réalisation de cette étude ainsi que le Dr Strusz (Canberra) pour ses commentaires sur *R. silurica* et le rapporteur, le Dr D. Brice (Lille).

## BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON M.M., BOUCOT A.J. & JOHNSON J.G., 1969 - Eifelian brachiopods from Padaukpin, Northern Shan States, Burma. *Bull. of the British Museum (Natural History), Geology*, 18, 4: 107-163, 10 fig., pl. 1-10, London.
- BIERNAT G., 1966 - Middle Devonian brachiopods of the Bodzentyn Syncline (Holy Cross Mountains, Poland). *Palaeontologia Polonica*, 17 (1966): 162 pp, 51 fig., 32 pl., Warszawa.
- BOUCOT A.J., 1962 - Observations regarding some Silurian and Devonian Spiriferoid genera. *Senckenbergiana lethaea*, 43, 5: 411-432, 2 fig., pl. 49-52, Frankfurt am Main.
- BRICE D., 1971 - Etude paléontologique et stratigraphique du Dévonien de l'Afghanistan. *Notes et mémoires sur le Moyen-Orient*, 11: 1-364, 64 fig., 5 tab., 20 pl., Paris.
- DROT J., 1964 - Rhynchonelloidea et Spiriferoidea siluro-dévonien du Maroc pré-saharien. *Notes et mémoires du Service géologique du Maroc*, 178: 1-286, 24 pl., Rabat.
- FREDERIKS G., 1916 - The palaeontological notes. 2: On some Upper Palaeozoic Brachiopoda of Eurasia. *Mém. Comité géologique*, n. série, 156: 1-87, pl. 1-6, Petrograd.
- FREDERIKS G., 1918 - On the adaptation of the apical-apparatus subdivision to the Brachiopoda's classification. *Annuaire Société Paléontologique de Russie*, 2 (1917): 85-90, Petrograd.
- FREDERIKS G., 1926 - Tablitsa dlya opredeleniya rodov semeystva *Spiriferidae* KING (Table pour la détermination des genres de la famille Spiriferidae KING), *Akademiya NAUK SSSR, Izvestiya*, 6, 20, 5/6: 393-423, Leningrad.
- GARCIA-ALCALDE J., ARBIZU M.A., GARCIA-LOPEZ S. & MENDEZ-BEDIA I., 1979 - Meeting of the International Subcommission on Devonian Stratigraphy. Guidebook of the field trip. *University of Oviedo*, 41 pp., 19 fig., 2 pl., Oviedo.
- GEORGE T.N., 1932 - The British carboniferous Reticulate Spiriferidae. *Quarterly journal Geological Society of London*, 88: 516-575, 14 fig., pl. 31-35, London.
- GRABAU A.W., 1931 - Devonian Brachiopoda of China. I: Devonian Brachiopoda from Yunnan and other districts in South China. *Paleontologia Sinica*, ser. B, 3, 3: 1-545, 6 fig., 54 pl., Beijing.
- HAVLICEK V., 1951 - A paleontological study of the Devonian of Celechovice brachiopods (Pentameracea, Rhynchonellacea, Spiriferacea). *Sbornik ustredniho Ustavu geologickeho*, 18: 1-20, pl. 1-4, Praha.
- IVANOVA E.A., 1960 - Otryad Spiriferida. In: ORLOV Y.A.: Osnovi Paleontologii. *Izdatelstvo Akademi Nauk SSSR*: 1-343, 75 pl., Moskva.
- JOHNSTON J., 1941 - Studies in Silurian Brachiopoda. I. Description of a new genus and species. *Linnaean Society of New South Wales, Proceedings*, 66, 3/4, 295/296: 160-168, pl. 7, Sidney.
- LENZ A.C., 1977 - Upper Silurian and Lower Devonian brachiopods of Royal Creek, Yukon, Canada. Part 2, Spiriferida: Atrypacea, Dayiacea, Athyidacea, Spiriferacea. *Palaeontographica*, Abt. A, 159, 5/6: 111-138, 1 fig., pl. 23-32, Stuttgart.
- OEHLERT D. & P., 1901 - Fossiles dévoniens de Santa-Lucia (Province de León, Espagne), 2e partie. *Bulletin de la Société géologique de France*, 4e sér., 1: 233-250, pl. 6, Paris.
- PAVLOVA E.E., 1969 - Razvitie brachiopod semeystva Reticulariidae. *Trudy paleontologicheskogo Instituta, Akademiya Nauk SSSR*, 120: 1-124, 13 pl., Moskva.
- PERRY D.G., 1984 - Brachiopoda and stratigraphy of the Silurian-Devonian Delorme Formation in the district of Mackenzie, the Yukon. *Royal Ontario Museum, Life Sciences Contributions*, 138, 243 pp., 10 fig., 46 pl., Toronto.
- PITRAT C.W., 1965 - Spiriferidina. In: MOORE R.C. (ed.), Treatise on Invertebrate Paleontology, part H: Brachiopoda, pp. H523-H927, University of Kansas Press & The Geological Society of America, Lawrence.
- SHEEHAN, 1982 - Late Ordovician and Silurian of the Eastern Great Basin. Part 4: Late Llandovery and Wenlock Brachiopods. *Contributions in Biology and Geology, Milwaukee Public Museum*, 50: 1-83, pl. 1-13, Milwaukee.
- STRUSZ, 1982 - Wenlock brachiopods from Canberra, Australia. *Alcheringa*, 6, 2: 105-142, 31 fig., Sydney.
- STRUVE W., 1970 - "Curvate Spiriferen" der Gattung *Rhenothyris* und einige andere Reticulariidae aus dem Rheinischen Devon. *Senckenbergiana lethaea*, 51, 5/6: 449-577, 12 fig., pl. 1-15, Frankfurt am Main.
- VANDERCAMMEN A., 1958 - Révision des Reticulariinae du Dévonien de la Belgique. III: Genre *Tingella* A. GRABAU, 1931. *Bulletin Institut royal des Sciences naturelles de la Belgique*, 34, 12: 1-19, 10 fig., pl. 1-2, Bruxelles.
- WANG Y., BOUCOT A.J., RONG J. & YANG X., 1987 - Community Paleocology as a geologic tool: the Chinese Ashgillian-Eifelian (latest Ordovician through early Middle Devonian) as an example. *Geological Society of America, Special Papers*, 211: 1-100, 18 fig., 21 tab., 20 pl., Boulder.
- XU Q., WAN Z. & CHEN Y., 1978 - Phylum Brachiopoda. In: Atlas of Fossils of Southwest China, Sichuan vol., part 1: 1-617, pl. 1-185, Chengdu Institute of geology and mineral resources (SW China Institute of Geological Science), Beijing.







EXPLICATION DE LA PLANCHE II (\*)

*Reticulariopsis dereimsi* (Oehlert, 1901).

- Fig. 1-5. — Néotype. Vues dorsale, ventrale, antérieure, postérieure et latérale. ML-RG4. Santa Lucia (Espagne); F. de Santa Lucia, Emsien. (Coll. Oehlert).
- Fig. 1-5. — *Neotype. Dorsal, ventral, anterior, posterior and lateral views.*
- Fig. 6, 8-10. — Vues dorsale, antérieure, postérieure et latérale d'un individu à bourrelet relativement prononcé. Notez également le crochet ventral fortement recourbé et les côtes latérales obscures. ML-RG1. Santa Lucia (Espagne); F. de Santa Lucia, Emsien. (Coll. Oehlert).
- Fig. 6, 8-10. — *Dorsal, anterior, posterior and lateral views of a specimen with relatively high fold. Note the strongly curved ventral beak and the low, obscure lateral ribs.*
- Fig. 7. — Vue ventrale. ML-RG2. Santa Lucia (Espagne); F. de Santa Lucia, Emsien. (Coll. Oehlert).
- Fig. 7. — *Ventral view.*
- Fig. 11-15. — Vues dorsale, ventrale, antérieure, postérieure et latérale. Notez les faibles côtes latérales de part et d'autre du crochet. ML-RG11. Valderuada (Espagne); F. de Santa Lucia, Emsien. (Coll. Lajoukaire).
- Fig. 11-15. — *Dorsal, ventral, anterior, posterior and lateral views. Note the low lateral ribs on each side of the fold.*
- Fig. 16. — Profil d'un individu à bourrelet exceptionnellement développé antérieurement. ML-RG16. Valderuada (Espagne); F. de Santa Lucia, Emsien. (Coll. Lajoukaire).
- Fig. 16. — *Lateral view of a specimen with anteriorly highly developed fold.*
- Fig. 17. — Vue ventrale d'un individu juvénile. ML-RG8. Santa Lucia (Espagne); F. de Santa Lucia, Emsien. (Coll. Oehlert).
- Fig. 17. — *Ventral view of a young individual.*
- Fig. 18, 19, 21. — Vues dorsale, antérieure et latérale. ML-RG12. Valderuada (Espagne); F. de Santa Lucia, Emsien. (Coll. Lajoukaire).
- Fig. 18, 19, 21. — *Dorsal, anterior and lateral views.*
- Fig. 20. — Vue postérieure d'un individu à area relativement développée. DPO 29556. Santa Lucia (Espagne); F. de Santa Lucia, Emsien.
- Fig. 20. — *Posterior view of a specimen with well developed area.*
- Fig. 22. — Vue ventrale. IGR 107111E. Izé (Massif armoricain, France).
- Fig. 22. — *Ventral view.*
- Fig. 23. — Le même. Détail de l'extrémité cardinale montrant l'ornementation épineuse remarquablement bien conservée. Gr = 10 env.
- Fig. 23. — *The same. Detailed view of the cardinal extremity with very well preserved spinose ornament.*
- Fig. 24. — Vue postérieure oblique montrant le développement des lamelles deltidiales. IGR 107111A. Izé (Massif armoricain, France).
- Fig. 24. — *Oblique posterior view showing the deltidial plates.*
- Fig. 25. — Intérieur ventral montrant les lames dentales et le myophragme. IGR 107111B. Izé (Massif armoricain, France). Gr = 3.
- Fig. 25. — *Ventral interior showing the dental plates and the myophragm.*
- Fig. 26. — Moule interne ventral montrant les fines incisions des lames dentales. ML-RG13. Valderuada (Espagne); F. de Santa Lucia, Emsien. (Coll. Lajoukaire).
- Fig. 26. — *Ventral internal mold with the thin slits corresponding to the dental plates.*
- Fig. 27. — Moulage latex d'un moule interne dorsal montrant le développement des lamelles apicales dorsales. ML-RG13. Valderuada (Espagne); F. de Santa Lucia, Emsien. (Coll. Lajoukaire). Gr = 3.
- Fig. 27. — *Latex replica of the dorsal internal mold, showing the well developed crural plates.*
- Fig. 28. — Vue postérieure d'un moule interne montrant les longues incisions des lamelles apicales dorsales (en bas), celles des lames dentales et le myophragme (en haut). Le sommet de la coquille a été usé parallèlement au plan de commissure, selon la technique utilisée par Oehlert. ML-RG5. Santa Lucia (Espagne); F. de Santa Lucia, Emsien. (Coll. Oehlert). Gr = 3.
- Fig. 28. — *Posterior view of an internal mold showing the long slits corresponding to the crural plates (below), the slits of the dental plates and the myophragm (top). The top of the shell has been sectionned parallel to the plane of commissure, following the method used by Oehlert.*
- Fig. 29. — Détail de l'ornementation dans le sinus. Le degré d'usure est ici plus important que sur la figure 23. IGR 107111A. Izé (Massif armoricain, France). Gr = 10 env.
- Fig. 29. — *Detail of the ornament in the sulcus. The preservation is not so good as in figure 23.*

(\*) Sauf indication contraire, toutes les figures sont au grossissement X2.  
Except as indicated, all the figures are X2.



## PRÉSENCE DE *AULOKONINCKOPHYLLUM* DANS LE CONGLOMÉRAT DE CAOUENNET, CARBONIFÈRE DU BASSIN DE CHATEAULIN (MASSIF ARMORICAIN, FRANCE)

### Occurrence of *Aulokoninckophyllum* in the Caouennet conglomerate, Carboniferous of the Chateaulin Basin (Armorican Massif, France)

par Pierre SEMENOFF-TIAN-CHANSKY(\*) et Yves PLUSQUELLEC(\*\*)

*Résumé.* — L'extrême rareté des coraux dans le Carbonifère du Bassin de Chateaulin est soulignée. L'unique spécimen de Tétracoralliaire récolté dans le conglomérat de Caouennet est décrit en détail (structure et microstructure) ; il est attribué à *Aulokoninckophyllum* sp. aff. *carinatum* (Carruthers 1909), détermination approchée complétant néanmoins les données de la microfaune en datant du Viséen supérieur les éléments du conglomérat.

*Abstract.* — *The very scarcity of the corals in the Chateaulin basin is emphasized and the only specimen of Rugosa collected in the Caouennet conglomerate accurately described (structure and microstructure). It is assigned to Aulokoninckophyllum sp. aff. carinatum (Carruthers 1909), despite the somewhat uncertain identity of the specimen, the age given by the microfauna is precised and the pebbles of the conglomerate dated of the Upper Viséan.*

Dans le secteur occidental du Massif Armorican, la faune de Polypiers du Carbonifère du Bassin de Chateaulin est classiquement localisée dans les lentilles calcaires de St Ségat à l'Ouest, d'âge V3b (Pelhâte, 1973) et de Cartravers à l'Est, d'âge V1b (Pelhâte et Sagon, inédit).

Elle est extrêmement pauvre. A St Ségat, elle se réduit, selon Milon (1923, p. 592) à "un buisson de *Lithostrotion irregulare* Phillips et à une forme voisine d'*Uralinia* (cf. *U. multiplex* Ludwig)", tandis qu'à Cartravers, seuls "des moules externes de petits polypiers indéterminables" et "deux polypiers de grande taille, mais écrasés et inutilisables" ont été signalés (Milon 1928, p. 64).

Les deux polypiers de St Ségat ont été retrouvés dans la collection Milon et déterminés par Vuillemin (1990, p. 24). Il s'agit de *Siphonodendron martini* (Milne-Edwards & Haime 1851) et d'un Axophyllidae proche d'*Axophyllum expansum* Milne-Edwards & Haime 1851.

Dans une publication principalement stratigraphique (Plusquellec *et al.*, 1983, p. 6) nous signalions, près de la bordure occidentale du Bassin de Chateaulin, dans une formation nouvellement découverte - le Conglomérat de Caouennet - la présence d'un spécimen de *Aulokoninckophyllum* proche de *A. carinatum* (Carruthers 1909) (dét. Semenoff-Tian-Chansky).

Il nous a paru intéressant de décrire en détail le spécimen de Caouennet dans une note purement paléontologique, pour une meilleure connaissance de la faune corallienne à l'Ouest du Massif Armorican et pour que sa présence ne soit pas négligée dans les travaux de synthèse, en particulier ceux de paléobiogéographie.

C'est le but de cette contribution à l'inventaire des Polypiers carbonifères du Massif Armorican, en complément de la monographie de Vuillemin (1990) qui concerne plus particulièrement les faunes coralliennes des régions situées plus à l'Est : synclinoria du Ménez-Bélair et de Laval (Synclinorium médian armoricain) et Synclinal de Montmartin (synclinaux de Normandie).

(\*) Museum National d'Histoire Naturelle, Laboratoire de Paléontologie, 8 rue de Buffon, 75005 PARIS et URA 12 du CNRS.

(\*\*) Université de Bretagne Occidentale, Laboratoire de Paléontologie et Stratigraphie du Paléozoïque, 6 avenue Le Gorgeu, 29285 BREST Cedex et URA 1364 du CNRS.

Note présentée le 16 Novembre 1994 et acceptée pour publication par le Conseil de la S.G.N. le 16 Novembre 1994.

Classe ANTHOZOA Ehrenberg 1834  
 Sous-classe RUGOSA Milne-Edwards & Haime 1850  
 Ordre STAURIIDA Verrill 1865  
 Sous-ordre LITHOSTROTIONINA Spassky & Katchanov  
 1971  
 Famille LITHOSTROTIONIDAE D'Orbigny 1852  
 Sous-famille AULININAE Hill 1981  
 Genre *AULOKONINCKOPHYLLUM* Sando 1976  
*AULOKONINCKOPHYLLUM* sp. aff. *CARINATUM*  
 (Carruthers 1909)

aff. *Campophyllum carinatum* sp. nov. ; Carruthers in  
 Lee, 1909, p. 150, pl. 1, fig. 3-6 ; Gorsky, 1935, p. 7 ;  
 Gorsky, 1938, p. 8 ; Smith et Yü, 1943, p. 52.

aff. *Aulina carinata* (Carruthers) ; Hill, 1938, p. 13 ;  
 Vassiljuk, 1960, p. 100, pl. 24, fig. 1, 1a-c ; Fontaine,  
 1960, p. 121, pl. 20, fig. 5 - 6 ; Minato et Rowett, 1967,  
 p. 385 ; Perret et Semenoff-Tian-Chansky, 1971, p. 568 ;  
 Sime, 1972, p. 14 ; Semenoff-Tian-Chansky, 1974, p. 50,  
 fig. 16-18, pl. 3, fig. 1-8, pl. 4, fig. 1-6.

aff. *Aulokoninckophyllum carinatum* (Carruthers) ;  
 Sando, 1976, p. 433.

non *Aulina carinata* Yü (sp. nov.) ; Yü, 1934, p. 81,  
 pl. 14, fig. 4a-c (forme thamnastéroïde, qui est un *Aulina*  
 s. str.).

Materiel : Fragment d'un polypier solitaire engagé dans une  
 gangue sparitique localement dolomitisée et tronqué par l'érosion à  
 ses extrémités proximale et distale ainsi qu'obliquement sur l'une de  
 ses faces latérales. Cet unique spécimen est conservé dans les  
 collections du Laboratoire de Paléontologie et de Stratigraphie du  
 Paléozoïque de l'Université de Bretagne Occidentale, Brest  
 (Finistère, France) sous le n° LPB 11318. Un sciage pour l'obtention  
 d'empreintes à l'acétate suivant un plan de coupe longitudinale puis  
 un collage des deux moitiés obtenues, ont permis la fabrication de :

- 2 lames minces d'épaisseur pétrographique (coupes  
 transversales) ;
- 12 empreintes à l'acétate (6 coupes longitudinales, 2 obliques  
 et 4 transversales) ;
- 3 lames ultra minces à faces polies type "LFP" (coupes  
 transversales).

Aucune de ces préparations ne recouvre la totalité de la section  
 du polypier.

### Gisement et données stratigraphiques

Le spécimen décrit provient des clastes carbonatés du  
 "Conglomérat de Caouennet" dans sa localité type, sur la  
 bordure sud-ouest du Bassin de Châteaulin à environ 1500 m  
 au Nord-Ouest de cette même localité (voir Plusquellec *et al.*,  
 1983, fig. 3, loc. 398 et fig. 1 de la présente note). Pas  
 d'affleurement véritable, mais des blocs sub en place  
 remontés par les labours profonds sur un léger relief.

Les indications fournies par la microfaune (*Endothyra*  
 cf. *bowmani*, cf. *Monotaxinoides*, *Neoprioniodus*  
*singularis*) et par le polypier décrit ci-dessous, associées  
 aux données de la géologie régionale indiquent un âge  
 Viséen supérieur ne dépassant vraisemblablement pas le  
 V3b.

### Description

Les caractères externes de ce petit polypier ne sont pas  
 visibles, néanmoins l'ensemble des sections permet d'en  
 déduire la forme cylindroïde, la légère courbure et  
 d'identifier un début de bourgeonnement périphérique.

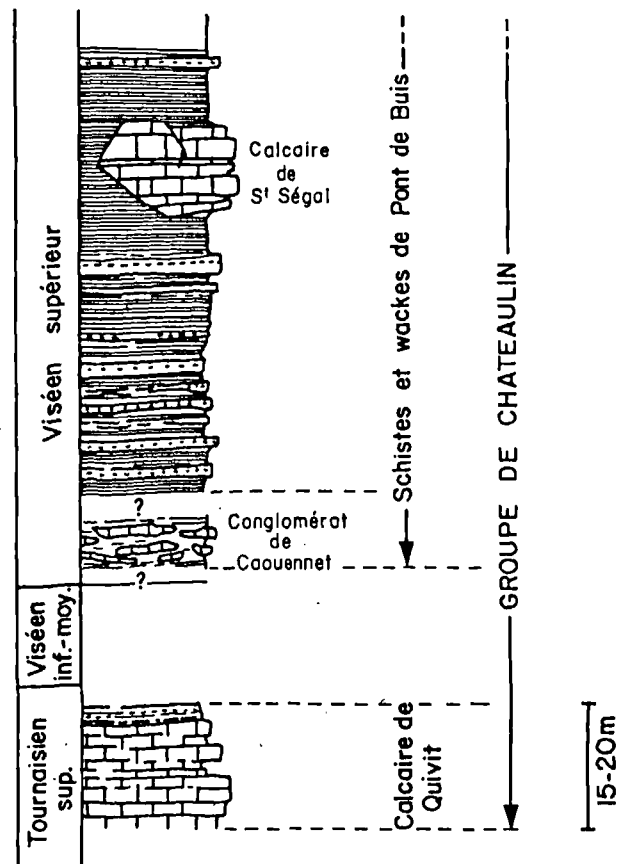


Fig. 1. — Colonne stratigraphique de la partie inférieure du  
 Carbonifère du Bassin de Châteaulin. Epaisseurs approximatives.  
 Remarque : C'est par erreur que sur la fig. 5, dans la note de  
 Plusquellec *et al.* 1983, la base du groupe de Châteaulin est  
 confondue avec la base des Schistes et wackes de Pont-de-Buis.

Fig. 1. — Lithostratigraphy of the lower part of the Carboniferous in  
 the Châteaulin basin. Approximative thickness.  
 N.B. In the paper by Plusquellec *et al.* 1983, fig. 5, the lower part of  
 the "Groupe de Châteaulin" and the lower part of the "Schistes et  
 wackes de Pont-de-Buis" have been mistakenly correlated.

### 1) Coupes transversales

La muraille externe est mince (40 à 120 µm d'épaisseur),  
 légèrement onduleuse, présentant par endroits l'alternance  
 de sillons septaux et de crêtes interseptales externes. Les  
 septes butent contre elle ou s'y enfoncent partiellement.  
 Occasionnellement, des septes mineurs, plus rarement  
 majeurs, sont séparés de la muraille par un ou plusieurs  
 dissépiments (fig. 2 et 4).

Les septes, minces et légèrement sinueux à la  
 périphérie, sont épaissis dans les parties moyenne et  
 interne du dissépimentarium. Ils s'amenuisent ensuite en  
 direction de l'axe. Les septes mineurs sont plus minces que  
 les majeurs d'environ 25%.

Les septes des deux ordres présentent des carènes  
 latérales inégalement développées, dans l'ensemble peu  
 proéminentes. Tantôt alternes, tantôt opposées, certaines  
 d'entre elles présentent une disposition intermédiaire que  
 l'on peut qualifier d'opposées-obliques. La répartition de  
 ces divers types est variable mais non quelconque. Le type  
 alterne est prédominant (45%). Il est plus fréquent à la  
 périphérie où il est en rapport avec des ondulations septales

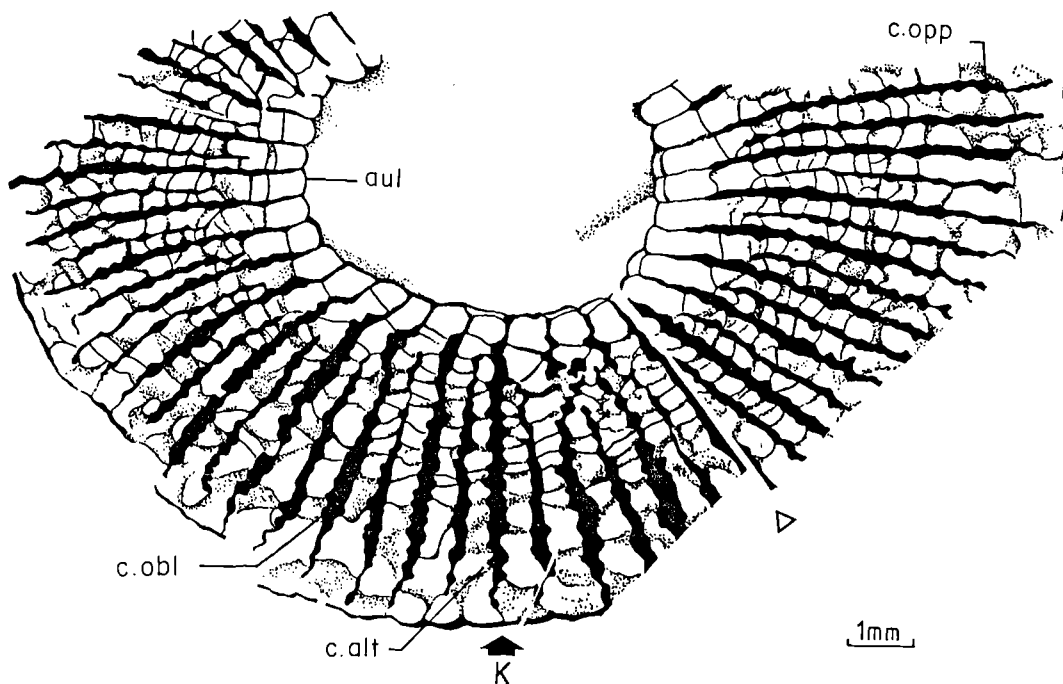


Fig. 2. — *Aulokoninckophyllum* aff. *carinatum* (Carruthers 1909).  
Coupe transversale vue du côté distal du polypier (LPB 11318b).

K : septe antipode ; aul : aulos ; c. alt : carènes alternes ; c. obl : carènes opposées-obliques ; c. opp. : carènes opposées ; triangle : position du trait de scie longitudinal.

Fig. 2. — *Aulokoninckophyllum* aff. *carinatum* (Carruthers 1909).  
Transverse section seen from top (LPB 11318b).

K : counter septum ; aul. : aulos ; c. alt : alternate carinae ; c. obl : oblique-opposed carinae ; c. opp : opposed carinae ; open triangle : position of the sawing.

plus marquées ("zig-zag carinae" des auteurs de langue anglaise).

Les septes majeurs pénètrent dans la partie périphérique du tabularium où ils s'amenuisent fortement et se terminent par une bifurcation d'où partent les cloisons en arcs de cercle qui forment l'aulos. En fait, il s'agit le plus souvent de l'incurvation de la partie la plus interne du septes majeur, l'arc de cercle ainsi formé rejoignant le septes majeur voisin en butant contre ce dernier. Les bifurcations vraies, où les septes se divisent en deux branches, sont rares. L'aulos est donc essentiellement formé par les bords défléchis des septes majeurs, et partiellement, comme on le verra plus loin, par le recourbement périphérique des planchers axiaux.

Quelques rares septes majeurs traversent l'aulos qu'ils ont contribué à former et pénètrent ainsi dans la partie axiale du tabularium.

Les septes mineurs atteignent les  $\frac{3}{4}$  de la longueur des septes majeurs. Ils dépassent légèrement les dissépiments les plus internes ou se terminent à leur niveau. A leur extrémité interne, ils s'infléchissent souvent vers le septes majeur situé du côté antipode ou encore lui sont reliés par un dissépiment. Ils présentent ainsi une tendance "contratingente", disposition qui permet de localiser le septes antipode peu différencié (fig. 2).

Dans la coupe figurée, l'extrémité des deux septes mineurs, situés de part et d'autre de l'un des septes majeurs, est recourbée vers ce dernier qu'ils définissent comme septes antipode. Cette interprétation est confirmée dans la même

coupe par la contratingence dans l'ensemble symétrique par rapport au septes antipode ainsi défini. De plus, une zone de septes des deux ordres, légèrement plus épaissis se situe de part et d'autre du septes antipode, lui-même plus épais. Cet épaississement peut être lié à une déformation tectonique (étirement perpendiculaire au plan antipode-cardinal). Quant au septes cardinal, il n'est pas compris dans les coupes transversales dont nous disposons.

Les dissépiments, simples pour la plupart, rarement entrecroisés, sont généralement concaves vers l'axe ou encore présentent une courbure faible, voire nulle. Cette diversité de courbure en coupe transversale est liée à leur bombement vertical prononcé et à leur position peu inclinée ou subhorizontale dans les deux tiers externes du dissépimentarium.

Plus de la moitié des dissépiments sont minces (20 à 40  $\mu$ m), les autres étant plus ou moins épaissis de stéréoplasme (40 à 200  $\mu$ m), cet épaississement restant toutefois modéré à faible. Répartis à tous les niveaux du dissépimentarium, les dissépiments épaissis sont plus nombreux vers le bord interne de celui-ci, où ils forment une dissépithèque lâche et discontinue.

Les planchers périaxiaux forment les traverses interseptales convexes vers l'axe et situées dans l'étroite zone comprise entre les extrémités des septes mineurs et majeurs.

Dans la zone axiale délimitée par l'aulos, les planchers axiaux constituent de larges bandes plus ou moins arquées, parfois divisées, ou encore sont pratiquement absents lorsque la coupe passe entre les planchers.

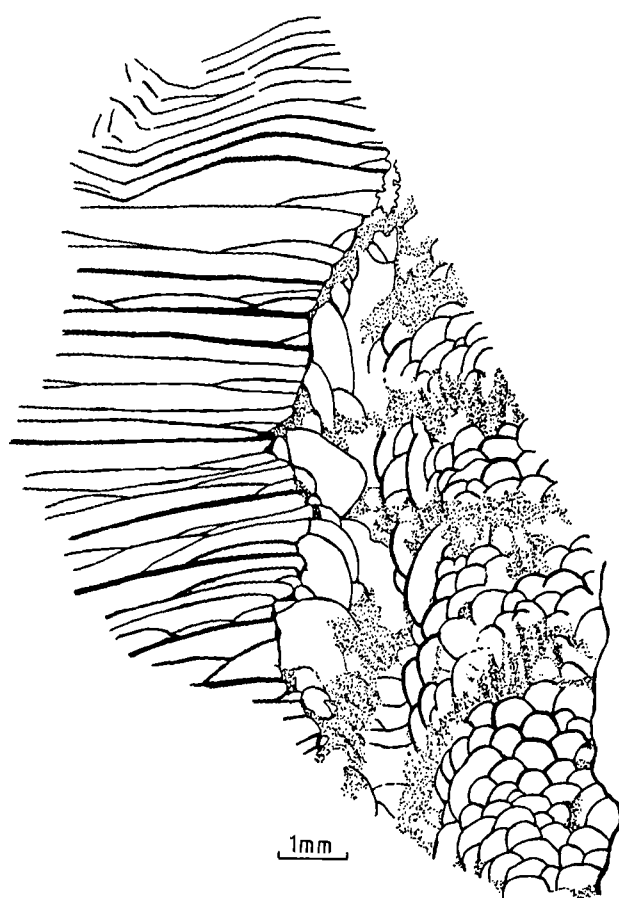


Fig. 3. — *Aulokoninckophyllum* aff. *carinatum* (Carruthers 1909). Empreinte à l'acétate LPB 11318.m ; coupe longitudinale. Remarquer dans les septes la disposition des trabécules en éventail. a : disséptimentarium ; b : planchers périaxiaux ; c : aulos ; d : planchers de la zone axiale.

Fig. 3. — *Aulokoninckophyllum* aff. *carinatum* (Carruthers 1909). Acetate peel LPB 11318.m ; longitudinal section. Note the trabecular fan system in the septa. a : disséptimentarium ; b : periaxial tabulae ; c : aulos ; d : tabulae of the axial zone.

## 2) Coupes longitudinales

Les disséptiments, en majorité petits et globuleux, sont subhorizontaux ou faiblement inclinés dans la partie externe du marginarium, puis s'inclinent progressivement jusqu'à la verticale au bord interne de ce dernier où ils sont relayés par des disséptiments plus larges et moins bombés. Des disséptiments plus grands s'intercalent à intervalles réguliers en hauteur, manifestation probable d'un rythme de croissance (fig. 3).

Les planchers de la zone axiale délimitée par l'aulos sont aplatis et horizontaux. Ils sont tantôt complets, tantôt plus ou moins divisés ou encore d'un seul tenant d'un bord à l'autre de l'aulos, mais complétés à la périphérie par des tabellae venant s'appuyer sur eux. Ils sont relativement denses. On en dénombre 34 pour 10 mm de hauteur au centre et 40 sur 10 mm à la périphérie de la zone axiale, près de l'aulos.

Les bords recourbés des planchers participent à la formation de l'aulos dont la majeure partie est celle construite par les bords défléchis des septes (vide supra) représentés en coupe longitudinale par des tronçons

verticaux de cloisons faisant un angle droit avec les planchers horizontaux.

La sous-zone des planchers périaxiaux comprend une série de planchers fortement recourbés venant plus ou moins dans le prolongement des planchers axiaux, relayée par une série étroite de planchers incurvés formant une gouttière entre la première série et le disséptimentarium. Les planchers périaxiaux sont plus espacés que les axiaux (18 à 26 pour 10 mm de hauteur).

## 3) Mensurations

Hauteur maximale observée : 25 mm. Diamètre maximum : 15 mm. Nombre de septes majeurs : 37 pour 15 mm de diamètre (évalué à partir de la demi-coupe transversale, fig. 2B). Diamètre de l'aulos : 4,35 mm ; diamètre du tabularium : 7,5 mm ; largeur du marginarium : 3,8 mm (toujours pour un diamètre de 15 mm). Densité des planchers axiaux : 34 pour 10 mm.

## 4) Microstructure

Le squelette du polypier est fortement recristallisé, cependant les lames ultra-minces montrent quelques régions mieux conservées qui permettent d'apporter d'utiles informations sur la microstructure (fig. 4 et 5).

Les septes comprennent une lame médiane, le mésoplasme, en majeure partie trabéculaire, inégalement recouverte sur ses deux faces d'un sclérenchyme plus uniforme, le stéréoplasme (fig. 4).

Le mésoplasme est formé de trabécules, dont les excroissances déterminent les carènes latérales plus ou moins développées, parfois d'un seul côté. Les trabécules sont juxtaposées ou au contraire séparées par des segments minces de septes correspondant aux "intercarinae" décrits par Sorauf et Oliver (1976) chez *Heliophyllum*. Le stéréoplasme, plus développé dans les  $\frac{3}{4}$  internes du marginarium, contribue à l'épaississement des septes et comble les creux entre les carènes en atténuant leurs protubérances. Il est localement discontinu ou présent seulement d'un côté des septes.

La microstructure des trabécules est fibro-radiale, celle des segments intertrabéculaires est granulaire passant par endroits à de minces couches fibreuses. Le stéréoplasme présente, quant à lui, une structure fibro-normale, avec au contact du mésoplasme, une couche initiale granulaire. Dans les points les mieux préservés du méso- et du stéréoplasme on reconnaît les interfaces à bosselures des fibres, typiques chez les coraux du Paléozoïque.

Dans les zones de recouplement longitudinal des septes, visibles sur répliques à l'acétate, on reconnaît la disposition des trabécules en semi-éventail (fig. 3). Une coupe non figurée ici montre des disséptiments externes inclinés vers la périphérie correspondant à un éventail plus complet et au plateau calicinal déversé.

La muraille, située en périphérie, est particulièrement altérée. En quelques points cependant, des cristaux allongés, perpendiculaires à sa surface externe, résultent de la recristallisation et de la fusion partielle d'une structure de type fibro-normal. La participation des septes à la constitution de la muraille est négligeable ; celle-ci est donc essentiellement une structure tangentielle non septale.

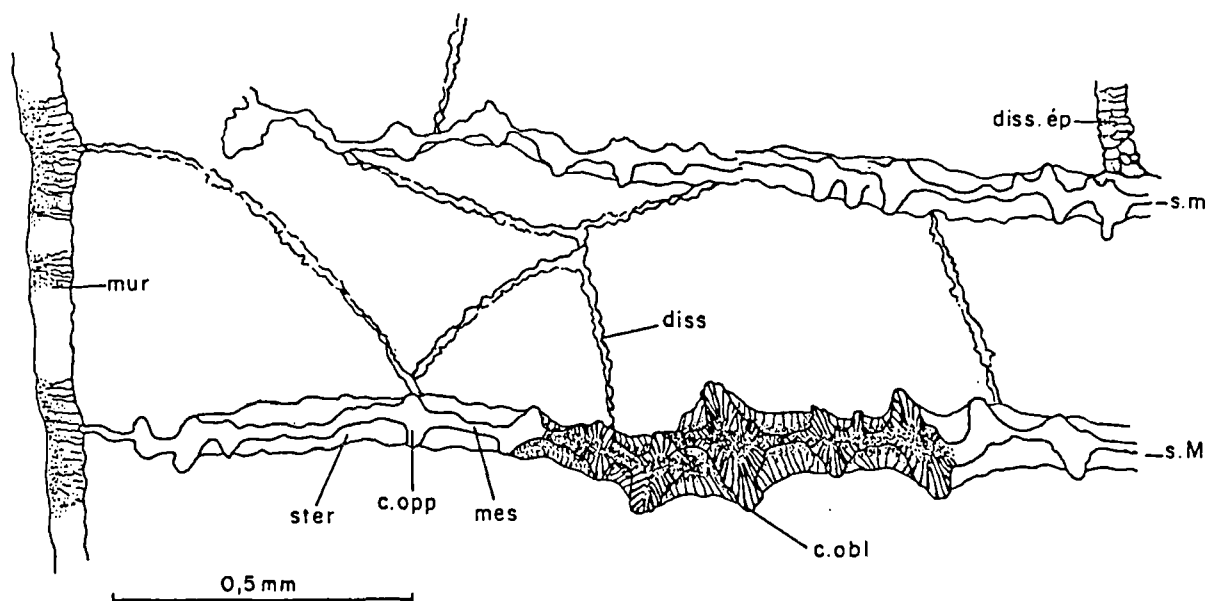


Fig. 4. — *Aulokoninckophyllum* aff. *carinatum* (Carruthers 1909).  
Lame ultra-mince "LFP", LPB 11318.d ; coupe transversale dans la moitié périphérique du marginarium.  
s. M : septe majeur ; s. m : septe mineur ; mur : muraille externe ; diss : dissepiment ; diss. ép : dissepiment épaissi ; c. obl : carènes opposées-obliques ; c. opp : carènes opposées ; mes : mésoplasme ; ster : stéréoplasme.

Fig. 4. — *Aulokoninckophyllum* aff. *carinatum* (Carruthers 1909).  
Ultra thin section "LFP", LPB 11318.d ; transverse section in the peripheral area of the marginarium.  
s. M : major septum ; s. m : minor septum ; mur : external wall ; diss : dissepiment ; diss. ep : thickened dissepiment ; c. obl : oblique-opposed carinae ; c. opp : opposed carinae ; mes : mesoplasm ; ster : stereoplasm.

Les dissépiments et les planchers, dans leur phase initiale, se présentent comme de fins chapelets de microcristaux de forme quelconque, imbriqués avec les plages sparitiques de la gangue. Lorsqu'ils sont épaissis de stéréoplasme, leur structure est similaire à celle de la muraille, présentant par endroits des vestiges d'une structure fibro-normale (fig. 4 : diss. ép).

La microstructure de l'aulos rappelle celle des dissépiments ou des planchers, mais elle en diffère par des éléments fibro-cristallins obliques par rapport à sa bordure, du moins dans les sections qui viennent en prolongement de l'extrémité interne des septes majeurs. Plus à l'écart des septes, les fibres changent d'orientation, sont localement perpendiculaires à la bordure de l'aulos ou encore se réorientent selon la direction des fibres du septe suivant (fig. 5).

Les arcs interseptaux de l'aulos forment une cloison interne festonnée, d'épaisseur variable (30 à 150 µm). Par endroits, des renflements, à peine perceptibles à faible grossissement, correspondent à des trabécules irrégulièrement réparties. En coupe longitudinale, elles apparaissent sous forme de denticulations pointant à la surface des planchers ou s'intègrent aux tronçons verticaux de l'aulos. Des renflements trabéculaires comparables existent également à l'extrémité interne de certains septes majeurs.

#### Affinités

Ce polypier solitaire, à septes trabéculaires pourvus de carènes latérales, possédant un aulos formé principalement par la déflexion du bord interne des septes majeurs et en

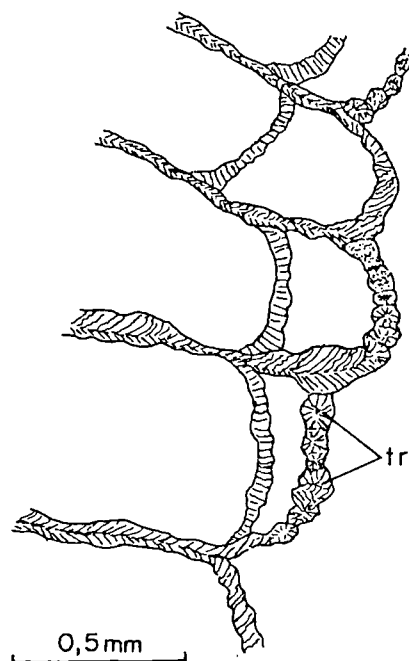


Fig. 5. — *Aulokoninckophyllum* aff. *carinatum* (Carruthers 1909).  
Lame ultra-mince "LFP", LPB 11318.d ; coupe transversale.  
Microstructure de l'aulos montrant l'orientation des fibro-cristaux et la présence de trabécules (tr).

Fig. 5. — *Aulokoninckophyllum* aff. *carinatum* (Carruthers 1909).  
Ultra thin section "LFP", LPB 11318.d ; transverse section.  
Microstructural features of the aulos showing the setting of the fibers and the presence of trabeculae (tr).

partie par des planchers recourbés, appartient incontestablement au genre *Aulokoninckophyllum* tel qu'il a été défini par Sando (1976, p. 432).

Des planchers aplatis à l'intérieur de l'aulos et fortement recourbés et inclinés à l'extérieur de celui-ci, où ils forment une gouttière, ainsi que des dissépiements en majorité globuleux, confirment cette appartenance générique.

Sando (1976) rapproche *Aulokoninckophyllum* de *Koninckophyllum* dont il dériverait et le classe dans la même famille, celle des Aulophyllidae en le séparant ainsi d'*Aulina* et genres voisins. Du reste, l'étymologie de son nouveau genre suggère qu'il s'agirait d'un *Koninckophyllum* pourvu d'un aulos.

Or, même si l'aulos d'*Aulokoninckophyllum* n'est pas aussi régulièrement formé par la déflexion des septes que chez *Aulina* ou *Solenodendron* par exemple, il n'en reste pas moins qu'il est partiellement d'origine septale. A notre connaissance, une telle structure, même partielle, n'existe pas chez les Aulophyllidae. Enfin, les parties de l'aulos constituées par le recourbement des planchers rappellent singulièrement les planchers axiaux recourbés et s'appuyant les uns sur les autres de certains *Diphyphyllum* que Smith (1928) a appelés "*Diphyphyllum* B".

Pour toutes ces raisons, nous classerons *Aulokoninckophyllum*, comme l'a fait Hill (1981) dans la famille des Lithostrotionidae, sous-famille des Aulininae.

Quant à ses affinités de rang spécifique, l'exemplaire de Caouennet est très proche d'*Aulokoninckophyllum carinatum*, par ses dimensions, le nombre de septes rapporté au diamètre, la largeur relative du marginarium et du tabularium.

Toutefois, une comparaison détaillée de notre spécimen avec les syntypes d'*A. carinatum* sur des photos aimablement communiquées par le Royal Scottish Museum d'Edimbourg et d'après les observations faites par l'un de nous (Semenoff-Tian-Chansky, 1974, p. 53) sur ces syntypes, fait apparaître un certain nombre de différences, à première vue relativement peu importantes :

1 - la densité des planchers axiaux est plus élevée : 34 sur 10 mm de hauteur au lieu de 22 à 26;

2 - les dissépiements sont plus petits. En coupe longitudinale leur longueur varie de 0,52 à 1,05 mm au lieu de 1,04 à 1,44 mm (moyennes) ;

3 - les trabécules septales sont plus serrées, équidistantes de 100 à 250  $\mu$ m au lieu de 200 à 340  $\mu$ m (en coupe transversale) ; la comparaison ne peut être poussée plus loin car les autres spécimens de *A. carinatum* n'ont pas été étudiés en lames à faces polies ;

4 - le stéréoplasme, bien qu'irrégulièrement réparti, est plus développé sur les faces latérales des septes ;

5 - le diamètre de l'aulos est plus grand en valeur absolue et surtout par rapport au diamètre total du polypier comme à celui du tabularium. Les rapports diamètre de l'aulos / diamètre du polypier et diamètre de l'aulos / diamètre du tabularium sont respectivement de 0,29 (au lieu de 0,18 à 0,19 pour les syntypes de Nouvelle Zemble) et de 0,58 (au lieu de 0,42 à 0,46 pour les éch. de Nouvelle Zemble).

Les différences des points 1 à 4 pourraient être attribuées à une variabilité intraspécifique, voire

individuelle. Parmi les spécimens d'*A. carinatum* du Bassin de Béchar par exemple, la densité des planchers axiaux varie presque du simple au double et dépasse parfois celle de notre échantillon (Semenoff-Tian-Chansky, 1974, pl. 3, fig. 5).

En revanche, le diamètre plus grand de l'aulos paraît nettement plus significatif, pour deux raisons notamment. D'une part, cette variation est étroitement liée à celle d'autres ensembles structuraux. En effet, un grand diamètre de l'aulos entraîne, à diamètre constant du tabularium, une diminution de la largeur de la sous-zone des planchers périaxiaux. D'autre part, chez presque tous les coraux attribués jusqu'ici à *A. carinatum* (spécimen de Nouvelle Zemble, du Bassin de Béchar, des Hautes Pyrénées et du Bassin de Donetz) l'aulos est plus petit. Seule exception, les spécimens du Laos (Fontaine, 1961, p. 121, pl. 20, fig. 5-6) dont la largeur de l'aulos est comparable à celle de notre échantillon. Ils en diffèrent cependant par un étroit dissépiementarium laissant la place à une plus large sous-zone périaxiale et par des planchers axiaux beaucoup plus espacés.

Parmi les rares autres espèces d'aulinomorphes solitaires rapportés au genre *Aulokoninckophyllum*, *A. aff. miloni* Vuillemin 1990, et *A. ngakoi* Vuillemin 1990, du Viséen inférieur et moyen du bassin de Laval, sont les seules à posséder un aulos aussi large comparativement au diamètre du polypier. Elles diffèrent cependant de notre spécimen par une sous-zone plus large de planchers périaxiaux, corrélative d'un tabularium plus étendu et d'un dissépiementarium plus étroit. Elles en diffèrent en outre par les septes peu ou pas carénés, des dissépiements moins globuleux et des planchers axiaux dont les bords ont une nette tendance à se relever, comme dans le genre *Semenoffia* Poty 1981.

En définitive, le spécimen de Caouennet appartient à une espèce ou à une sous-espèce très proche d'*A. carinatum*, mais qui en diffère par une série de variations mineures associées à un aulos plus large relativement au diamètre total et à celui du tabularium. Cette proximité apparaît encore plus clairement lorsqu'on le compare aux rares espèces d'*Aulokoninckophyllum* autres que celles que nous avons vues plus haut, comme *A. ubaghsi* Poty 1981, à planchers divisés et dissépiements externes déversés, ou encore (?) *A. simplex* (Hill 1934), à septes non carénés et à structure plus simple. Ne pouvant baser un taxon nouveau sur un seul échantillon, qui plus est fragmentaire, nous le laissons dans le groupe spécifique *carinatum* en notant la différence par la mention "affinis".

### Indication stratigraphique

Dans la "mouvance" de *carinatum*, le spécimen de Caouennet provient probablement d'un niveau situé dans la tranche d'âge correspondant à l'extension verticale de cette espèce, c'est-à-dire entre le Viséen supérieur inclus et le Serpukhovien supérieur (sommet de la sous-zone à Goniatites E2).

Par ailleurs, les formes classées jusqu'ici dans *A. carinatum* comprennent des morphotypes variés dont certains s'écartent peut-être même de l'espèce. Leurs provenances étant géographiquement dispersées et stratigraphiquement discontinues, on ne peut en déduire de lignée dont les stades successifs caractériseraient des niveaux précis. Toutefois, par son aulos régulier d'origine



principalement septale, le spécimen de Caouennet s'apparente le plus aux types de Nouvelle Zemble datés du Viséen supérieur (sans précision), âge qu'on peut raisonnablement attribuer à notre spécimen.

Cette estimation complète en la précisant celle fournie par la microfaune. L'ensemble de ces données permet d'attribuer un âge Viséen supérieur à certains au moins des éléments carbonatés du Conglomérat de Caouennet.

#### BIBLIOGRAPHIE (\*)

- HILL D. (1981) .- Rugosa and Tabulata. Supplément 1, in Robison, R.A. (ed.) : Treatise on Invertebrate Paleontology, Part F, Coelenterata, 2 vols : F1-F762. Boulder and Lawrence.
- MILON Y. (1923) .- Sur la faune et l'âge du calcaire carbonifère de Saint-Ségal (Finistère). *C.R. hebd. séances Acad. Sc.*, 176 : 591-592. Paris.
- MILON Y. (1928) .- Recherches sur les calcaires paléozoïques et le Briovérien de la Bretagne. Thèse, 151 p., 77 fig., 8 pl. Impr. Oberthur, Rennes.
- ORBIGNY A. d' (1852) .- Cours élémentaire de paléontologie et de géologie stratigraphique. 2, 1 : 1-382, 392 fig. Masson, Paris.
- PELHATE A. (1973) .- Précisions sur l'âge de la série carbonatée dans l'Ouest de Bassin de Châteaulin et déductions paléogéographiques. *C.R. Acad. Sc.*, 277 : 2305-2307. Paris.
- PELHATE A. & SAGON J.P. .- Lexique stratigraphique (inédit).
- PERRET M.-F. & SEMENOFF-TIAN-CHANSKY P. (1971) .- Coralliaires des calcaires carbonifères d'Ardengost (Hautes-Pyrénées). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 107, 3-4 : 567-594, 5 pl.
- PLUSQUELLEC Y., PELHATE A., ROLET J. & WEYANT M. (1983) .- Découverte de calcaire tournaisien supérieur et de conglomérat (Viséen supérieur probable) près de la bordure occidentale du Bassin de Châteaulin (Massif Armoricain, France). Intérêt stratigraphique et tectonique. *Bull. Soc. géol. minéral. Bretagne*, 1982 (C), 14, 2 : 1-11, 4 fig., 3 pl. Rennes.
- POTY E. (1981) .- Recherches sur les Tétracoralliaires et Hétérocoralliaires du Viséen de la Belgique. *Meded. Rijks. Geol. Dienst.*, 35 (1) : 1-161, 63 fig. 9 tabl., 34 pl. Maastricht.
- SANDO W.J. (1976) .- Revision of the Carboniferous genus *Aulina* Smith (Coelenterata, Anthozoa). *Journ. Research U.S. Geol. Survey*, 4 (4) : 421-435, 6 fig. Washington.
- SEMENOFF-TIAN-CHANSKY P. (1974) .- Recherches sur les Tétracoralliaires du Carbonifère du Sahara Occidental. *Mém. Mus. nat. Hist. nat., N.S., C.*, 30 : 1-316, 76 pl. Paris.
- SIME I.F. (1972) .- A catalogue of Carboniferous Corals in the Royal Scottish Museum, Edinburgh. *Royal Scottish Museum, Information series Geology 4* : 1-72. Edinburgh.
- SORAUJ J.E. & OLIVER W.A. Jr. (1976) .- Septal carinae and microstructure in Middle Devonian *Heliophyllum* (Rugosa) from New-York state. *J. Paleont.*, 50 (2) : 331-343, 5 pl., 6 fig. Tulsa.
- SPASSKY N. Ya. & KATCHANOV E.I. (1971) .- (Nouveaux coraux primitifs du Carbonifère inférieur de l'Altai et de l'Oural). *Leningradsk. Gorn. Inst., Zap.*, 59 (2) : 48-64, 4 pl.
- VERRILL A.E. (1865) .- Classification of polyps. *Proc. Essex Inst.*, 4 : 145-149.
- VUILLEMIN C. (1990) .- Les Tétracoralliaires (Rugosa) du Carbonifère inférieur du Massif Armoricain (France). *Cahiers de Paléontologie, C.N.R.S.* : 1-171, 113 fig., 26 pl. Paris.

(\*)Toutes - ou presque toutes - les publications antérieures à 1970 sont référencées dans l'ouvrage de H.W. Flügel, 1970 : *Bibliographie der paläozoischen Anthozoa (Rugosa, Heterocorallia, Tabulata, Heliolitida, Trachypsammia)* I, 262 pp. ; Wien. Nous ne signalons donc que les travaux récents, les ouvrages généraux ou les publications à caractère régional.



## MÉTHODE D'INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DE TRAÇAGE ET QUANTIFICATION DE L'EFFET D'ÉCHELLE DU COEFFICIENT DE DISPERSION EN MILIEU CRAYEUX

An analytic method of tracer tests and quantification of the scale effect of the coefficient of dispersion in chalk.

Par Erick CARLIER(\*) et Gilles POREL(\*\*)

*Résumé.* — Les résultats expérimentaux de traçage en colonne de laboratoire, réalisés sur matériaux crayeux et siliceux, ont été analysés selon une méthode particulière présentée dans cette note. Les paramètres hydrodispersifs, porosité cinématique et dispersivité, sont invariants pour le matériau siliceux alors qu'ils varient avec le débit et la distance pour le matériau crayeux. Cet effet d'échelle, du aux échanges entre eau mobile et phase solide, a été quantifié en considérant une dépendance linéaire du coefficient de dispersion avec la position du centre de gravité du nuage de traceur. Les calages obtenus conduisent à conclure favorablement sur la fiabilité de la méthode présentée.

*Abstract.* — Tracer tests, carried out on chalk and sand in laboratory column, have been analysed with a particular method presented in this paper. The parameters of dispersion, effective porosity and dispersivity, are constant for the sand and exhibit a scale effect for the chalk which has been quantified by regarding that the dispersion coefficient would be linearly dependent of the position of the center point of the tracer cloud from the source. The comparison between experimental and computed results lead to conclude positively on the validity of the method presented.

### I. — INTRODUCTION

L'effet d'échelle du coefficient de dispersion n'est pas un phénomène nouveau et la bibliographie sur ce sujet est abondante. La craie est un milieu à double porosité, intragranulaire et intergranulaire ou de fissure selon qu'elle se présente comme milieu fissuré ou poreux. Par diffusion moléculaire, des échanges s'effectuent entre la phase d'eau mobile et la phase d'eau immobile contenue dans la matrice, entre la phase d'eau mobile et la phase solide et aussi entre la phase d'eau immobile et la phase solide. Le sens des échanges s'inverse quand le gradient de concentration s'inverse. Ce sont les phénomènes de diffusion-retrodiffusion, d'adsorption-désorption auxquels peut s'ajouter la décroissance radioactive dans le cas de traceurs isotopiques. Les constantes d'échanges sont déterminées en laboratoire puis introduites dans l'équation de la dispersion que l'on résout numériquement ou analytiquement. Citons les travaux de Cameron et Klut (1977), Neretnieks (1980,1981), Sudicky et Frind (1981,1982), Maloszewski et Zuber (1982,1985,1989,1990,1991). La détermination des coefficients d'échange est souvent délicate, les méthodes numériques à mettre en oeuvre sont généralement lourdes et, enfin, leur invariance en distance n'est pas systématique. Nous nous sommes donc focalisés sur la quantification analytique de l'effet d'échelle du coefficient de

dispersion global en considérant qu'il dépendait de la distance parcourue par le centre de gravité du nuage de traceur, fait suggérer par l'analyse des résultats expérimentaux.

Il existe plusieurs méthodes d'analyse quantitative de la courbe expérimentale de restitution d'un traceur dans le cas d'une injection instantanée:

- la méthode de l'écart-type (Fried et Combarous, 1971);
- la méthode de la variance réduite;
- la méthode "inverfc" (Gupta et al, 1980);
- la méthode des abaques de Sauty (1977);
- la méthode des trois points (Crampon, 1983);
- la méthode de Wang (1987);
- la méthode "D.A.P" (Porel,1988).

Le but recherché est la détermination de paramètres hydrodispersifs, à savoir la porosité cinématique et la dispersivité, qui permettent de réaliser des études prévisionnelles de la propagation d'un polluant dans une nappe souterraine. La résolution de l'équation de dispersion conduit à plusieurs solutions analytiques liées aux

(\*)JE 231, Laboratoire d'Hydrogéologie, Université de Lille

(\*\*)JE 274, Laboratoire d'Hydrogéologie, Université de Poitiers

Note présentée le 3 Novembre 1994 et acceptée pour publication par le Conseil de la S.G.N. le 16 Novembre 1994.

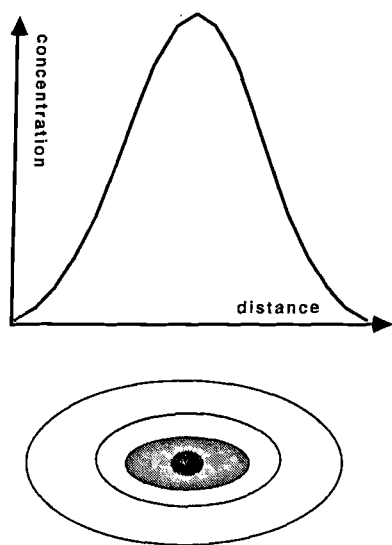


Fig. 1. — Répartition des concentrations dans le nuage de pollution.  
 Fig. 1. — Concentration spreading in the tracer cloud.

conditions aux limites, elles-mêmes imposées par les conditions expérimentales. La démarche généralement utilisée consiste à ajuster, aux courbes expérimentales, une des solutions analytiques. Les paramètres de calage sont les coefficients hydrodispersifs recherchés. Une nouvelle méthode de calage a été élaborée (Carlier, 1993) et appliquée aux résultats expérimentaux obtenus en colonne de laboratoire sur matériaux siliceux et crayeux (Porel, 1988).

**II. — MÉTHODE D'OBTENTION DES PARAMÈTRES DE DISPERSION.**

Dans le cas d'une injection brève en milieu infini, la solution analytique de l'équation de dispersion est :

$$C = \frac{M}{Q} \cdot \frac{u}{\sqrt{4 \cdot \pi \cdot D \cdot t}} \exp\left(-\frac{(x - u \cdot t)^2}{4 \cdot D \cdot t}\right) \quad (1)$$

C: concentration ( $M \cdot L^{-3}$ ) ; M: masse (M) ; u: vitesse moyenne ( $L \cdot T^{-1}$ ) ; D: coefficient de dispersion ( $L^2 \cdot T^{-1}$ ) ; t: temps (T) ; x: distance (L)

Cette équation peut aussi être obtenue par approche stochastique en considérant le trajet total d'une particule comme une succession de pas aléatoires (Carlier, 1993).

A un temps fixe, la figure 1 montre que la répartition spatiale de la concentration est gaussienne.

Au temps modal, la dérivée de (1) s'annule pour la valeur de D suivante:

$$D = \frac{x^2}{2} \cdot \left(\frac{1}{t_m} - \frac{t_m}{t_i}\right) \quad (2)$$

$t_m$  : temps modal ;  $t_i$  : temps de transfert par convection.

En introduisant (2) dans (1), la concentration maximale s'exprime par :

$$C_m = \frac{M}{Q} \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot (t_i^2 - t_m^2)}} \cdot \exp\left(-\frac{(t_i - t_m)}{2 \cdot (t_i + t_m)}\right) \quad (3)$$

$t_i$  peut être déterminé par méthode itérative en fonction de  $C_m$ , M, Q et  $t_m$ . Nous avons utilisé la méthode "Régula Falsi". Connaissant le temps de transfert par convection, il est possible de calculer la vitesse moyenne et, à partir de (2), le coefficient de dispersion et la dispersivité. De même, la porosité cinématique peut être déterminée par le rapport entre le débit et le produit de la vitesse moyenne par la section de la colonne.

Q (cm <sup>3</sup> /mn)	t <sub>i</sub> (mn)	t <sub>m</sub> (mn)	u (cm/mn)	D (cm <sup>2</sup> /mn)	α (cm)
63.16	77.887	67	2.299	62.24	27.06
89.16	53.61	45	3.341	105.28	31.51
120	37.7416	32	4.745	140.89	29.69
148.8	30.44	25.8	5.97	175	29.75
253.98	15.981	14	11.193	266.41	23.772

Tableau I. — Résultats expérimentaux et calculés pour 179,1 cm  
 Table I. — Experimental and computed data for 179,1 cm

Q (cm <sup>3</sup> /mn)	t <sub>i</sub> (mn)	t <sub>m</sub> (mn)	u (cm/mn)	D (cm <sup>2</sup> /mn)	α (cm)
63.16	32.68	27.6	2.524	35.35	14
89.16	21.22	18	3.887	53.0246	13.63
120	14.5868	12.5	5.655	72.32	12.786
148.8	13.19	11.2	6.25	84.76	13.55
253.98	7.01	6.25	11.76	111.665	9.48

Tableau II. — Résultats expérimentaux et calculés pour 82,5 cm.  
 Table II. — Experimental and computed results for 82,5 cm.

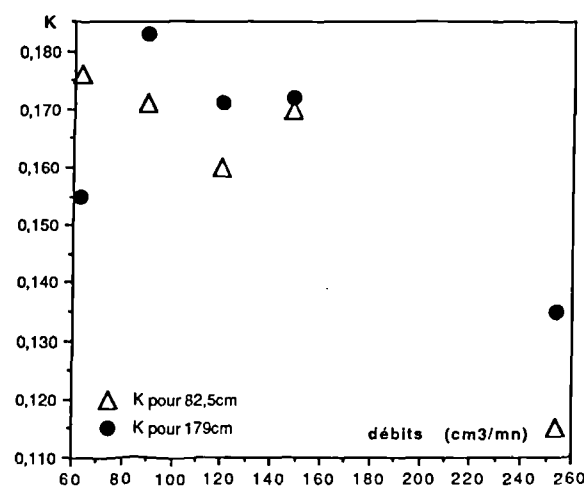


Fig. 2. — Évolution du paramètre K en fonction du débit  
 Fig. 2. — Parameter K versus discharge

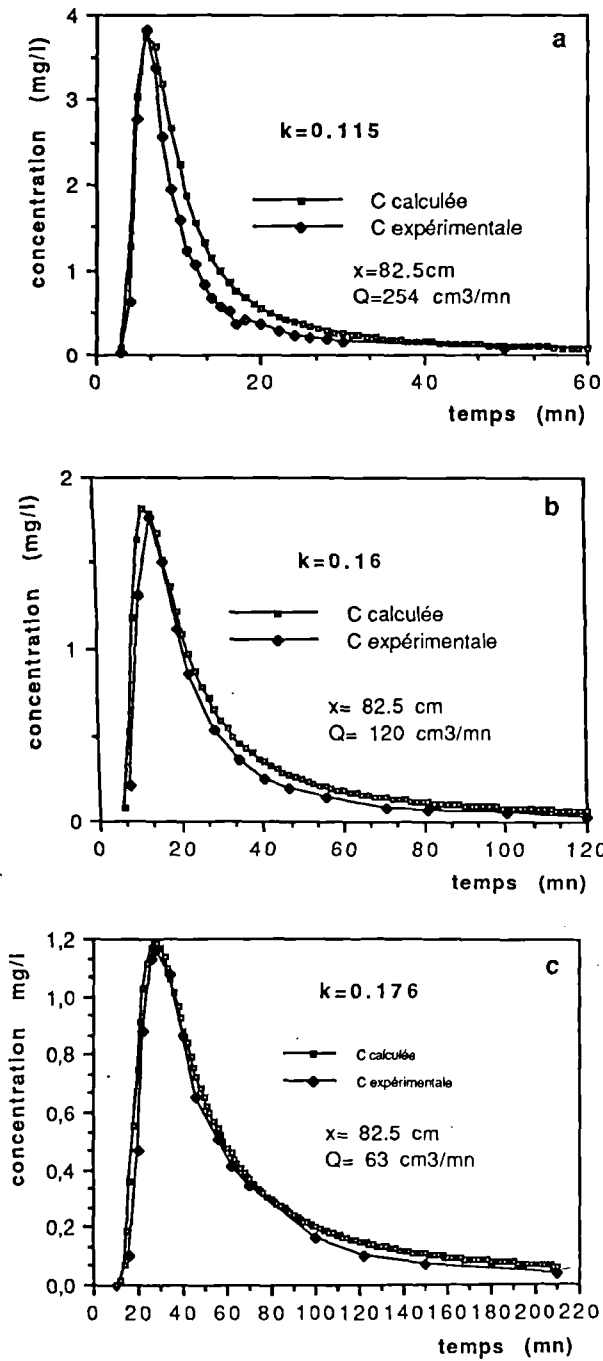


Fig. 3. — Exemples de calage à 82,5cm

Fig. 3. — Fit examples at 82,5cm

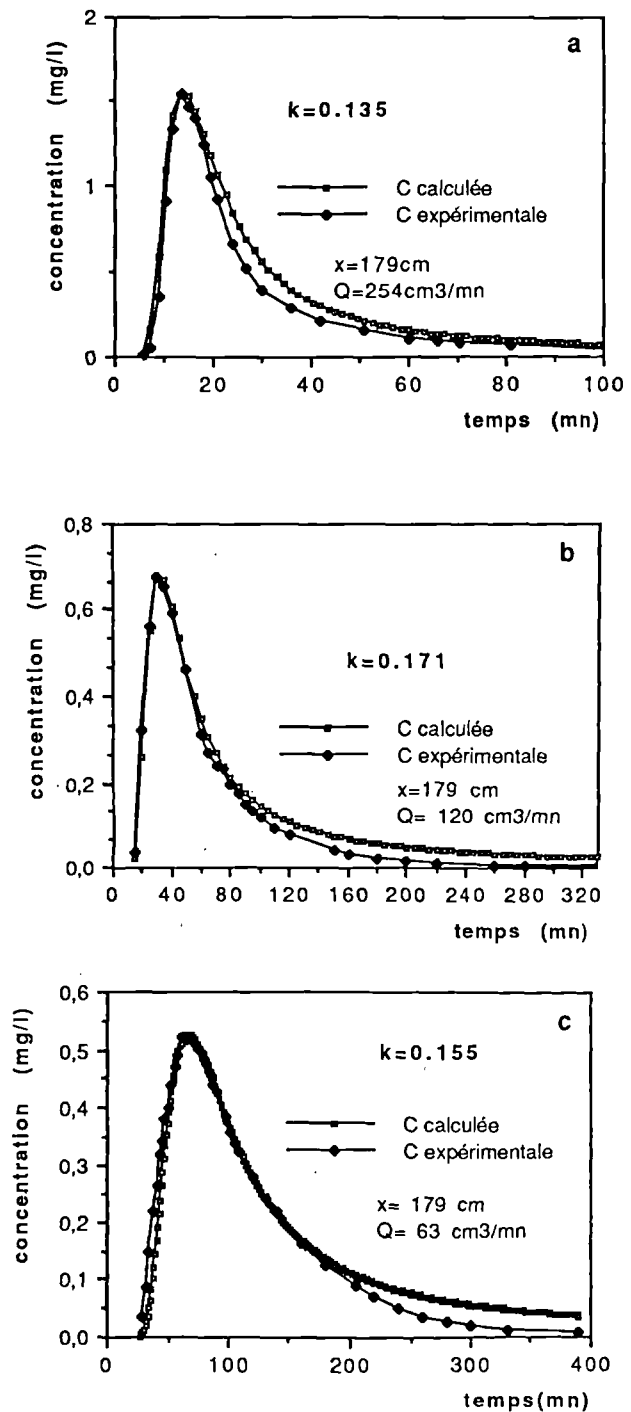


Fig. 4. — Exemples de calage à 179cm

Fig. 4. — Fit examples at 179cm

### III. — ETUDE SUR MATÉRIAU SILICEUX.

Les travaux expérimentaux ont été réalisés sur colonne par Porel (1988). Il a réalisé dix traçages sur matériau siliceux (sable des alluvions de la Seine) pour une gamme de débit allant de 87,42 à 355,03 cm<sup>3</sup>/mn. Trois traçages ont été effectués avec du tritium, les sept autres avec de l'uranine. Les prélèvements ont été réalisés à 82,5 cm et 179,1 cm du point d'injection. Les valeurs de dispersivité calculées par les méthodes pré-citées ont été comparées à celles obtenues par la méthode présentée ci-dessus.

Les valeurs de dispersivité obtenues aux deux distances sont quasiment constantes ; la dispersivité moyenne associée à l'écart quadratique moyen est de 0,6 cm ± 0,04 pour 179,1 cm et 0,58 cm ± 0,05 pour 82,5 cm.

Les valeurs de dispersivité déterminées par les méthodes pré-citées sont :

0,65 cm ± 0,07 et 0,64 cm ± 0,09 pour la méthode de Fried  
1,00 cm ± 0,25 et 0,94 cm ± 0,17 pour la méthode de la variance réduite

0,64 cm ± 0,07 et 0,66 cm ± 0,11 pour la méthode de Gupta  
 0,59 cm ± 0,05 et 0,58 cm ± 0,08 pour la méthode de Crampon  
 0,54 cm ± 0,06 et 0,54 cm ± 0,12 pour la méthode de Wang  
 0,59 cm ± 0,05 et 0,57 cm ± 0,08 pour la méthode D.A.P.

Seuls les résultats obtenus par la méthode de la variance réduite s'écartent notablement des autres résultats.

#### IV. — ETUDE SUR MATÉRIAU CRAYEUX.

Les tableaux I et II récapitulent les données expérimentales et calculées pour cinq débits et les deux et distances d'observation:

Il apparaît nettement que le coefficient de dispersion est dépendant de la distance. Afin de quantifier cet effet d'échelle du coefficient de dispersion, nous avons considéré qu'il dépendait de la distance parcourue par le centre de gravité du nuage de traceur.

L'équation (2) peut se mettre sous la forme:

$$D = k \cdot x \cdot u \quad (4)$$

$$k = \left( \frac{t_i}{t_m} - \frac{t_m}{t_i} \right) / 2$$

Au temps  $t$ , le centre de gravité du nuage est situé à la distance  $u \cdot t$  pour laquelle le coefficient de dispersion est égal à  $k \cdot u^2 \cdot t$ . En introduisant cette expression dans

l'équation (1), et en annulant sa dérivée au temps modal, on obtient comme expression de la vitesse moyenne:

$$u = \frac{x \cdot (1 - \sqrt{1 + 8 \cdot k})}{-4 \cdot k \cdot t} \quad (5)$$

De même, pour la concentration maximale:

$$C(t_m) = \frac{M}{Q \cdot \sqrt{4 \cdot \pi \cdot k} \cdot t_m} \cdot \exp \left( - \frac{(4 \cdot k - (1 - \sqrt{1 + 8 \cdot k})^2)}{4 \cdot k \cdot (1 - \sqrt{1 + 8 \cdot k})^2} \right) \quad (6)$$

Le coefficient  $k$  est déterminé par approximations successives à partir de l'équation (6). Celui-ci répond à la définition de l'inverse du nombre de Péclet qui exprime l'importance de la convection par rapport à la dispersion; son évolution en fonction du débit est présentée en figure 2.

Les calages obtenus montrent que ce nombre est fortement invariant dans la gamme des débits expérimentaux utilisée (fig. 3 et 4).

#### V. — CONCLUSION

La méthodologie présentée, basée sur la quantification de l'évolution spatiale du coefficient de dispersion globale, produit des résultats dont la confrontation aux données expérimentales nous amènent à conclure favorablement quant à sa fiabilité pour la gamme des débits expérimentaux utilisée, à l'échelle de la colonne de laboratoire. La suite logique de ce travail consistera à tester cette méthodologie à l'échelle hectométrique par traçage sur le terrain et à l'échelle plurikilométrique par l'analyse des migrations des grandes zones contaminées de l'eau de la craie dans le bassin minier du Nord-Pas-de-Calais, notamment au droit des friches industrielles.

#### BIBLIOGRAPHIE

- CARLIER E. (1993). — Les écoulements dans les formations carbonatées. Modalités et effet d'échelle des paramètres de dispersion. Habilitation à diriger des recherches en Sciences Naturelles. Université de Lille.
- CAMERON D.R. and KLUTE A. (1977). — Convective-dispersive solute transport with a combined equilibrium and kinetic adsorption model. *Water Res. Res.*; 13(1), pp 183-188
- CRAMPON N. (1983). — Abaques de détermination rapide des caractéristiques hydrodispersives lors de traçages par injection brève. *Bull. BRGM Hydrog.*, vol 4, pp 287-292.
- FRIED J.J. and COMBARNOUS M.A. (1971). — Dispersion in porous media. *Advances in Hydrosiences*, Ed. Van Te Chow, vol 7, pp 167-282.
- GUPTA S.K., BATTA R.K. and PANDEY R.N. (1980). — Evaluating hydrodynamic dispersion coefficients. *Journal of Hydrol.*, vol 47, pp 369-372.
- MALOSZEWSKI P. and ZUBER A. (1982). — Determining the turnover of groundwater systems with the aid of environmental tracers. 1, moels and their applicability. *Journal of Hydrol.*, vol 57, pp 207-231.
- MALOSZEWSKI P. and ZUBER A. (1985). — On the theory of tracer experiments in fissured rocks with a porous matrix. *Journal of Hydrol.*, vol 79, pp 333-358.
- MALOSZEWSKI P. and ZUBER A. (1989). — Mathematical models for interpreting tracer experiments in fissured aquifers, in the application of isotopic techniques in the study of the hydrology of fractured and fissured rocks. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- MALOSZEWSKI P. and ZUBER A. (1990) - Mathematical modeling of tracer behavior in short term experiments in fissured rocks. *Water Res. Res.*, 26(7), pp 1517. —1528.
- MALOSZEWSKI P. and ZUBER A. (1991). — Influence of matrix diffusion and exchange reactions on radiocarbon ages in fissured carbonate aquifers. *Water Res. Res.*, 27(8), pp 1937-1945.
- NERETNIEKS I. (1980). — Diffusion in the rocks matrix. An important factor in radionuclide retardation ? *J. Geophys. Res.*, 85(88), pp 4379-4397.
- NERETNIEKS I. (1981). — Age dating of groundwater in fissured rocks : influence of water volume in micropores. *Water Res. Res.*, 17(2), pp 421-422.
- SUDICKY E.M. and FRIND E.O.(1981). — Carbon 14 dating of groundwater in confined aquifer : implications of aquitard diffusion. *Water Res. Res.*, 17(4), pp 1060-1064.
- SUDICKY E.M. and FRIND E.O.(1982). — Contaminant transport in fractured porous media : analytical solutions for a system of parallel fractures. *Water Res. Res.*, 18(6), pp 1634-1642.
- POREL G. (1988). — Transfert de soluté en aquifère crayeux. Causes de modifications des résultats de traçages. Thèse Univ. de Lille, 327 p.
- SAUTY J.P. (1977). — Contribution à l'identification des paramètres de dispersion dans les aquifères par interprétation des expériences de traçages. Thèse de Doct. Ing., Univ. de Grenoble, 157 p.
- WANG H.Q. (1987). — Modélisation des transfert de masse en milieu saturé à double porosité. Application aux écoulements convergents en craie fissurée semi-confinée en multicouche. Thèse de Doct. Univ. de Paris XI, 273 p.

## COMPORTEMENT GÉOTECHNIQUE DES ARGILES DE CHÂTILLON (KIMMÉRIDIEN / TITHONIEN DU BAS-BOULONNAIS)

### Geotechnical behaviour of the "Argiles de Châtillon" Formation (Kimmeridgian/Tithonian from the Boulonnais, Northern France)

Par Pierre DEBRABANT(\*), Benoît ADIDA(\*\*), Jérôme PAINSET(\*\*),  
Jean-François DECONINCK(\*) et Philippe RE COURT(\*)

(Planches III et IV)

*Résumé.* — A l'issue d'un projet de fin d'études d'ingénierie, réalisé dans le cadre du Service Maritime de Boulogne-Calais, le problème du comportement physique hétérogène de la formation des Argiles de Châtillon (Kimmeridgien/Tithonien) est abordé sous l'angle de la minéralogie et de la granulométrie du matériau. Les niveaux sensibles aux glissements présentent une texture caractérisée par une dispersion importante des particules argileuses, originellement acquise lors de la sédimentation. En revanche le comportement vis à vis des glissements paraît totalement indépendant de la minéralogie.

*Abstract.* — The "Argile de Châtillon" Formation is responsible for common coastal landslips in the Boulonnais. The mineralogy and grain size analysis of clays are studied in order to understand their physical behaviour. The clayey horizons responsible for slipping are characterized by an important dispersion of clay particles. The physical behaviour of clay seems to be independent of the mineralogical composition.

#### I. — INTRODUCTION

Les argiles kimmeridgiennes sont depuis longtemps considérées par les aménageurs comme des terrains à risques (Briancourt, 1953; Vigue, 1956; Pinte, 1986; Sinelle, 1989). Ce sont des matériaux sensibles qui réagissent à toute modification de leur état initial. Le recul des falaises littorales résulte des actions marines (pour environ 20%) et des effets combinés de la gravité et de l'altération continentale (pour 80%). Dans le Bas-Boulonnais les désordres causés sont déjà recensés et décrits par les anciens auteurs (Leroux, 1929; Dutertre, 1930; Leroux 1959). Ils constatent que les argiles kimmeridgiennes et tithoniennes ont ici une nature globalement meuble et plastique et donc métastable. Cette instabilité induit d'importants mouvements de terrains, d'amplitudes et de types variés, tant au niveau des falaises vives qu'au niveau des falaises supposées mortes. A titre d'exemple citons: le glissement de la falaise Sainte Beuve au droit de l'Hôtel Impérial en 1930, la destruction continue de la falaise située au Nord d'Audresselles, celle de la falaise du Portel, et plus récemment les problèmes d'instabilité posés sur le tracé de l'autoroute A16 lors du contournement Est de la ville de Boulogne (CETE de Lille, 1993) ou, au S-E de la ville, le glissement dit du "Petit Caporal", actif sur le flanc ouest de la Côtée de St-Léonard (Dubernay, 1993).

Dans le Boulonnais les coupes de référence pour les Argiles de Châtillon se situent sur la falaise morte de

Châtillon, actuellement totalement couverte, mais où des descriptions ont été faites avec précision (Pellat, 1880; Dutertre 1930), notamment du fait de travaux urbains (Leroux, 1929; Adida et Painset, 1994).

Par ailleurs, les Argiles de Châtillon affleurent actuellement sur les falaises vives du littoral entre le Cap Griz Nez au Nord et Equihen au Sud. Les phénomènes de glissement sont particulièrement nets sur la falaise située au Nord d'Audresselles (Pl. III). Sur cette falaise on peut observer successivement, en se déplaçant vers le Nord, les Sables et Grès de Châtillon, l'ensemble des Argiles de Châtillon et la base des Grès de la Crèche (fig. 1).

Des descriptions sédimentaires récentes (Deconinck *et al.*, 1992; Proust *et al.*, 1993; Geysant *et al.*, 1993; Proust *et al.*, sous presse) montrent que les Argiles de Châtillon peuvent être divisées en deux membres:

- un membre inférieur constitué d'une alternance d'argiles plus ou moins silteuses et de calcaires argileux (voir plus précisément Geysant *et al.*, 1993). La base de ce membre comporte essentiellement des argiles feuilletées riches en matière organique, avec au sommet un niveau caractéristique d'argiles claires et plastiques, plus particulièrement responsable des instabilités physiques;

- un membre supérieur caractérisé par l'importance des argiles noires feuilletées.

(\*) URA 719 CNRS, Sédimentologie et Géodynamique. Université de Lille 1, 59 655 Villeneuve d'Ascq Cedex.

(\*\*) Ecole Universitaire d'Ingénieurs de Lille (EUDIL), 59 655 Villeneuve d'Ascq Cédex.

Note présentée le 16 Novembre 1994 et acceptée pour publication par le Conseil de la S.G.N. le 16 Novembre 1994

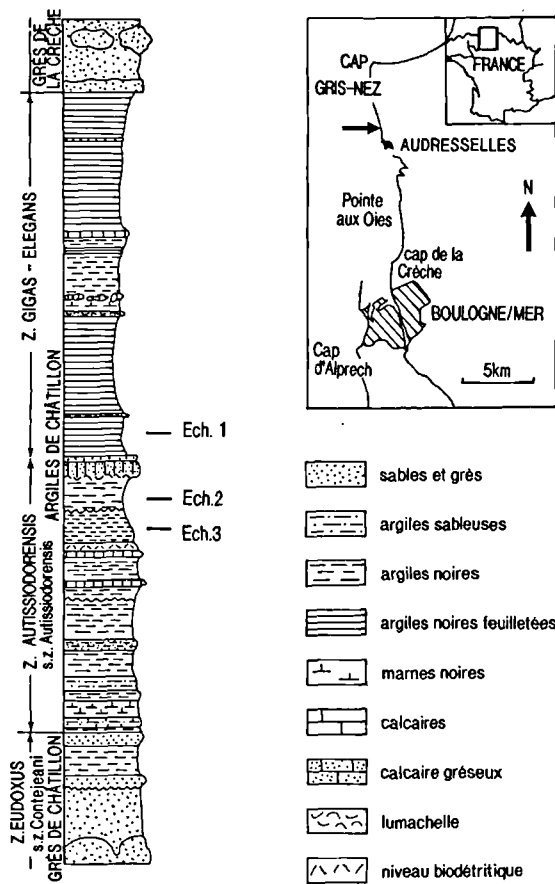


Fig. 1. — Coupe des Argiles de Châtillon au Nord d'Audresselles selon Geysant *et al.*, (1993). Ech. 1, 2, 3: positions approximatives des prélèvements d'échantillons. Dans le cartouche la flèche horizontale indique le lieu d'échantillonnage.

Fig. 1. — Section in the "Argiles de Châtillon" Formation, North of Audresselles (after Geysant *et al.*, 1993) and samples location.

Ces deux membres sont séparés par un banc bioclastique calcaréo-gréseux, épais de 0,50 m au Nord d'Audresselles, plus épais dans l'ancienne carrière de Châtillon (2,50 m) et essentiellement lumachellique. Ce banc marque la limite Kimméridgien/Tithonien (Geysant *et al.*, 1993).

On peut donc distinguer schématiquement, de la base au sommet des Argiles de Châtillon:

- des argiles noires feuilletées (échantillon 3);
- des argiles grises claires plastiques (échantillon 2);
- des argiles feuilletées et sableuses (échantillon 1).

D'un point de vue sédimentologique, les argiles noires feuilletées se sont déposées par décantation dans un milieu plus profond et plus calme que les argiles grises (Proust *et al.*, 1993; Geysant *et al.*, 1993)

## II. — MECANISME DES GLISSEMENTS

Dans le Kimméridgien/Tithonien les glissements apparaissent dès qu'un niveau réellement plastique parvient à l'affleurement. Les argiles demeurent stables tant qu'elles restent protégées des infiltrations. Cependant l'eau chemine aisément à travers les sables et les grès tithoniens puis les

argiles noires schisteuses et les lumachelles à Nanogyres, entraînant la saturation puis le fluage des argiles grises sous-incombantes. Une fois le mécanisme activé, la couverture agit par son poids et sa perméabilité. En fait dans le Bas-Boulonnais toutes les observations démontrent que le premier niveau imperméable responsable des glissements est l'horizon des Argiles grises de Châtillon. Une fois détremées, elles fluent en formant un bourrelet à l'affleurement, alors que les argiles noires supérieures et leur substratum lumachellique conservent globalement leur cohérence et sont transportées en masse.

En pratique l'ouverture des failles panaméennes est d'abord due à un soutirage du matériel sableux de la base de la falaise. La rupture des bancs lumachelliques diaclasés est alors possible. Ensuite, facilités par les infiltrations aquifères et un faible pendage vers la mer (Adida et Painset, 1994), les glissements, de type rotationnel affectent l'ensemble de la formation (Leroux 1959). Ils emportent des pans entiers de la falaise qui tend à se dédoubler. Quant au pendage pris par les couches glissées, il est directement fonction du poids de la couverture, du volume du massif argileux entraîné et de sa nature lithologique.

Dans ces mécanismes la différence de comportement des argiles grises et noires feuilletées est digne d'intérêt. On tente d'en approcher la compréhension grâce à l'étude de la texture et de la composition de ces matériaux. Pour ce faire nous avons effectué une investigation préliminaire par l'étude minéralogique et granulométrique de trois échantillons prélevés sur la falaise d'Audresselles dans les niveaux caractéristiques des argiles noires feuilletées (échantillons 1 et 3) et d'argile grise plastique (échantillon 2) (fig. 1).

## III. — ETUDE MINÉRALOGIQUE QUALITATIVE (ROCHE TOTALE)

L'étude minéralogique qualitative par diffraction des rayons X des poudres obtenues après broyage ménagé des échantillons 1, 2 et 3 d'Argile de Châtillon apporte les résultats suivants (fig. 2).

Dans les trois échantillons le quartz est largement dominant. Viennent ensuite des phyllites à 10 Å (illite ou mica) et à 7 Å (kaolinite), du gypse (7,56 Å), un peu de dolomite (2,88 Å) et de calcite (3,02 Å) ainsi que des traces de pyrite (2,71 Å).

Les argiles grises se distinguent aisément des argiles noires feuilletées par l'importance relative des phyllites beaucoup mieux définies par des pics principaux de diffraction et des harmoniques caractéristiques plus élevés. En particulier les chlorites se marquent parfaitement par l'association de pics à 14,3, 7,1 et 3,53 Å et les kaolinites par les pics à 7,1 et 3,57 Å, le premier étant commun avec celui des chlorites. Notons également la présence d'un pic à 3,01 Å, intermédiaire entre ceux de la calcite et de la dolomite et probablement attribuable à une calcite magnésienne, à un feldspath ou à un pyroxène. Ces précisions n'existent pas dans les argiles feuilletées qui à l'inverse se distinguent par l'importance relative de la dolomite et d'un peu de calcite (en partie liée aux nanofossiles observables au microscope électronique à balayage, Cf. Pl. III). Notons encore l'importance du gypse dans les argiles noires supérieures, également un peu plus feldspathiques.



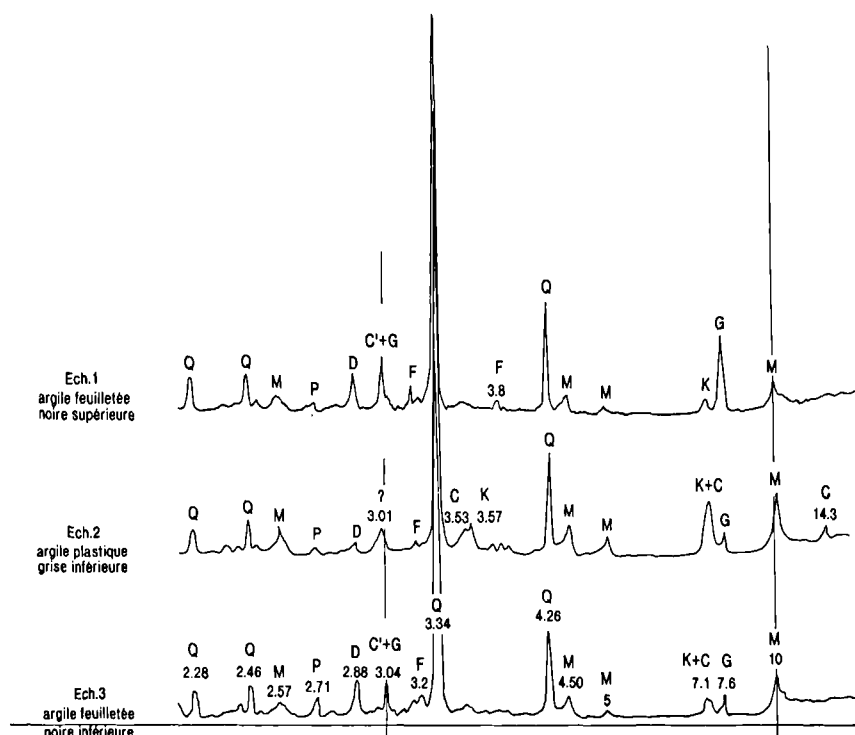


Fig. 2. — Spectres de diffraction des rayons X réalisés sur l'argile de Châtillon (roche totale). C: chlorite; M: mica et illite; G: gypse; K: kaolinite; Q: quartz; F: feldspath; C': calcite; D: dolomite; P: pyrite.

Fig. 2. — X-ray diffraction pattern of the "Argiles de Châtillon" (bulk rock) C: chlorite; M: mica and illite; G: gypsum; K: kaolinite; Q: quartz; F: feldspar; C': calcite; D: dolomite; P: pyrite.

En résumé à côté de la matière organique, absente dans les argiles grises (El Albani *et al.*, 1993), les argiles noires feuilletées sont plutôt enrichies en éléments déstabilisants: gypse (source d'anions bivalents  $\text{SO}_4^{2-}$  défloculant) et association dolomite-gypse, habituellement métastable (Blatt *et al.*, 1980; Foucault et Raoult, 1984), tandis que les phyllites semblent quantitativement mieux représentées dans les argiles grises. Ceci suggère une granulométrie plus fine donc plus réactive ou un développement des micas dans la taille des silts.

phylliteux sur la préparation, y traduisant un moindre nombre d'agrégats de particules inférieures à 2  $\mu\text{m}$ . Enfin le quartz y est également plus commun.

Remarquons en outre que les minéraux gonflants (smectites), qui diminuent en concentration relative dans les argiles grises, ne peuvent être considérés comme facteur explicatif de leur plus grande plasticité par rapport aux argiles noires.

#### IV. — ETUDE MINÉRALOGIQUE QUANTITATIVE DE LA FRACTION INFÉRIEURE À 2 $\mu\text{m}$

L'analyse diffractométrique de la fraction fine des Argiles de Châtillon (tab. I et fig. 3) confirme les résultats acquis antérieurement (Deconinck *et al.*, 1982). Les assemblages argileux sont dominés par l'illite (au moins 50%), puis la kaolinite (15 à 28%), la chlorite (12%), la smectite (dont les proportions évoluent en raison inverse de celles de la kaolinite) et un peu d'interstratifiés gonflants illite-smectite (10-14s) et chlorite-smectite (14c-14s).

La fraction argileuse des argiles grises se distingue de celle des argiles noires feuilletées par la rareté de la smectite au profit de la kaolinite et des minéraux interstratifiés clairement représentés (surtout les 10-14s). Par ailleurs elle se singularise par une intensité plus importante des pics de diffraction X, confirmant une particularité déjà observée dans l'analyse de la roche totale. Ceci résulte probablement d'une meilleure orientation de l'ensemble des cristaux

#### V. — ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

L'analyse granulométrique des trois échantillons a été menée à l'aide d'un granulomètre laser Malvern Master Sizer X. Plusieurs essais ont été réalisés pour effectuer l'analyse avec des modes opératoires différents:

- 1- après une agitation simple;
- 2- après agitation et action d'un dispersant chimique (hexaméthaphosphate de sodium à 2 pour mille);
- 3- après agitation et dispersion mécanique par ultrasons pendant des intervalles de temps variables.

L'action du dispersant chimique n'ayant que peu d'effet par rapport à l'essai par agitation simple, nous retiendrons les résultats issus des modes 1 et 3 avec une durée de dispersion ultrasonique de cinq minutes. Ces modes opératoires ont été appliqués aux échantillons 1, 2 et 3 en deux étapes:

- a- granulométrie de la "roche totale";
- b- granulométrie de la fraction silteuse (< 63 $\mu\text{m}$ ).

		ILLITES	CHLORITES	SMECTITES	KAOLINITES	10-14s	14c-14s	QUARTZ
		%	%	%	%	%	%	
ECH.1	ARGILES NOIRES FEUILLETEES SUP.	53	13	13	21	+	+	+
ECH.2	ARGILES GRISES	55	12	+	28	5	+	++
ECH.3	ARGILES NOIRES FEUILLETEES INF.	50	13	22	15	+	+	+

+ rare; ++ commun

Tableau I. — Composition minéralogique en % de la fraction inférieure à 2 µm des Argiles de Châtillon.

Table I. — Mineralogical composition of the clay fraction (<math>\leq 2\mu\text{m}</math> particles) from the Argiles de Châtillon.

ECHANTILLONS	MODE OPERATOIRE	MODE(s) µm	MEDIANE µm	MEDIANE de Folk (µm)	SABLES > 63 µm	SILT+ARG. < 63 µm	REMARQUES
1- ARGILE NOIRE FEUILLETEE SUP.	1 3	86,4/5,5/8 5,5/8/24	39,6 15,8	58 22,2	37 11	63 89	Fréquence plurimodale asymétrie négative forte
2- ARGILE GRISE PLASTIQUE	1 3	5,4 5,5	7,6 7,8	11,7 12,3	6 6	94 94	Fréquence unimodale asymétrie positive forte
3- ARGILE NOIRE FEUILLETEE INF.	1 3	35,7/5,5/8.6 5,5/7,9/22	23,3 12,2	33,4 17,3	19 5	81 95	Fréquence plurimodale asymétrie négative forte

MODE 1: granulométrie exécutée après simple agitation

MODE 3: granulométrie exécutée après agitation et dispersion ultrasonique pendant 5 minutes.

Tableau II. — Granulométrie des Argiles de Châtillon (roche totale)

Table II. — Grain size analysis of the Argiles de Châtillon, (bulk rock).

ECHANTILLONS	MODE OPERATOIRE	MODE(s) µm	MEDIANE µm	MEDIANE de Folk (µm)	SILT > 2 µm	ARGILE < 2 µm	REMARQUES
1- ARGILE NOIRE FEUILLETEE SUP.	1 3	24 17	14,2 11,9	18,6 15,8	92 90	8 10	Unimodale Asymétr. négative faible
2- ARGILE GRISE PLASTIQUE	1 3	5,5 5,6	5,2 5,5	7,8 8,5	76 77	24 23	Fréquence unimodale Symétrique
3- ARGILE NOIRE FEUILLETEE INF.	1 3	35 19,7	15,9 11,2	20,7 14,8	93 89	7 11	Unimodale Asymétr. négative faible

MODE 1: granulométrie exécutée après simple agitation

MODE 3: granulométrie exécutée après agitation et dispersion ultrasonique pendant 5 minutes.

Tableau III. — Granulométrie de la fraction silteuse des Argiles de Châtillon

Table III. — Grain size analysis from the silty fraction of the Argiles de Châtillon

### 1) Granulométrie de la roche totale

Les principales caractéristiques granulométriques des trois échantillons sont synthétisées dans le tableau II et dans la figure 4. La comparaison des résultats de l'analyse granulométrique de la roche totale obtenus en mode opératoire (1) montre que les argiles noires ont une granularité naturelle beaucoup plus grossière que les grises.

De plus les argiles noires sont fortement bimodales, voire trimodales et d'asymétrie forte vers les grandes tailles, tandis que les argiles grises sont pratiquement unimodales et d'asymétrie forte vers les petites tailles.

Enfin la comparaison des résultats des modes opératoires 1 et 3 montre parfaitement que l'énergie apportée par les ultrasons ne modifie en rien la granulométrie des argiles grises alors que la granulométrie des argiles noires se transforme fortement suite à un effet de dispersion mécanique évident. En particulier les modes grossiers (86,4µm et 35,7µm) s'effacent devant un mode fin dominant (5,5µm) identique à celui des argiles grises et les teneurs en sable sont divisées par trois à quatre. L'asymétrie se déplace vers les petites tailles.

Ce phénomène correspond vraisemblablement à la destruction d'agrégats de taille sableuse dont la présence

était d'ailleurs suggérée par la réduction d'intensité des signaux X des argiles noires par rapport à ceux des argiles grises. Il donne une idée des dispersions relatives des argiles noires et grises à l'origine de leur formation (Deleporte, 1983; Pejrup, 1988). On peut affirmer qu'en plus d'une granulométrie plus grossière l'argile noire est mieux floculée que la grise, elle même beaucoup plus dispersée.

## 2) Granulométrie de la fraction silteuse

La granulométrie de la fraction inférieure à 63 µm (tab. III et b, fig. 4) confirme les observations formulées dans le paragraphe précédent.

Les argiles grises se distinguent encore des argiles noires par leur plus grande proportion de particules de tailles inférieures à 2 µm (24%) et une courbe de fréquence symétrique. De même l'absence d'influence du traitement ultrasonique confirme la plus grande dispersion originelle de ce matériaux.

Inversement les argiles noires qui ne contiennent que 8 à 10% de particules < 2 µm offrent une asymétrie vers les grandes tailles et se dispersent encore un peu sous l'action des ultrasons.

En utilisant les résultats de l'ensemble des mesures granulométriques recueillies dans les tableaux 2 et 3 on peut calculer et proposer pour les trois échantillons les caractéristiques naturelles suivantes:

	sable	silt	argile	comportement
diamètres en µm	d>63	2<d<63	d<2	
argiles noires supérieures:	37%	55%	8%	silto-sableux
argiles grises:	6%	71%	23%	silto-argileux
argiles noires inférieures	19%	75%	6%	silto-sableux

## VI. — DISCUSSION

Sous l'action de l'eau, l'Argile grise de Châtillon donne une pâte liante, très plastique (Leroux 1959). C'est la couche la plus sensible d'un point de vue géotechnique. Contrairement aux argiles noires, les argiles grises fluent très facilement participant activement à la mise en mouvement des couches supérieures. Pour expliquer ce phénomène on peut difficilement évoquer un processus de gonflement dans le mécanisme de glissement des argiles grises. En effet, contrairement aux argiles noires, qui contiennent 10 à 20% de smectite, les argiles grises en sont dépourvues. Elles sont essentiellement constituées de minéraux argileux peu hydratés de type illite (50 à 60%), chlorite (10%) et kaolinite (25 à 30%).

Par ailleurs les argiles noires sont plus riches en sulfate (gypse) générateur d'anions divalents  $SO_4^{=}$  peptiseurs connus pour leurs propriétés défloculantes (Yariv et Cross, 1979; Bell, 1983) ainsi qu'en associations métastables gypse-dolomite (Foucault et Raoult, 1984; Blatt *et al.*,

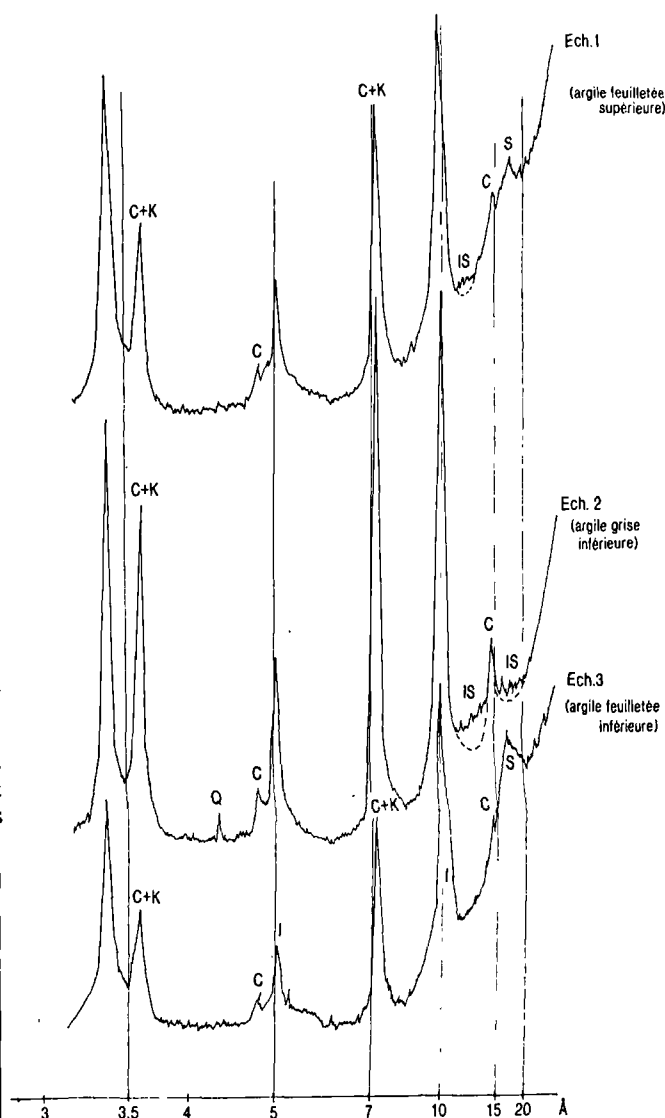


Fig. 3. — Spectres de diffraction des rayons X, réalisés sur la fraction granulométrique inférieure à 2 micromètres des Argiles de Châtillon après saturation par l'éthylène-glycol. I: illite; C: chlorite; S: smectite; K: kaolinite; IS: interstratifiés gonflants; Q: quartz.

Fig. 3. — X-ray diffraction pattern after glycol solvation of the clay fraction (less than 2µm particles) from the "Argiles de Châtillon". I: illite; C: chlorite; S: smectite; K: kaolinite; IS: swelling illite/smectite mixed-layers; Q: quartz.

1980) que l'argile grise. Ces points sont confirmés à la fois par les anciennes analyses de la Société des Ciments Français (Leroux, 1929) et les mesures diffractométriques sur poudre totale effectuées à propos de cette étude.

Il semble donc que les différences de comportement physique observées entre ces argiles ne soient pas directement liées à leur composition minéralogique, car selon ces critères les argiles noires devraient être plus sensibles que les grises aux déstabilisations gravitaires, d'autant qu'elles sont également beaucoup plus riches en matière organique (El Albani *et al.* 1991; Herbin *et al.*, 1994; Geysant *et al.*, 1993). C'est en réalité l'inverse qui se produit. Les comportements physiques de ces matériaux paraissent davantage contrôlés par leur granulométrie et leur degré d'agrégation.

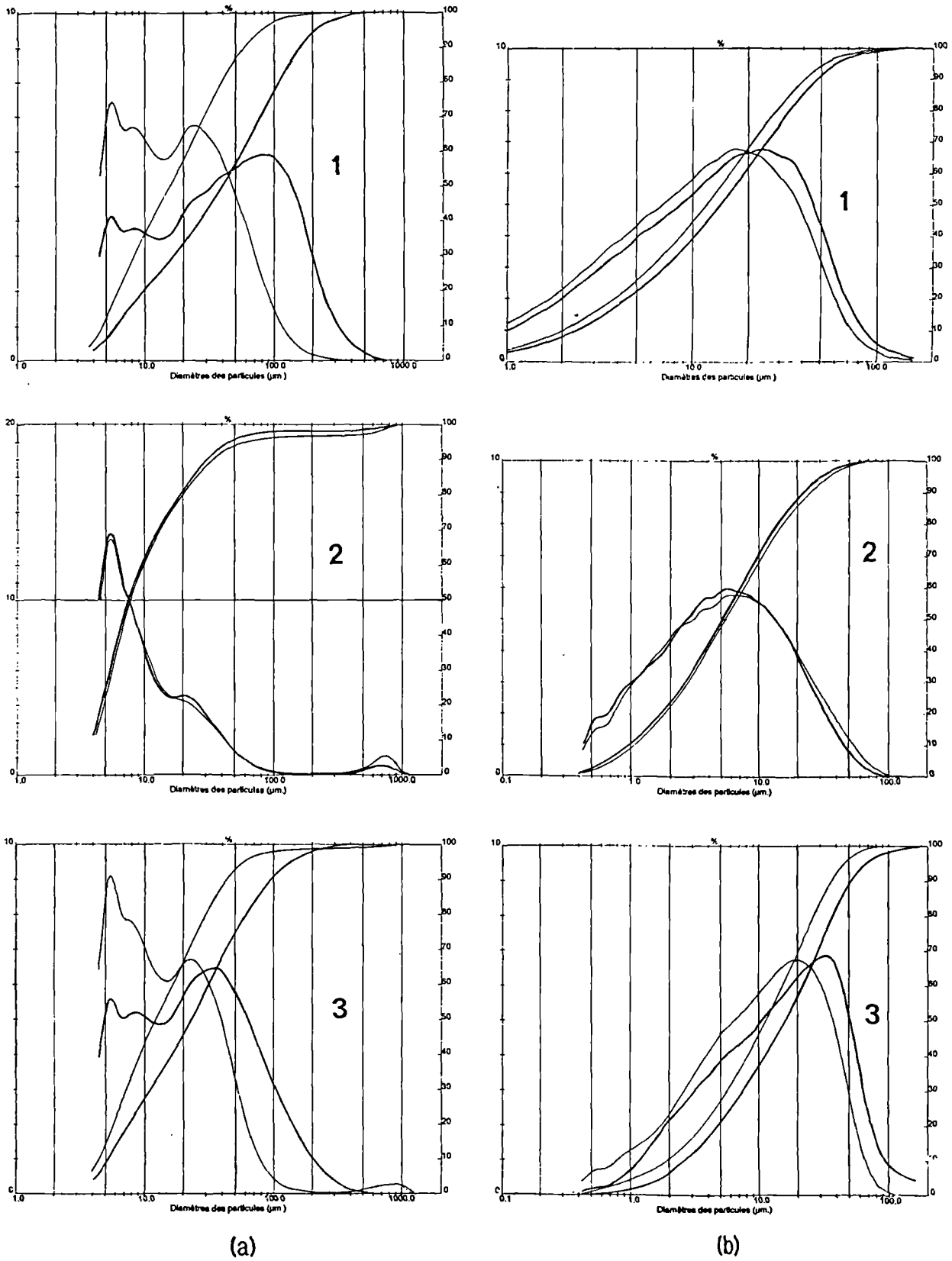


Fig. 4. — Granulométrie laser des Argiles de Châtillon. 1 et 3, argiles noires feuilletées; 2, argiles grises plastiques; En trait fort, granulométrie après agitation simple; en trait fin, granulométrie après agitation et traitement ultrasonique pendant 5 minutes. (a): "roche totale"; (b): fraction inférieure à 63 micromètres.

Fig. 4. — Laser grain size analyses of the "Argiles de Châtillon". 1 and 3, black laminated clays; 2, grey clays. Bold trace, grain size analyses after shaking; normal trace: grain size analyses after shaking and ultrasonic treatment during 5 minutes (a) Bulk rock, (b) less than 63 µm particles (silty fraction).

Les argiles grises contiennent à l'état naturel au plus 6% de sable et 23% d'argile (% de particules < 2 µm). Elles sont donc beaucoup plus fines et réactives que les argiles noires qui contiennent 20 à 40% de sable et moins de 10% d'argile (la surface développée des grains des argilites grises est plus importante). Cette réactivité est confirmée par la comparaison des courbes granulométriques, avec et sans apport d'énergie ultrasonique, qui montre que les argiles grises sont à l'origine beaucoup plus dispersées que les noires puisqu'un apport extérieur d'énergie ne peut augmenter leur fractionnement. Ceci suggère que les argiles noires ont un plus fort degré de floculation et donc de compacité, qui semble confirmé par les observations faites au microscope à balayage (Pl. IV). Elles révèlent l'antagonisme entre la structure plus caverneuse des argiles grises, liée à de nombreuses dispositions plaques-bords, et la structure lamellaire des argiles noires dont les minéraux sont pour l'essentiel empilés en agrégats compacts.

Des observations de ce type ont été faites dans les marnes du Keuper de Grande Bretagne où Davis (1967) relève des agrégations particulières d'argiles primaires en unités de la taille de silt. Ces agrégats entraînent une mauvaise corrélation entre les limites de consistance et les phénomènes de cisaillement d'une part et la teneur en argile d'autre part (Bell, 1983). Ainsi du fait que les propriétés géotechniques sont contrôlées par les agrégats plutôt que par les minéraux argileux individuels, la plasticité des argiles coagulées est plus faible que celle que l'on pourrait prévoir en considérant la proportion d'argile (Davis, 1967). Il en résulte une hétérogénéité des propriétés géotechniques, peu prévisibles comme dans les Argiles de Châtillon.

D'un point de vue sédimentologique les argiles noires feuilletées, laminées, riches en matière organique se sont déposées en milieu anoxique, relativement profond, à hydrodynamisme suffisant pour avoir permis la floculation des particules argileuses (Nichols & Biggs, 1985) mais assez faible pour conserver les agrégats formés (Pejrup, 1988). D'ailleurs seules des intercalations gréseuses centimétriques présentant des structures en mamelon (Hummocky cross stratification) particulièrement bien visibles au Nord d'Andresselles, attestent de l'effet occasionnel des tempêtes. Le matériel gréseux remanié d'un domaine proximal vers un domaine distal ne paraît pas avoir perturbé l'ordonnement laminé des minéraux argileux déposés par décantation. Notons également que la matière organique a pu jouer un rôle non négligeable sur la floculation des particules argileuses par hétérocoagulation (Yariv et Cross, 1979).

Les argiles grises se sont déposées dans un milieu moins profond, comme en atteste l'intercalation de bancs lumachelliques mis également en place par des tempêtes, mais plus énergétique que le lieu de dépôt des argiles noires, car le matériel remanié est plus grossier et les niveaux de tempête plus épais. Par ailleurs l'absence de matière organique confirme le caractère oxydant, probablement agité et par conséquent peu profond du milieu de dépôt. Des apports fréquents d'eau douce pourraient aussi être évoqués pour expliquer l'absence d'agrégats (Nichols & Biggs, 1985).

## VII. — CONCLUSIONS

L'analyse minéralogique couplée à l'analyse granulométrique de trois échantillons des Argiles de Châtillon montre que la variabilité du comportement géotechnique selon les niveaux de la Formation est liée principalement à la texture et à la granulométrie.

Du seul point de vue de leur contenu minéralogique les argiles noires seraient davantage prédisposées à fluer que les argiles grises, mais l'observation montre un comportement inverse. En revanche leurs composants minéraux offrent un degré d'agrégation beaucoup plus élevé que celui des argiles grises dont la dispersion serait originelle. En effet les critères sédimentologiques suggèrent que cet environnement aurait été moins profond et plus hydrodynamique que celui des argiles noires.

Néanmoins on ne peut ignorer le fait que l'état plus dispersé observé actuellement dans les argiles grises pourrait aussi être le résultat de leur fluage. Mais dans ce cas la stabilité des argiles noires, minéralogiquement et chimiquement plus sensibles, est difficilement explicable. En effet la différence de comportement de niveaux argileux aussi voisins doit logiquement se référer, soit à leur composition soit à leur structure, donc aux conditions de leur mise en place.

Une alternative est cependant proposée par Chandler (1969) ou Bell (1983) qui montrent que dans les marnes agrégées et fissurées du Keuper de Grande Bretagne, une altération différentielle induit un ramollissement rapide et la destruction totale des agrégats. Cette altération entraîne la disparition de la structure d'origine avec un accroissement apparent de la teneur en argiles et le doublement de l'imperméabilité. Quoiqu'il en soit, à Châtillon il aurait fallu que ce processus se soit focalisé, dans une même formation, sur un niveau spécifique, initialement dépourvu de smectite et de matière organique, (l'argile grise est reconnue en sondage). Dans ce cas cette focalisation s'expliquerait à son tour par un contact plus long avec l'eau, donc une plus grande perméabilité aux transferts hydriques verticaux et par conséquent une plus grande finesse des pores et des grains, soit une structure initiale différente, explicable par la sédimentologie.

Néanmoins si la dispersion des argiles grises est un acquis de leur glissement il paraît intéressant de vérifier si ce critère de déformation, très simple à mettre en évidence avec les granulomètres modernes, peut-être vérifié en d'autres lieux. Il faut ainsi envisager la comparaison des paramètres granulométriques de niveaux sensibles (bien connus dans le Nord de la France), prélevés par carottage, en place et en zone de glissement.

Remerciements. — Nous remercions particulièrement C. Chamborédon (Service Maritime Calais Boulogne) pour l'intérêt qu'il a manifesté dans le développement du projet de fin d'études de B. Adida et J. Painsset, ainsi que J.-N. Proust (CNRS, URA 719, Lille) pour la pertinence de ses remarques et commentaires sédimentologiques. Notre reconnaissance s'adresse également à H. Coulon (Centre d'Études Techniques de l'Équipement Nord-Picardie) pour la critique constructive de ce manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

- ADIDA, B., & PAINSET, J., 1994. — Géodynamique externe et comportement du Kimméridgien du Bas-Boulonnais. Application à l'aménagement du carrefour de Châtillon. Rapport PFE, EUDIL. Univ. Lille 1, 36p., 80 annexes.
- BELL F.G., 1983. — Fundamentals of Engineering Geology. Butterworth & Co. Edit. Ltd. London, 648p.
- BLATT, H., MIDDLETON, G., MURRAY, R., 1980. — Origin of Sedimentary Rocks. Prentice Hall Edit. New Jersey, 782 p.
- BRIANCOURT, M., 1953. — Etude des sols de fondations. SMBC. Imprimerie du Littoral Edit. 42p.
- CHANDLER, R.J., 1969. — The effect of weathering on the shear strength properties of Keuper Marl, *Geotechnique*, 19, 321-334.
- C.E.T.E.: Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement de Lille. 1993. — Boulogne sur mer. Liaison A16-Le Port. Etude géologique et géotechnique. Rapport technique du L.R.P.C. de Saint-Quentin. Dossier 93-373 (affaire 920496). 40 p.
- DAVIS, A. G., 1967. — On the mineralogy and phase equilibrium of Keuper Marl. *Q, J, Engg. Geol.*, 1, 25-46.
- DECONINCK, J.-F., CHAMLEY, H., DEBRABANT, P., COLBEAUX, J.-P., 1982. — Le Boulonnais au Jurassique supérieur: données de la minéralogie des argiles et de la géochimie. *Ann. Soc. Géol. Nord*, T. CII. P. 145-152.
- DECONINCK, J.-F., BRACQ, P., COLBEAUX, J.-P., PROUST, J.-N., VIDIER, J.-P., 1992. — Cadre structural et sédimentologique des formations kimméridgiennes du Boulonnais. Univ. Lille 1. Rapport Interne I.F.P. 60p.
- DELEPORTE, Y., 1983. — Dispersion des argiles. Rapport technique, entreprise BERG. 89p.
- DUBERNAY, C., 1993. — La pénétrante de Boulogne sur Mer: la Porte du Boulonnais. in Rapport de Stage d'ingénierie, octobre 93. L.R.P.C. de Saint-Quentin Edit. 50 p.
- DUTERTRE, A.P., 1930. — Les éboulements de la falaise de Boulogne. *Ann. Soc. Géol. Nord*, LV, p. 21-26.
- EL ALBANI, A., DECONINCK, J.-F., HERBIN, J.-P., PROUST, J.-N., 1993. — Caractérisation géochimique de la matière organique et minéralogie des argiles du Kimméridgien du Boulonnais. *Ann. Soc. Géol. Nord*, T.2 (2ème série), p. 113-120.
- FOUCAULT, A., & RAOULT, J.-F. 1984. — Dictionnaire de Géologie. Masson Edit. Paris, 347 p.
- GEYSSANT, J.R., VIDIER, J.P., HERBIN, J.P., PROUST, J.N. & DECONINCK, J.F. 1993. — Biostratigraphie et paléoenvironnement des couches de passage Kimméridgien/Tithonien du Boulonnais (Pas-de-Calais): nouvelles données paléontologiques (ammonites) organisation séquentielle et contenu en matière organique. *Géologie de la France*, n° 4, p. 11-24.
- HERBIN, J.P., GEYSSANT, J.R., EL ALBANI, A., COLBEAUX, J.P., DECONINCK, J.F., FERNANDEZ-MARTINEZ, J.L., PROUST, J.N. & VIDIER, J.P., 1995. — Sequence stratigraphy of sources rocks applied to the study of Kimmeridgian/Tithonian in the Northwest European shelf (Dorset/UK., Yorkshire/ UK. and Boulonnais/ France) Marine and Petroleum geology, sous presse.
- LEROUX, B., 1959. — La destruction des falaises kimméridgiennes du Boulonnais. *Ann. Soc. Géol. Nord*, LXXIX, p. 168-177.
- LEROUX, Ed., 1929. — Le tunnel de l'Ave Maria, observations géologiques et hydrogéologiques sur le plateau et la falaise au Sud de Boulogne-sur-Mer. *Mém. Soc. Géol. du Nord*, Tome VIII 2. 42p.
- NICHOLS, M.M. and BIGGS, R.B., 1985. — Estuaries, in Coastal Sedimentary Environments. R.A. Davis Jr. Edit. Springer Verlag Berlin. p 77-188.
- PEJRUP, M. 1988. — The triangular diagram used for classification of estuarine sediments; a new approach. in Tide-Influenced Sedimentary Environments au Facies. P.L. de Boer, A. van Gelder and S.D. Nio Edit. Sedimentology and Petroleum Geology. p 289-300.
- PELLAT, E., 1880. — Terrain jurassique du Bas-Boulonnais. *Bull. Soc. Géol. France*, 3ème série, tome VIII, p. 677-680.
- PINTE, P., 1986. — Etude géomorphologique et cartographie des risques naturels du littoral de Wissant à Wimereux. DEA Univ. Lille 1, 210 p.
- PROUST, J.-N., DECONINCK, J.-F., GEYSSANT J.R., HERBIN, J.-P., VIDIER, J.-P., 1993. — Nouvelles données sédimentologiques dans le Kimméridgien et le Tithonien du Boulonnais (France). *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 316, Série II, p. 363-369.
- PROUST, J.-N., DECONINCK, J.-F., GEYSSANT J.R., HERBIN, J.-P., VIDIER, J.-P. — Sedimentology of the Late Kimmeridgian/Lower Tithonian storm dominated ramp deposits of the Boulonnais (Northern France). A landward time-equivalent to offshore marine source rocks. *Geologische Rundschau* (sous presse).
- SAVARY, M., 1967. — Contribution à l'établissement de la carte géologique de Marquise au 50.000ème. Diplôme d'études supérieures de Sc. Nat. Univ. Lille 1. 89p.
- SINELLE, C., 1989. — Les glissements de terrain de Nice-Havrais. Mém. du Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris. 388 p.
- VIGUE, L., 1956. — Etude des sols de fondation en vue de l'aménagement d'un port de pêche moderne. Note technique, dossier d'ouvrage du quai de l'Europe, pièce 510, SMBC.
- YARIV, S. & CROSS, H. 1979. — Geochemistry of Colloid Systems for Earth Scientists. Springer-Verlag Edit., Heidelberg, 450 p.

EXPLICATION DES PLANCHES

PLANCHE III

Exemple d'instabilités observées sur la falaise au Nord d'Audresselles.  
*Example of coastal landslips along the cliff, North of Audresselles.*

Fig. A et B. — Partie médiane des Argiles de Châtillon montrant au premier plan, le fluage des argiles grises responsables des glissements. Elles sont surmontées par un banc de calcaire gréseux marquant la limite Kimméridgien/Tithonien. Au second plan, on distingue les argiles noires feuilletées et compactes présentant des lentilles gréseuses décimétriques à HCS (Hummocky Cross Stratification). Elles ont conservé leur structure initiale.

Fig. A et B. — Middle part of the "Argiles de Châtillon" showing in the foreground, the grey clays responsible for landslip. They are overlaid by a sandy limestone bed corresponding to the Kimmeridgian/Tithonian boundary. In the background we can see the black laminated clay containing common sandy lenses with HCS (Hummocky Cross Stratification). They have kept their initial texture.

Fig. C. — Photographie montrant les glissements et la désorganisation résultante des bancs carbonatés intercalés dans les Argiles de Châtillon.

Fig. C. — Picture showing the coastal landslips and the resulting desorganization of carbonate bed intercalated in the "Argiles de Châtillon".

PLANCHE IV

(a) Argile noire de Châtillon;(b) Argile grise de Châtillon.

Les grossissements croissent de haut en bas: x400, x850, x4000.

*Magnification increases from top to base : x400, x800, x4000*

Noter :

- la compacité plus importante de l'argile noire par rapport à l'argile grise;
- l'empilement stratiforme des minéraux argileux visibles dans l'argile noire aux grossissements 850 et 4000;
- la disposition plaque-bord de l'argile grise aux grossissements 850 et 2000.

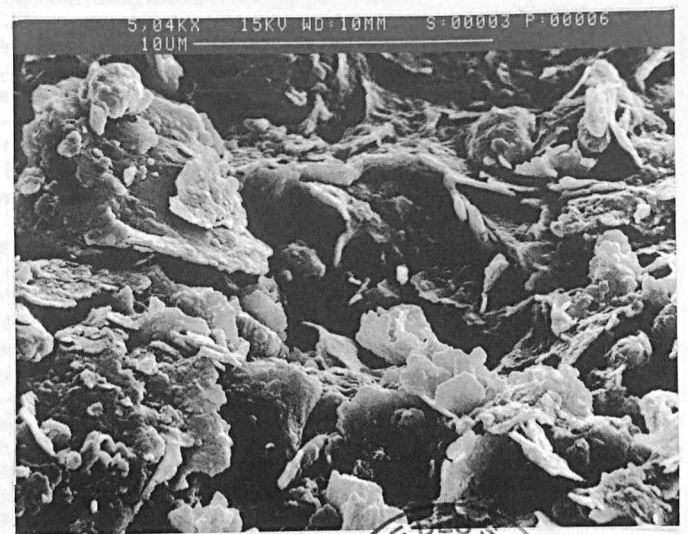
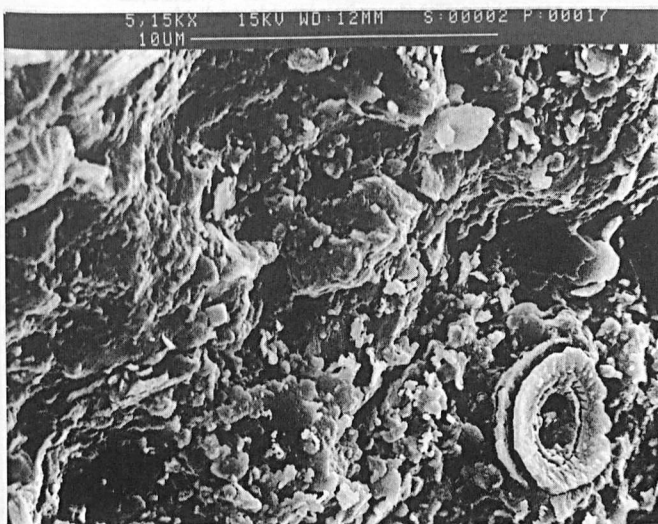
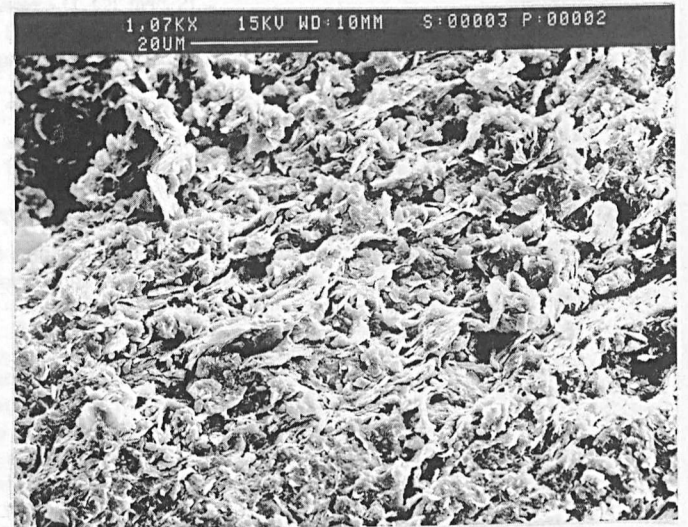
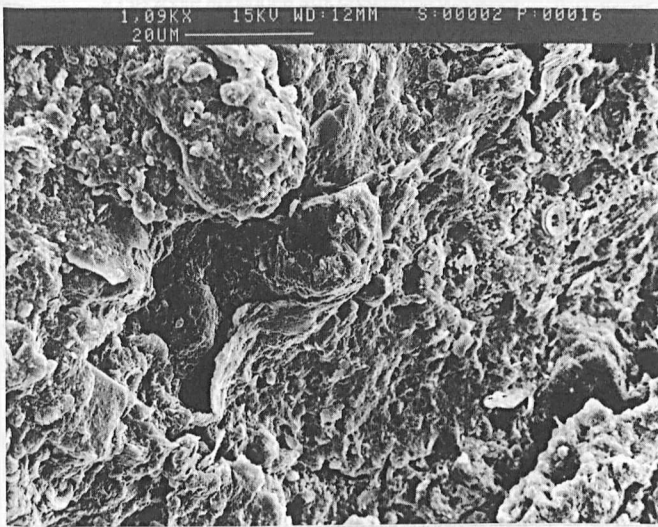
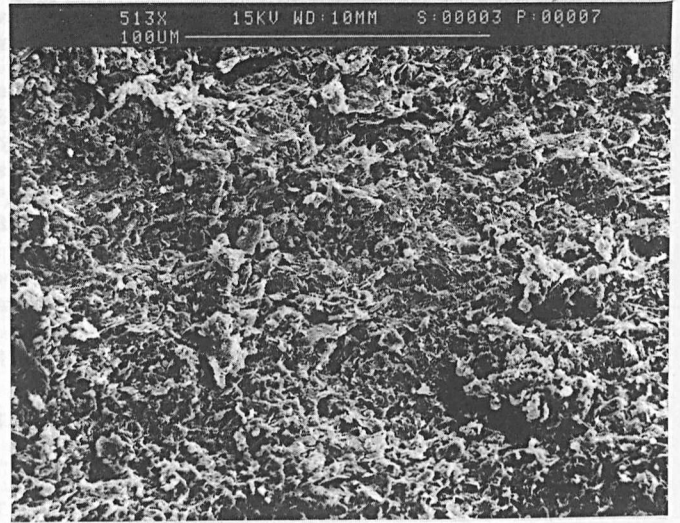
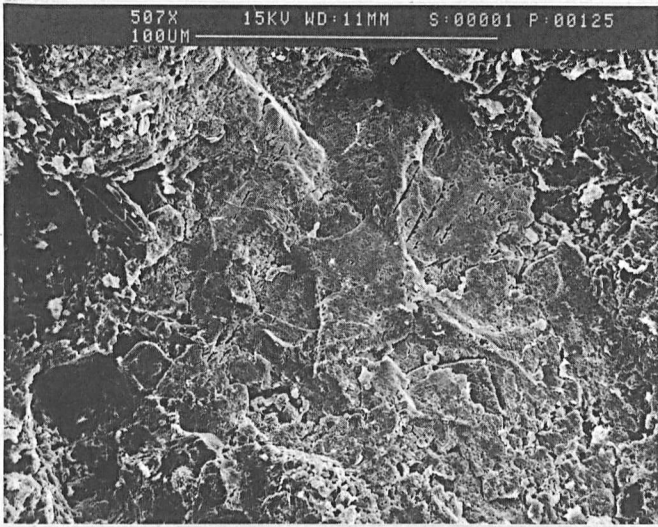
*Notice : -The important compactness of black clays  
-The stratiform stacking of clay mineral in black clays  
-The edge-face fabric of clay particles in the grey clays.*











(a)

(b)  
SITE DES SC. ET T.  
EQUE UNIVER



Sont en vente au Siège de la Société :

### MÉMOIRES (\*)

<b>Tome I</b>	n° 1. — Ch. BARROIS, <i>Recherches sur le terrain crétacé 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 Pennsylvanie</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</b>	n° 1. — J. GOSSELET, <i>Etudes sur les variations du Spirifer Verneuilli</i> , 1894, 63 p., 7 pl. ....	90,00 F
<b>Tome VI</b>	n° 1. — P. BERTRAND, <i>Etude du stipe de l'Adelophyton jutéri</i> , B. Renault, 1907, 38 p., 4 pl. ....	85,00 F
	n°2. — J. GOSSELET <i>et al.</i> , <i>Faune siluro-dévonienne 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</b>	n°1. — P. BERTRAND, <i>Etude des Stipes d'Asterochloena laxa</i> , Stenzel, 1911, 72 p., 6 pl. ....	102,00 F
<b>Tome VIII</b>	n° 2. — Ed. LEROUX, <i>Le tunnel de l'Ave Maria</i> , 1929, 50 p., 5 pl. ....	120,00 F
<b>Tome IX</b>	n°1. — G. DUBAR, <i>Etude sur le Lias des Pyrénées françaises</i> , 1925, 332 p., 7 pl. ....	432,00 F
	n°2. — G. FOURNIER <i>et al.</i> , <i>Poissons élasmobranches de Denée</i> , 1926, 23 p., 6 pl. ....	96,00 F
<b>Tome X</b>	n° 2. — 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 <i>et al.</i> , <i>Flore infraliasique du Boulonnais</i> , 1963, 145 p., 11 pl. ....	252,00 F
<b>Tome XIV</b>	— G. WATERLOT, <i>Les Gigantostacés 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 <i>et al.</i> , <i>Essai de synthèse des données acquises dans la gènèse et l'évolution des marqueurs pétrographiques dans les bassins houillers</i> , 1983, 118 p., 10 pl. ....	250,00 F

### FASCICULES SPÉCIAUX (\*)

« Géologie du Nord de la France » (T. LXXXIX, fasc. 1).....	85,00 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
« Aspect de la Géologie de l'Ardenne, hommage au Professeur Beugnies » (T. CV, fasc. 2).....	125,00 F
« Paléozoïque supérieur continental » (T. CVI, fasc. 2).....	300,00 F
« Actualisation de quelques thèmes géologiques » (T. CVI, fasc. 4).....	125,00 F
« Géologie et aménagement régional » (T. CIX, fasc. 2).....	T.T.C. 250,00 F
« Le Nord et son environnement géologique. » (T. 2, 2 <sup>me</sup> série, fasc. 1).....	175,00 F

### PUBLICATIONS (\*)

Publication N° 1. — J. CHOROWICZ, <i>Etude géol. 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 Saravejo (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 Héliénides 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 Houllier 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, analyses diffractométriques et détermination</i> .....	T.T.C. 90,00 F
Publication N° 13. — J.L. MANSY, <i>Géologie de la Chaîne d'Ormineca 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
Publication N° 15. — J.M. DEGARDIN, <i>Le Silurien des Pyrénées : Biostratigraphie, Paléogéographie</i> .....	125,00 F
Publication N° 16. — J. SIGAL, <i>Les recherches sur les Foraminifères fossiles en France des environs de 1930 à l'immédiat après-guerre</i> .....	T.T.C. 100,00 F
Publication N° 17. — F. DELAY, <i>Etude et cartographie géologiques du Massif pyrénéen de l'Agly ; traitement informatique des microanalyses chimiques</i> .....	T.T.C. (les 3 fasc.) 360,00 F
Fascicule 1, <i>Le Massif nord-pyrénéen de l'Agly (Pyr. Or.) Evolution tectono-métamorphique</i> .....	T.T.C. 150,00 F
Fascicule 2, <i>Etude d'un système de traitement informatique des microanalyses chimiques</i> .....	T.T.C. 110,00 F
Fascicule 3, <i>Carte géologique en couleurs au 1/25000 du Massif nord-pyrénéen de l'Agly (Pyr. Or.)</i> .....	T.T.C. 150,00 F
Publication N° 18. — A. KHATIR, <i>Structuration et déformation progressive au front de l'allochtone ardennais (Nord de la France)</i> .....	T.T.C. 150,00 F
Publication N° 19. — C. LAMOUREUX, <i>Les mylonites des Pyrénées. Classification. Mode de formation. Evolution</i> .....	150,00 F
Publication N° 20. — G. MAVRIKAS, <i>Evolution Crétacé-Eocène d'une plate-forme carbonatée des Hellénides externes. La plate-forme des Ori Valtou (Massif du Gavrovo), Zone de Gavrovo-Tripolitza (Grèce continentale)</i> .....	150,00 F
Publication N° 21. — P. BRACQ, <i>L'effet d'échelle sur le comportement hydrodynamique et hydrodispersif de l'aquifère crayeux, apport de l'analyse morphostructurale</i> .....	150,00 F
Publication N° 22. — N. FAGEL, <i>Flux argileux du Néogène au Quaternaire dans l'Océan Indien Nord</i> .....	150,00 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 3 (2<sup>m</sup>e série), Fascicule 4

parution 1994

	pages
Rémy GOURVENNEC. — Précisions nouvelles sur le genre <i>RETICULARIOPSIS</i> FREDERIKS, 1916 (Brachiopoda, Spiriferida).....	123
Pierre SEMENOFF-TIAN-CHANSKY et Yves PLUSQUELLEC. — Présence de <i>Aulokoninckophyllum</i> dans le conglomérat de Caouennet, Carbonifère du Bassin de Chateaulin (Massif Armoricaïn, France).....	133
Erick CARLIER et Gilles POREL. — Méthode d'interprétation des résultats de traçage et quantification de l'effet d'échelle du coefficient de dispersion en milieu crayeux.....	141
— Pierre DEBRABANT, Benoît ADIDA, Jérôme PAINSET, Jean-François DECONINCK et Philippe RECOURT. — Comportement géotechnique des argiles de Châtillon (Kimméridgien / Tithonien du Bas-Boulonnais) .....	145

© 1994 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'auteurs.

Imprimé en France (Printed en France)