

SOCIÉTÉ  
GÉOLOGIQUE  
DU  
NORD

ANNALES

Tome XCIII

1973

*2<sup>me</sup> trimestre*

VOLUME PUBLIÉ AVEC LE CONCOURS DU  
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD  
LILLE

# SOCIETE GEOLOGIQUE DU NORD

## Extraits des Statuts

### Article 2.

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

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

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

### Article 5.

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

## Extraits du Règlement Intérieur

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

§ 13. — L'ensemble des notes présentées au cours d'une même année, par un même auteur, ne peut dépasser le total de 10 pages, 1 planche simili étant comptée pour 2 p. 1/2 de texte <sup>(2)</sup>.

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 fascicules après décision du Conseil.

## Avertissement

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

## Tirages à part

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

## Cotisations et Abonnements

	QUALITE	COTISATION	ABONNEMENT
FRANCE et BENELUX	Personnes physiques <sup>(3)</sup> .....	15,00 F	45,00 F
	Personnes morales .....	40,00 F	60,00 F
AUTRES PAYS	Personnes physiques .....	15,00 F	50,00 F
	Personnes morales .....	40,00 F	60,00 F

FRANCE et ETRANGER : Abonnement des non-membres : 100,00 F.

Pour tous renseignements, s'adresser à :

M. le Secrétaire de la Société, Sciences de la Terre, Boite Postale 36, 59650 Villeneuve d'Ascq  
C.C.P. LILLE 5247 — Crédit du Nord : 100/3/10358 — Téléphone 56.92.00

## ANNALES DE LA SOCIETE GEOLOGIQUE DU NORD

Compte Chèques Postaux : Lille 5247

Tomes I à LXXXV (manquent I à IX, XV et XVI, XXII, XXXIV à XXXVI, XXXVIII à XLIII, XLV à LVIII et LXIV) 100,00 F.  
Tomes LXXXVI et suivants ..... 110,00 F.

Exceptionnellement, le fascicule 1 du Tome LXXXIX (Géologie du Nord de la France) est en vente au prix de 45,00 F. ainsi que le fascicule 4 du Tome XC (Centenaire de la S.G.N.) au prix de 75,00 F.

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

(2) C'est à la suite du changement de format que le Conseil a établi cette équivalence au cours de sa séance du 6 Janvier 1965.

(3) Les étudiants qui en font la demande annuelle peuvent, par décision du Conseil, bénéficier d'un tarif préférentiel sur l'abonnement (30,00 F).

SOCIÉTÉ  
GÉOLOGIQUE  
DU  
NORD

ANNALES

Tome XCIII

1973

*2<sup>me</sup> trimestre*

VOLUME PUBLIÉ AVEC LE CONCOURS DU  
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD  
LILLE

## CONSEIL D'ADMINISTRATION

— 1973 —

<i>Président d'Honneur</i> .....	M. G. WATERLOT
<i>Président</i> .....	M. J. DERCOURT
<i>Premier Vice-Président</i> .....	M. Y. GODFRIAUX
<i>Vice-Présidents</i> .....	M. A. BEUGNIES M. M. WATERLOT
<i>Secrétaire</i> .....	M. J. DIDON
<i>Secrétaire-Adjoint</i> .....	M. J.J. FLEURY
<i>Déléguée aux Publications</i> ..	M <sup>me</sup> Paule CORSIN
<i>Trésorier</i> .....	M. l'Abbé TIEGHEM
<i>Archiviste-Bibliothécaire</i> ....	M. J.L. MANSY
<i>Conseillers</i> .....	M. P. CELET M <sup>lle</sup> D. BRICE M. P. DOLLÉ M. E. MÉRIAUX M. J. SOMMÉ M. G. SOULIEZ

**A N N A L E S**  
**D E L A**  
**SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD**

publiées avec le concours du Centre national de la Recherche scientifique

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, Boîte Postale 36, 59650 Villeneuve d'Ascq  
Tél. 56.92.00 — C.C.P. Lille 5.247

---

---

## Compte rendu de l'activité de la Société

**SEANCE ORDINAIRE DU 5 AVRIL 1973**  
Présidence de M. J. DERCOURT, Président

---

Avant la séance ordinaire, les membres de la Société ont assisté à une conférence de Monsieur BOILLOT intitulée « L'histoire géologique de la marge continentale nord-espagnole. Relations avec l'histoire des Pyrénées et du Golfe de Gascogne ». En ouvrant la séance, le Secrétaire communique ensuite qu'un symposium sur « La Palynologie et Dérive des continents » se tiendra à Strasbourg, du 24 au 26 Octobre 1973.

### Communication orale

J. MANIA. — Contribution à l'étude hydrogéologique des bassins versants de l'Artois. Application du calcul automatique.

### Communication écrite

J. PILLET. — Sur quelques Trilobites ordoviciens de l'Iran oriental (\*).

**SEANCE ORDINAIRE DU 3 MAI 1973**  
Présidence de M. J. DERCOURT, Président

---

Cette séance a été précédée d'une conférence de Mademoiselle NOEL, Chargée de recherche au C.N.R.S., intitulée « Importance des nannofossiles calcaires dans la formation des roches carbonatées, quelques exemples de sédiments mésozoïques ».

---

(\*) Cette communication a été insérée dans le premier fascicule de l'année 1973.

La séance ordinaire débute par l'élection de nouveaux membres. Sont donc élus :

- M. NION Joël, Assistant, « Beau séjour », à 35121 La Mézière, présenté par MM. J.L. Henry et Robardet.  
M. MASCLE Georges, Maître-Assistant, 27-29, rue Rieussec, à 78200 Viroflay, présenté par MM. A. Bonte et P. Broquet.  
M. DESCHAMPS Marc, Professeur, 71, rue de Neuilly, à 93250 Villemomble, présenté par MM. J. Dercourt et J. Didon.  
M. HURTRELLE Jacques, Instituteur, 23, rue du Poitou, à 62000 Arras, présenté par MM. E. Monchy et A. Tuffreau.  
M. MONTENAT Christian, Chargé de recherche au C.N.R.S., 7, Avenue du Cèdre, à 91400 Orsay, présenté par M. A.F. de Lapparent et M<sup>l</sup><sup>e</sup> D. Brice.

### Communications orales

- A. BONTE et P. DEBRABANT. — Etude géochimique de l'argile résiduelle de la craie.  
C. BROUSMICHE. — Révision des *Productellidae* du Dévonien de Ferques (Boulonnais, France).

### Communications écrites

- B. CHOPINEAUX. — Etude de l'articulation tibio-tarsienne chez des populations du Mésolithique (\*).  
J. FERRIERE. — Données nouvelles sur le Crétacé supérieur de la zone pélagonienne en Thessalie méridionale (bordure occidentale du golfe du Volos, Massifs du Chalkodonio et du Pelion, Grèce).

## SEANCE ORDINAIRE DU 7 JUIN 1973

Présidence de M. Y. GODFRIAUX, Premier Vice-Président

- M. Y. GODFRIAUX fait d'abord procéder à l'élection d'un nouveau membre. Il s'agit de :  
M. RAKOTOARIVELO Henri Jean, Maître de conférences, Faculté des Sciences, B.P. 906, à Tananarive (Madagascar), présenté par M. le Professeur Corsin et M<sup>l</sup><sup>e</sup> P. Corsin.

### Communications orales

- A. BEUGNIES. — Contribution à l'étude du Famennien du bord sud du synclinorium de Namur.  
S. RAMON — Généralités sur l'utilisation des modèles mathématiques en hydrogéologie, exemple du bassin d'Orchies (\*\*).  
G. TERMIER et J.J. VERRIEZ. — Les Bivalves carnien d'Atalanti.

### Communications écrites

- M. LYS, E. BOUYX et A.F. de LAPPARENT. — Une coupe du Permien supérieur dans les Hauts de Bulola (Hindou Kouch occidental, Afghanistan) (\*\*\*).  
G. TERMIER et R. BOURROUILH. — *Balearocrinus breimeri*, Crinoïde nouveau du Viséen supérieur de Minorque (Baléares) (\*\*\*).

---

(\*) Communication soumise à la Commission de Lecture.

(\*\*) Cette communication ne sera pas, à la demande de son auteur, insérée dans les Annales.

(\*\*\*) Communication publiée dans le troisième fascicule de l'année 1973.

# Contribution à l'étude hydrogéologique des bassins versants de l'Artois

## Application du calcul automatique<sup>(\*)</sup>

par J. MANIA (\*\*)

**Sommaire.** — Le calcul automatique appliqué à la distribution géographique des écoulements total et souterrain a permis de mettre en évidence des anomalies dans un groupe de bassins versants du Nord de la France. La solution des problèmes soulevés peut être attribuée, soit à la nature géologique du sous-sol de l'Artois, soit à des mesures de débit erronées ou à des transferts d'eau souterraine vers d'autres bassins.

Cette opération préliminaire appelle une seconde étude plus détaillée où des paramètres hydrodynamiques doivent être intégrés.

**Summary.** — Automatic computation applied at geographic distribution of total flow and underflow has allowed to show off anomalies in a group basins of North of France.

Solution of raised problems can be assigned either at geologic composition of Artois underground or at wrong measures of flow or at transferences of ground water towards others basins.

This preliminary operation calls for an second study more detailed where hydrodynamic parameters must be integrated.

### I. — INTRODUCTION

L'estimation du bilan d'eau global d'un bassin versant nécessite la connaissance préalable des structures hydrogéologiques et l'existence de données d'hydrologie de surface nombreuses. Une méthode d'évaluation des écoulements total et souterrain par bassin versant a été définie (3, 5) et appliquée pour quelques bassins (4, 5). Un programme de calcul automatique (programme FLOC) a été établi par le B.R.G.M. (4). Il sera appliqué à six bassins de l'Artois : l'Aa, la Lys, la Clarence, la Lawe, la Canche et l'Authie.

(\*) **Remerciements.** - Cette étude a pu être réalisée grâce à la collaboration du Service Hydrologique Centralisateur de Lille et du Service géologique régional du Nord-Pas-de-Calais (B.R.G.M.) à Lezennes. Je remercie en particulier M<sup>lle</sup> Vessières (S.H.C. de Lambersart) et M. Daul (Centre de Calcul E.N.T.M. de Douai), ainsi que M. A. Bonte (Lille), M<sup>me</sup> Delarozière-Bouillin (Orléans), M. J. Margat (Orléans) et M. S. Ramon (Lezennes), qui ont accepté de relire mon manuscrit.

(\*\*) Université des Sciences et Techniques de Lille, Laboratoire de Géologie appliquée, B.P. 36, 59650 Villeneuve d'Ascq.

Note déposée le 4 Avril 1973.

### II. — METHODOLOGIE

La méthode n'est applicable qu'à des bassins versants de grandes dimensions superposables à leurs bassins hydrogéologiques et elle suppose l'existence de données hydroclimatiques de longue durée (ici de 1962 à 1969) afin de négliger l'influence des variations de réserve.

### III. — APPLICATION A LA REGION DE L'ARTOIS

a) **Données et opérations nécessaires à l'évaluation de la distribution spatiale de l'écoulement total.**

#### 1) *Surface des bassins versants.*

Elle a été établie par rapport à la position des différents postes de jaugeage (tableau I).

#### 2) *Le débit moyen interannuel QT.*

Son évaluation a été effectuée sur la période 1962-1969 et l'erreur commise sur ces mesures peut être estimée à 20 % environ.

Bassin	Station de jaugeage	Superficie (en km <sup>2</sup> )
Aa .....	Wizernes	392
Lys .....	Delettes	158
Clarence .....	Robecq	215
Lawe .....	Béthune	181
Canche .....	Brimeux	894
Authie .....	Dompierre	726
	Total ..	2 566

Tableau I

Bassin	QT en 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an	QT en mm	QT en l./s/km <sup>2</sup>
Aa .....	151,05	385	12,2
Lys .....	60,23	391	12,4
Clarence .....	43,20	201	6,3
Lawe .....	56,13	310	9,8
Canche .....	392,93	439	13,6
Authie .....	247,24	340	10,8
TOTAL ..	950,78		

Tableau II

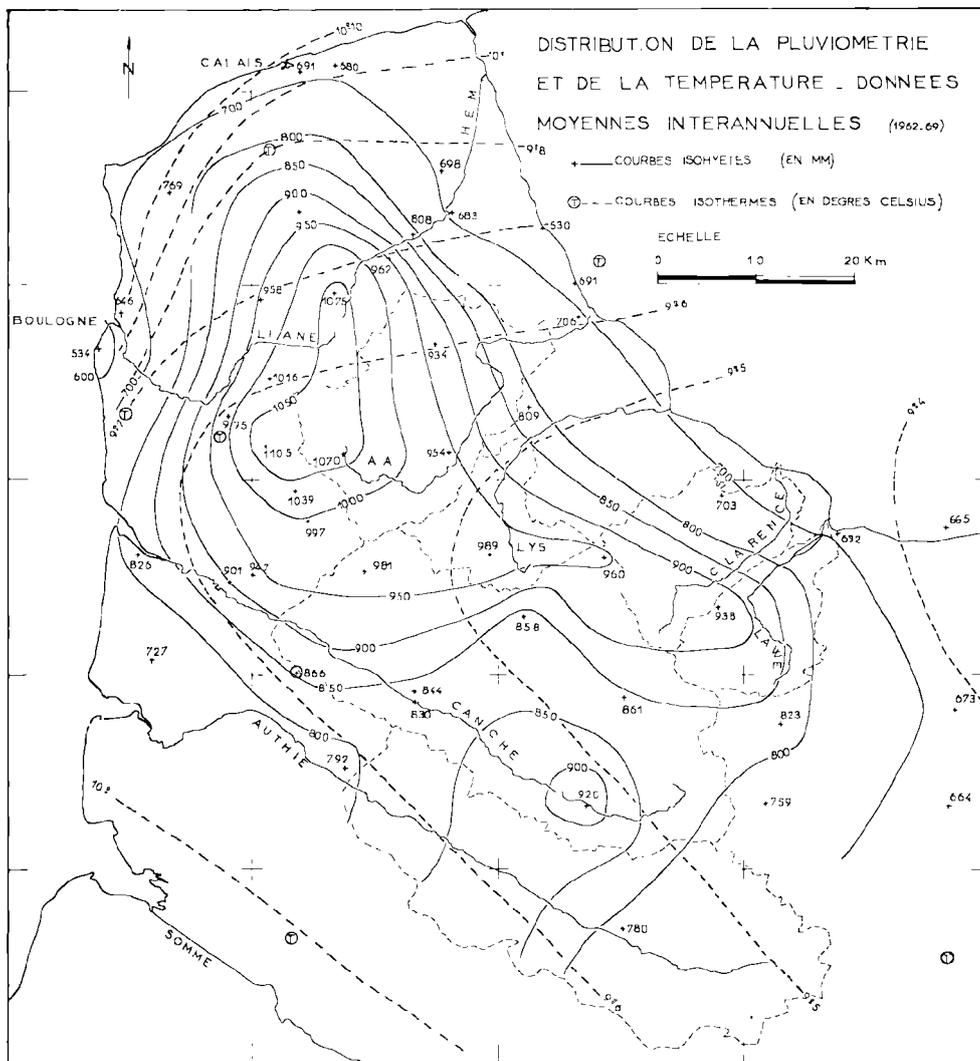


Fig. 1. — Distribution de la pluviométrie et de la température dans la partie ouest du Nord de la France. Les données sont des valeurs moyennes interannuelles (1962-1969).

On constate (tableau II) que les modules d'écoulement ( $l./s/km^2$ ) de la Clarence et de la Lawe sont nettement inférieurs à ceux des autres bassins.

3) La carte des isohyètes des précipitations moyennes interannuelles  $P$  (fig. 1).

Elle a été établie à partir de 52 stations pluviométriques réparties uniformément sur l'en-

semble des bassins. On observe une forte pluviométrie à l'Est du Boulonnais.

4) Les lignes isothermes moyennes inter-annuelles.

Elles ont été établies à partir de onze stations thermométriques distribuées à la périphérie de l'ensemble des bassins. L'écart entre les valeurs extrêmes de température oscille entre 0,5 et 1 degré Celsius (fig. 1).

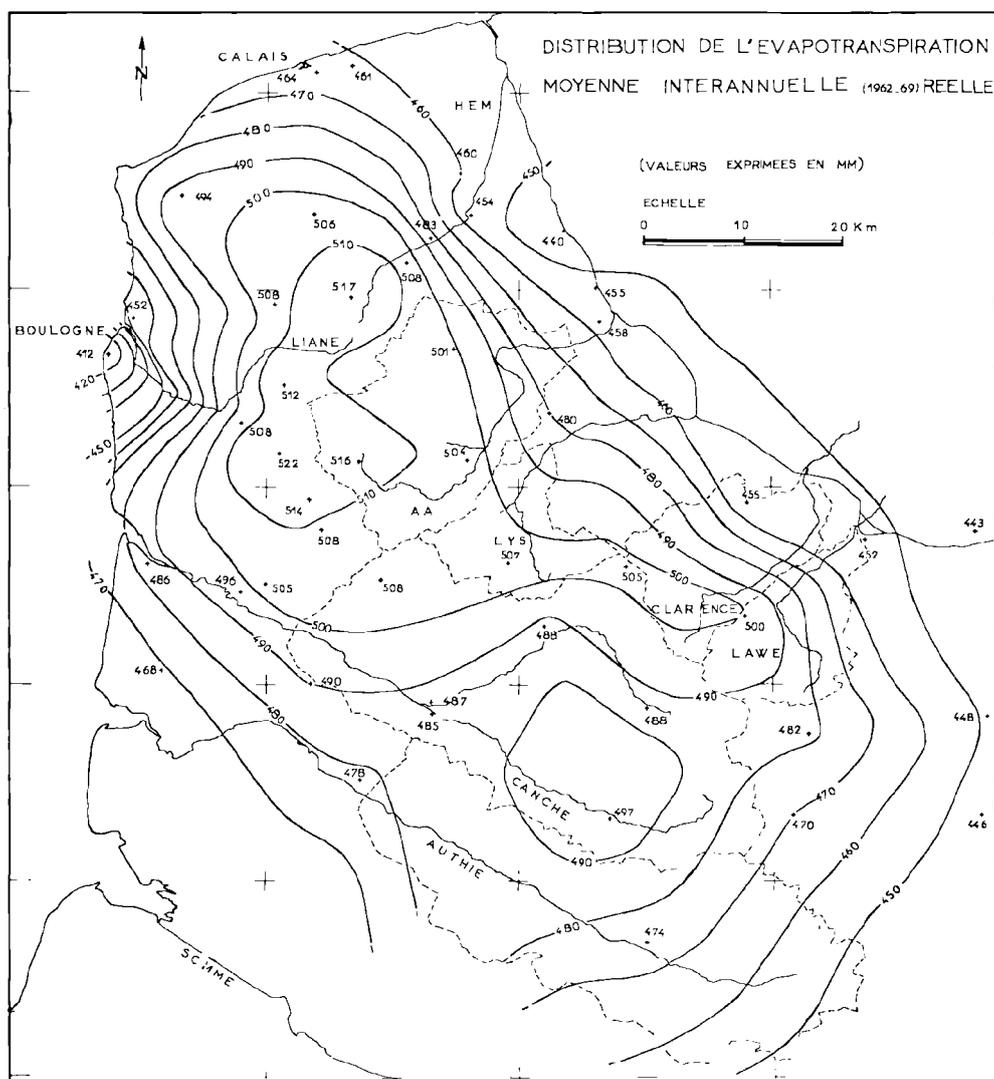


Fig. 2. — Distribution de l'évapotranspiration moyenne interannuelle réelle dans la partie ouest du Nord de la France. Les données sont des valeurs moyennes interannuelles (1962-1969).

5) La carte de zonalité de l'évapotranspiration réelle moyenne interannuelle ETR (fig. 2).

Elle a été établie à partir de l'hypothèse de Turc sur des périodes interannuelles (2). Les valeurs fortes se situent dans les secteurs de pluviosité intense.

L'ensemble des bassins a été décomposé en 108 mailles d'égale surface (fig. 3). A chaque maille ont été affectées une valeur de précipitation moyenne interannuelle et une valeur d'évapotranspiration moyenne interannuelle réelle.

Les étapes du calcul sont alors les suivantes (4) :

- calcul de la lame d'eau précipitée moyenne interannuelle PT en mm :

$$PT = \frac{\sum_1^n P}{n}$$

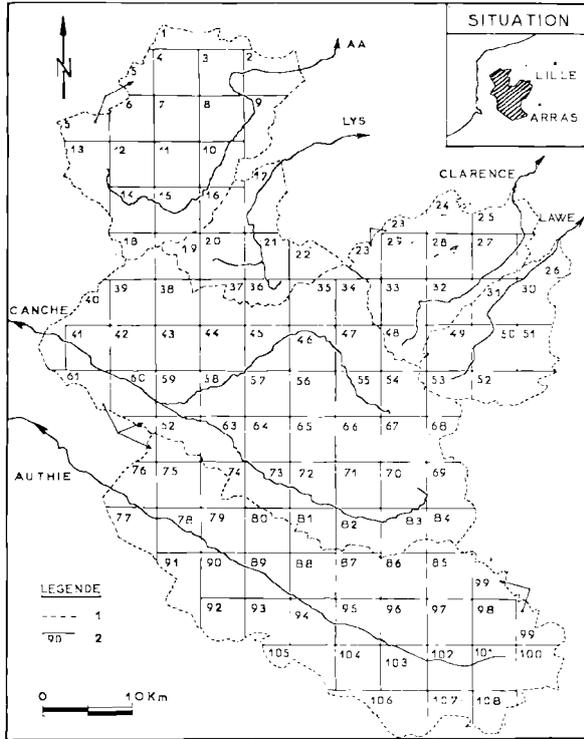


Fig. 3. — Distribution du maillage des bassins versants de l'Aa, la Lys, la Clarence, la Lawe, la Canche et l'Authie.

- 1 : Limite des bassins versants.
- 2 : Désignation des mailles.

avec : n = nombre total de mailles  
P = lame d'eau précipitée par maille

- calcul du déficit d'écoulement moyen interannuel ETT en mm :

$$ETT = \frac{\sum_1^n D}{n}$$

avec : D = déficit d'écoulement par maille

- comparaison de la différence des précipitations moyennes interannuelles (PT) et du débit moyen interannuel mesuré (QT) avec le déficit d'écoulement moyen interannuel calculé (ETT). Calcul d'un coefficient de correction :

$$C = \frac{PT - QT}{ETT}$$

avec  $C > 1$  ou  $C < 1$ .

- application du coefficient de correction C à l'ETR de chaque maille pour aboutir au calcul de la hauteur d'évapotranspiration réelle corrigée  $ETR_c$

- calcul de l'écoulement total unitaire maille par maille  $ET_u$

$$ET_u = P - ETR_c$$

b) Données et opérations nécessaires à l'évaluation de la distribution spatiale de l'écoulement souterrain.

1) Estimation de ES.

Le rapport (ES) de l'écoulement souterrain à l'écoulement total a été choisi d'après la lithologie. Une carte géologique schématique a été constituée (fig. 4). Elle a permis une répartition par maille du rapport ES.

2) Calage de ES.

L'analyse des hydrogrammes permet de connaître le rapport du débit de base au débit total des rivières au niveau des stations de jaugeage. On se base sur ces valeurs réelles pour obtenir par tâtonnements successifs une bonne estimation des valeurs de ES et de leur répartition géographique.

Les étapes du calcul sont alors les suivantes :

- application du coefficient ES à la valeur de l'écoulement total de la maille ( $ET_u$ ) pour obtenir la valeur de l'écoulement souterrain QS,

- calcul de l'écoulement souterrain total :

$$QST = \sum_1^n QS$$

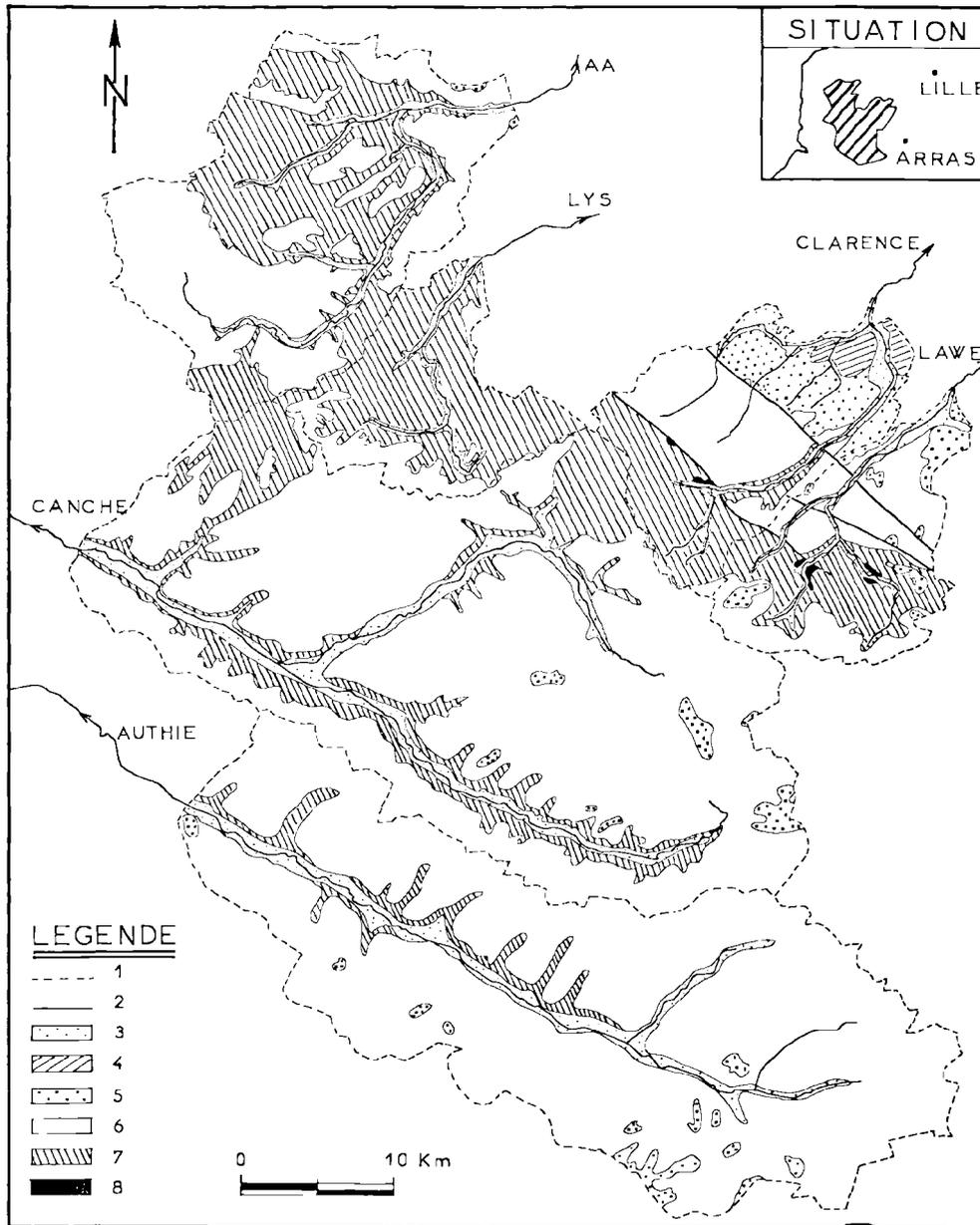


Fig. 4. — Carte de classification hydrogéologique.

- 1: Limite du bassin versant.
- 2: Faille.
- 3: Alluvions ES = 80-90 %.
- 4: Argiles des Flandres ES = 0 %.
- 5: Sables landéniens ES = 20 %.
- 6: Craie perméable du Sénonien et du Turonien supérieur. ES = 80-90 %.
- 7: Craie marneuse et marnes du Turonien moyen et inférieur ES = 50 %.
- 8: Schistes et grès du Primaire ES = 0 %.

- comparaison de l'écoulement souterrain total QST à l'écoulement total ET tiré des hydrogrammes (tabl. III) par calcul d'un coefficient de correction  $C' = ET/QST$  avec  $C' > 1$  ou  $C' < 1$ ,
- application du coefficient  $C'$  aux débits souterrains QS de chaque maille afin d'aboutir à un QS corrigé.

Bassins	QT (en mm)	ES = QS/QT	Ruissellement (en mm)
Aa .....	385	0,75	96,25
Lys .....	391	0,60	156,4
Clarence ..	201	0,70	60,3
Lawe .....	310	0,70	93,0
Canche ....	310	0,80	62,0
Authie ....	340	0,80	68,0

Tableau III. — *Rapports (ES) de l'écoulement souterrain/écoulement total tirés de l'analyse des hydrogrammes et valeur globale, par bassin, du ruissellement. Données moyennes interannuelles.*

#### IV. — RESULTATS ET PROBLEMES

Les difficultés qui apparaissent en dehors de l'élaboration du programme sont d'ordre métrologique et d'ordre interprétatif.

##### Métrologie.

Des erreurs peuvent se glisser :

— dans les mesures de débit aux stations de jaugeage plus ou moins bien conçues et placées,

— au niveau des mesures pluviométriques où interviennent l'altitude, le choix et l'exposition du site, la sensibilité du pluviographe.

##### Interprétation.

La séparation, sur les hydrogrammes, du débit de base et du débit de ruissellement a été effectuée en tenant compte de la courbe de tarissement et de l'allure générale des cycles piézométriques de la nappe de la craie. Des mesures de jaugeage journalières et continues au niveau des sous-bassins élémentaires auraient pu permettre l'établissement d'une méthode plus rigoureuse pour l'estimation du ruissellement. De telles données sont actuellement inexistantes.

Le débit de base des rivières de l'Artois a été assimilé à l'écoulement souterrain de la nappe. L'homogénéité des bassins et les conditions hydrogéologiques (1, 6, 8) permettent un tel rapprochement.

Le choix de la valeur de ES ne s'appuie pas sur des essais *in situ*, mais sur des hydrogrammes où ne se reflètent pas les apports en eau des diverses régions géologiques et sur une relation lithologie-perméabilité grossière. Il serait intéressant d'intégrer des valeurs de densité de fissuration, d'ouverture de diaclases, de variation de faciès.

Ces divers aléas se superposent aux représentativités de l'évapotranspiration et de l'écoulement.

##### 1) Problème de l'évapotranspiration.

L'emploi de la formule de Turc annuelle pour le calcul de l'évapotranspiration réelle a été choisi au lieu de la formule mensuelle en raison du manque total de données précises sur le taux d'évaporation et l'horaire d'ensoleillement aux divers points de mesure.

Des calculs ultérieurs montreront si, pour l'Artois, le taux d'erreur justifiera le passage à une formule mensuelle où les valeurs des paramètres manquants seront extrapolées.

Le calcul automatique permet, après correction linéaire, d'obtenir une valeur plus adéquate de ETR. La nouvelle carte d'évapotranspiration réelle corrigée (fig. 5) se distingue de la carte de départ (fig. 2) par une augmentation des valeurs fortes. Des anomalies positives importantes affectent les bassins de l'Aa, de la Clarence et de la Lawe.

Les nouvelles courbes de relation P - ETR (fig. 6) sont très décalées par rapport à la courbe calculée par Turc. Quatre causes principales peuvent être à l'origine d'un décalage éventuel.

a) Une erreur de mesure sur P qui peut atteindre 10 % soit, dans notre cas, une variation allant de 70 à 100 mm. Or, on constate (tableau IV) des écarts de 700 et même 1 000 mm qui doubleraient les valeurs des précipitations interannuelles. Cela est peu crédible.

b) Une mauvaise appréciation de la température interannuelle et une trop forte dispersion des postes thermométriques. Une erreur de 2 % est généralement admise. Elle représente un écart d'environ 0,25° C nettement inférieur aux variations constatées (tableau IV) qui vont de 3 à 5° C.

Bassins versants	ETR <sub>e</sub> - ETR (en mm)	$\Delta T$ en °C		$\Delta P$ en mm	
		Correspondant à l'équilibre	Admissible $\pm 2\%$	Correspondant à l'équilibre	Admissible $\pm 10\%$
Clarence et Lawe .....	+ 109,5	+ 5	0,2	+ 1 000	90
Aa .....	+ 72,3	+ 3	0,2	+ 700	85
Lys .....	+ 19,3	+ 1	0,2	+ 140	90
Authie .....	+ 6,6	+ 0,25	0,2	+ 20	80
Canche .....	— 24,5	— 1	0,2	— 140	85

Tableau IV. — Justification des variations d'évapotranspiration par des modifications éventuelles des températures moyennes interannuelles ( $\Delta T$ ) ou des précipitations ( $\Delta P$ ).

c) Une erreur sur l'évaluation des débits qui dépend :

- de la qualité de la station de jaugeage,
- des fuites éventuelles à la suite de prélèvements d'eau avec un rejet à l'aval de la station ou d'intercommunications entre les bassins.

L'examen piézométrique montre que la partie Sud du bassin de l'Aa (maille 13) participe à l'alimentation d'un sous-bassin de la Canche (sous-bassin de la Course).

d) Une mauvaise estimation de la superficie des bassins versants schématisés par des mailles.

L'hypothèse de Turc s'applique bien au bassin de l'Authie. Il est important de la corriger pour les autres bassins par un paramètre rendant compte de la vitesse d'infiltration liée à la lithologie qui influence le taux d'évapotranspiration.

Les bassins qui possèdent le plus de surfaces imperméables (fig. 4) comme l'Aa, la Lys, la Clarence et la Lawe, sont ceux où l'ETR est

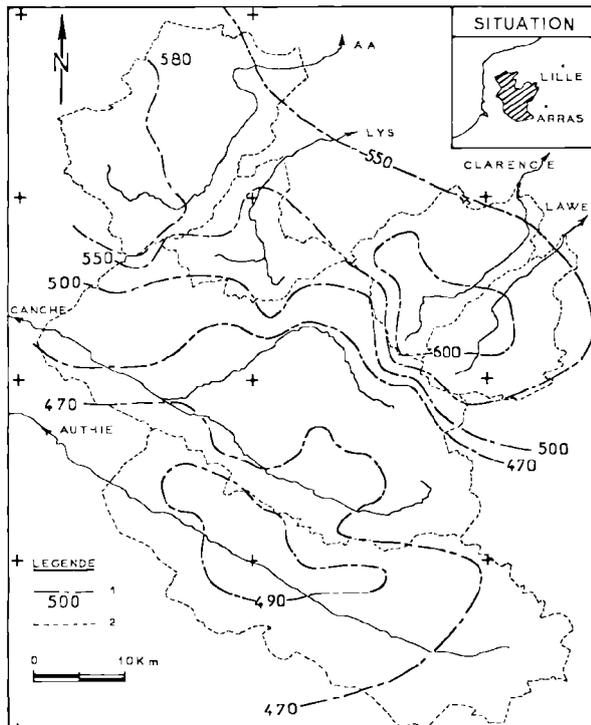


Fig. 5. — Distribution de l'évapotranspiration moyenne interannuelle réelle (1962-1969) après réajustement.

- 1: Courbe d'égale valeur d'évapotranspiration corrigée en mm.
- 2: Limites des bassins versants.

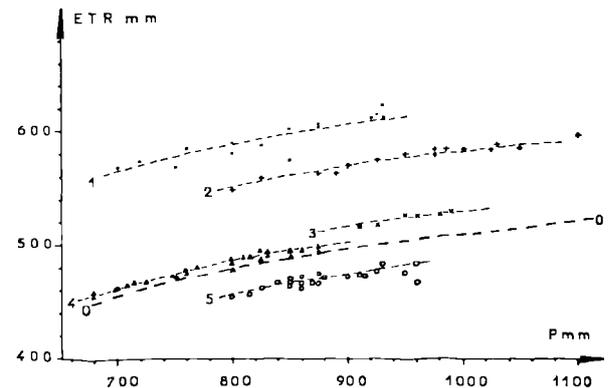


Fig. 6. — Relation pluie - évapotranspiration réelle après correction.

- 0: Courbe idéale, d'après Turc, pour une température de 9°C.
- 1: Clarence et Lawe.
- 2: Aa.
- 3: Lys.
- 4: Authie.
- 5: Canche.

sous-estimé. C'est le cas inverse qui est observé dans le bassin de la Canche, qui est constitué par des terrains crayeux perméables à fissuration importante liée à l'axe anticlinal de l'Artois et aux synclinaux de la Ternoise et de la Canche (6).

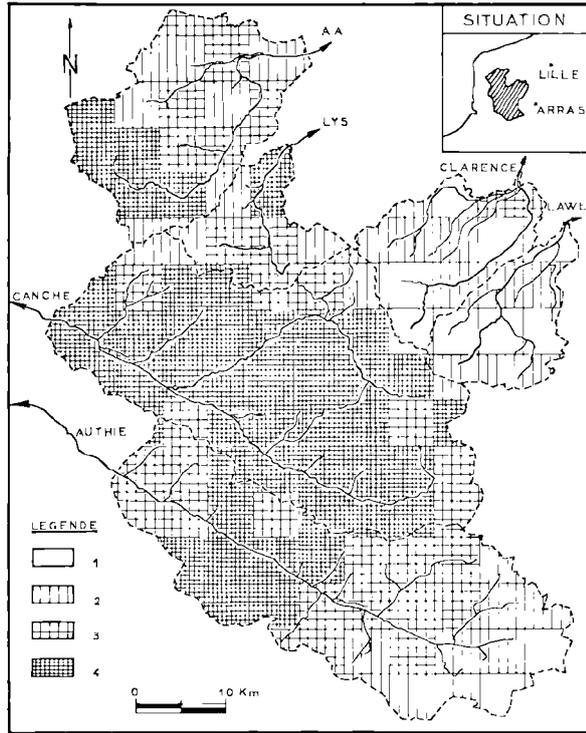


Fig. 7. — Carte des écoulements souterrains.

Valeur des modules d'écoulement souterrain :

- 1 : 0 à 5 l./s/km<sup>2</sup>
- 2 : 5 à 7,5 l./s/km<sup>2</sup>
- 3 : 7,5 à 10 l./s/km<sup>2</sup>
- 4 : 10 à 15 l./s/km<sup>2</sup>

## 2) Problème des écoulements souterrains.

L'aboutissement du programme est concrétisé par la réalisation d'une carte des écoulements souterrains (fig. 7).

On observe des secteurs à fort écoulement souterrain dans l'ensemble du bassin de la Canche, la basse Authie et de la haute Aa.

Les bassins de la Clarence et de la Lawe sont marqués par des écoulements souterrains réduits qui sont attribuables à l'existence de marnes du Crétacé et de schistes gréseux du Dévonien imperméables (mailles 33, 48, 49, 50, 51) dans la partie Sud. Dans la partie Nord des deux bassins affleurent les argiles et les sables de l'Eocène. Ces derniers sont le siège d'écoulements souterrains très faibles (7) et déterminent de grandes étendues de marécages soumises à un taux d'évaporation élevé.

La grande taille des mailles (25 km<sup>2</sup>) et l'absence de données hydrodynamiques ne permettent pas malheureusement de différencier plus finement les diverses unités lithologiques. L'impact des vallées sur le régime des écoulements est noyé dans une valeur moyenne globale.

## CONCLUSIONS

L'application du programme FLOC est dans ce premier stade de travail un outil de dégrossissage qui a permis de répartir géographiquement les écoulements, de souligner le problème de validité des mesures, en particulier celles de l'évapotranspiration qui nous ont conduit à l'établissement d'une carte d'évapotranspiration réelle réajustée.

Le passage à un stade d'étude plus fin peut être maintenant abordé, mais il nécessitera des données hydrodynamiques nombreuses.

\* \* \*

BIBLIOGRAPHIE

- 1) ARCY D. (D') (1969). — Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin de l'Authie. *Thèse 3<sup>me</sup> cycle, Fac. Sc. Paris*, 167 p., 7 pl., 22 tabl., 94 fig.
- 2) COLLIN J.J., DELAROZIERE-BOUILLIN O., LEBLANC, M. et LEGRAND D. (1968). — Abaque de détermination pratique de l'évapotranspiration réelle annuelle selon la formule de Turc. *B.R.G.M.*, 68 SGL, 067 HYD.
- 3) DELAROZIERE-BOUILLIN O. (1970). — Etude sommaire de la distribution des ressources en eau souterraine de la France. *B.R.G.M.*, 70 SGN 299 HYD., 48 p., 7 pl.
- 4) DELAROZIERE-BOUILLIN O., LABORDE, J.P. et MARGAT J. (1971). — Calcul automatique de la distribution spatiale des modules d'écoulement total et d'écoulement souterrain dans un bassin versant. *B.R.G.M.*, 71 SGN 085 HYD., 47 p., 28 fig.
- 5) DELAROZIERE-BOUILLIN O. et MARGAT J. (1969). — Etude sommaire de la distribution des ressources en eau souterraine de la France. *B.R.G.M.*, 69 SGL 294 HYD., 58 p., 7 fig., 1 pl.
- 6) GERIN B. (1966). — Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin de la Canche. *Thèse 3<sup>me</sup> cycle, Fac. Sc. Paris*, 185 p., 36 fig. 28 tabl., 32 pl.
- 7) MANIA J. (1971). — Contribution à l'étude de la nappe des sables landéniens en Flandres franco-belges et dans le bassin d'Orchies. *Thèse 3<sup>me</sup> cycle, Univ. Sc. et Techn. Lille*, 161 p., 29 fig., 43 tabl., 11 pl.
- 8) REZAI-VALYCE G.H. (1970). — Recherche des facteurs de l'écoulement dans les bassins de Picardie et de Haute-Normandie. *Thèse de 3<sup>me</sup> cycle, Univ. Sc. Paris VI*, 144 p.





## Étude géochimique de l'argile résiduelle de la craie

par Antoine BONTE (\*) et Pierre DEBRABANT (\*)

**Sommaire.** — L'étude géochimique de l'argile résiduelle, qui tapisse la surface de la craie altérée sous recouvrement perméable, montre que ce matériau provient, pour sa majeure partie, de la craie sous-jacente et s'accumule au cours de sa dissolution. Elle met en évidence des gradients de concentration en éléments, conduisant à confirmer l'existence, au cours de la dissolution : d'une part, de phénomènes de transport ; d'autre part, d'accumulations importantes au niveau des argiles résiduelles. Elle tente enfin de situer les éléments chimiques parmi les différentes phases minéralogiques qui constituent le matériau de décalcification.

**Summary.** — The geochemical study of residual clays, overlying weathered chalk below pervious covering, shows that material proceeds, for big part, from underlying chalk and accumulates during her dissolution. She displays concentration's gradients of elements, which lead to prove existence during dissolution : on the one hand, of carriage's phenomenons ; on the other hand, of big accumulations on a level with residual clays. She tries finally to locate chemical elements among different mineralogical phasis which constitue decalcification's material.

### INTRODUCTION (A. B.)

L'étude sur le terrain a conduit de nombreux auteurs (\*\*) à attribuer à l'argile noire qui tapisse les poches de dissolution de la craie une origine éluviale. L'analyse de la *fraction argileuse* et l'examen microscopique de la *fraction granuleuse* obtenue par lavage ont confirmé cette origine. Il était intéressant de rechercher si l'analyse géochimique apporterait d'autres arguments.

L'essentiel de la note sera donc consacré à l'étude géochimique comparée de l'argile résiduelle et de la craie située au voisinage immédiat ; mais, au préalable, on rappellera sommairement les principes de formation et de mise en place de l'argile éluviale et on définira avec précision les points où les prélèvements ont été effectués.

#### 1) Principe de formation et mise en place de l'argile résiduelle (fig. 1).

Les poches de dissolution sont le résultat d'une lente percolation des eaux d'infiltration. Elles se forment de façon idéale dans la craie, lorsque celle-ci est recouverte par une formation perméable, de préférence sableuse, qui ralentit l'infiltration des eaux pluviales. C'est le cas, par exemple, dans la région Nord - Pas-de-Calais, tout au long de la zone où affleure la surface de transgression des sables éocènes sur la craie sénonienne à *Micraster decipiens*.

Amorcées dès la surface de séparation sable-craie, à l'aplomb des franges d'infiltration qui sont liées à la perméabilité différentielle de la couverture, elles se développent progressivement par concentration du drainage avec une forme générale en entonnoir ; mais leur profondeur ne peut dépasser la zone d'oscillation de la surface piézométrique, à partir de laquelle la percolation verticale, lente et localisée, est remplacée par un écoulement horizontal, plus

(\*) U.E.R. Sciences de la Terre, Lille.

(\*\*) Notamment : Dollfuss, Gosselet, Hébert, Jules Brown, Lemoine, Pinchemel, Van den Broeck, Whitaker, etc...

Note déposée le 3 Mai 1973.

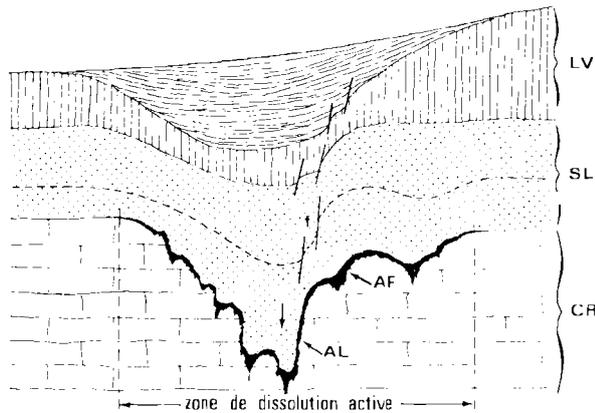


Fig. 1. — Schéma d'une poche de dissolution de l'Artois. CR, craie. — SL, sable landénien. — LV, limon de lavage. — AF, argile résiduelle feuilletée. — AL argile résiduelle laminée. — f, faille de tassement.

En dehors de la poche, il n'y a aucune trace résiduelle, bien que les conditions stratigraphiques soient favorables, parce qu'on se trouve en dehors des eaux de percolation.

rapide et généralisé ; elles sont donc liées à la zone d'aération.

Le résidu de la dissolution de la craie reste évidemment sur place, entre cuir et chair, sous forme d'un liseré argileux de teinte toujours très foncée, qui marque le cheminement du front de dissolution ; c'est ce qui constitue l'argile éluviale.

Ce résidu, plaqué contre une paroi déjà altérée, représente donc tout l'insoluble de la craie dont il dérive ; mais seule la partie tout à fait inférieure, au contact de la craie, est intacte ; elle est feuilletée avec des lits clairs alternant avec des lits sombres [Bonte, 1971 (\*), Pl. III, fig. 12], car la dissolution est discontinue, liée aux précipitations atmosphériques. Au-dessus, l'argile feuilletée passe progressivement, par l'intermédiaire d'une zone plus ou moins brassée qui correspond aux feuilletés formés antérieurement, au matériau de remplissage ; ce dernier n'est autre que la couverture perméable originelle entraînée par son poids dans la cavité, où elle est surmontée par des dépôts superficiels qui tendent à compenser l'entraînement vers le bas (Bonte, 1963).

En profondeur, la cavité se rétrécit et devient cylindrique ; le remplissage semble poinçonner

(\*) Dans cette note (p. 43, 2<sup>me</sup> col., 16<sup>me</sup> ligne), lire "éluviaux" au lieu de "alluviaux".

la craie et le liseré d'argile résiduelle, qui devient écailleuse, est laminé au point de disparaître ; en même temps, le remplissage est affecté de petites failles dues au tassement différentiel.

L'argile résiduelle non remaniée comporte deux fractions :

1) une fraction granuleuse parfaitement identifiable. En particulier, les prismes et plaquettes silicifiés d'inocérames, très fréquents, proviennent sans aucun doute possible de la craie, dont ils sont un élément caractéristique (Bonte, 1971).

2) Une fraction argileuse prépondérante. De nombreuses analyses effectuées par M<sup>me</sup> Camez, sur des échantillons provenant de l'Artois, ont montré que cette argile était formée de montmorillonite dominante, identique au résidu de l'attaque par l'acide chlorhydrique dilué de la craie originelle (Millot et al., 1957).

La matrice argileuse a pu évoluer, au cours du lessivage, par entraînement de certains constituants ou par apport d'éléments en provenance de la couverture perméable. C'est ce que tentera de déterminer l'analyse géochimique.

## 2) Localisation des prélèvements.

Deux séries d'échantillons ont été analysées : l'une provient d'un gisement typique de l'Artois (Bonte, 1954, p. 74), formé sous couverture de sables landéniens, à Maisnil, hameau de Servins (Pas-de-Calais) ; l'autre provient du bord sud du bassin de Mons (Belgique) au voisinage des grandes carrières d'Harmignies.

### a) Gisement de Maisnil (fig. 2 et 3).

Le hameau de Maisnil (Maisnil-Bouché, de la carte au 80 000) est situé à 2 km environ au S de Servins. Dans cette région, quelques buttes boisées marquent la présence de témoins des sables landéniens à la surface du plateau crayeux. Les prélèvements analysés proviennent des parois d'une grande carrière exploitée en 1969 par les Ponts et Chaussées, à 500 m au SE du centre du hameau de Maisnil (Coordonnées Lambert, zone I : x = 621,0 ; y = 299,0 ; z = 148).

En raison du mode de gisement des sables landéniens, disposés en grandes poches dans

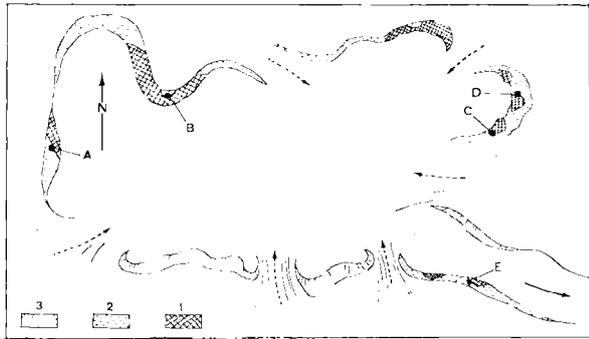


Fig. 2. — Gisement de Maisnil (Servins, Pas-de-Calais). Les lettres A, B, C, D, E indiquent les zones d'affleurement.

1, craie. — 2, sables landéniens. — 3, talus d'éboulis. La flèche en trait plein marque l'entrée de la carrière ; les autres flèches représentent des passages qui correspondent à des inflexions de la surface sable-craie, respectées par l'extraction.

la craie, la carrière abandonnée (100 m × 60 m env.) est formée d'une dizaine de cirques séparés par des promontoires de craie entourant l'exploitation principale (fig. 2). Des prélèvements ont été effectués en différents points des affleurements encore visibles (fig. 3, A à E), mais l'étude a porté essentiellement sur la bordure de la poche A qui a déjà fourni les matériaux utilisés pour l'examen de la fraction granuleuse (Bonte, 1971, Pl. III, fig. 11).

b) Gisement d'Harmignies (fig. 4).

Au SE de Mons, la route de Beaumont (RN 61) descendait autrefois le versant nord de la Trouille suivant une rampe assez accusée, comprise entre 2 virages prononcés, au droit des grandes cimenteries qui exploitent la craie de Spiennes. En 1971, cette route a été aménagée et la rampe remplacée par une profonde tranchée qui, partant du plateau, aboutit au P.N. de la ligne Mons-Thuin.

Dans sa partie amont, la tranchée à parois verticales recoupe uniquement des limons ; mais, en suivant la pente, la craie sous-jacente apparaît vite au niveau de la chaussée et se développe peu à peu, en même temps que l'épaisseur des limons diminue ; dans la partie aval, la craie est surmontée directement par des dépôts de pente.

Entre les limons et la craie s'intercale une formation riche en silex, d'épaisseur variable.

La surface de contact limons à silex - craie est affectée de poches de dissolution de toutes tailles de forme classique, à l'aplomb desquelles la formation à silex semble plus épaisse. Cette circonstance, jointe au fait que l'épaisseur des limons est régulière et que la ligne de séparation limon brun (lehm) - limon clair (loess) est parfaitement plane, conduit à supposer que c'est le limon à silex qui a constitué autrefois la couverture perméable postulée par ce mode de dissolution. Le transit des eaux pluviales, de la surface à la nappe souterraine, subsiste néanmoins, mais la dissolution de la craie n'est

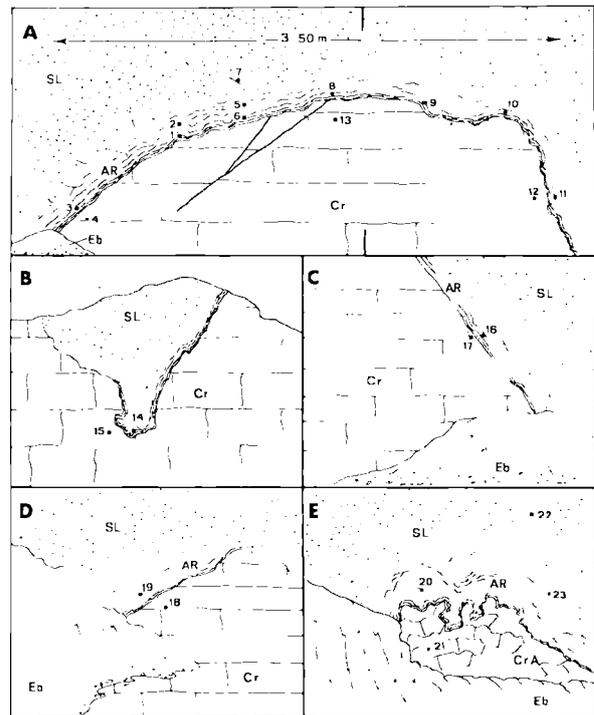


Fig. 3. — Détail des prélèvements effectués dans le gisement de Maisnil.

Les lettres désignant les différents croquis correspondent aux zones d'affleurement de la fig. 1 ; les chiffres, aux numéros des échantillons analysés.

Cr, craie. — CrA, craie altérée. — AR, argile résiduelle. — SL, sable landénien. — Eb, éboulis.

Tous les croquis sont sensiblement à la même échelle, la partie gauche, limitée par deux amorces de trait, de la fig. A correspond à la photographie déjà publiée (Bonte, 1971, Pl. III, fig. 11).

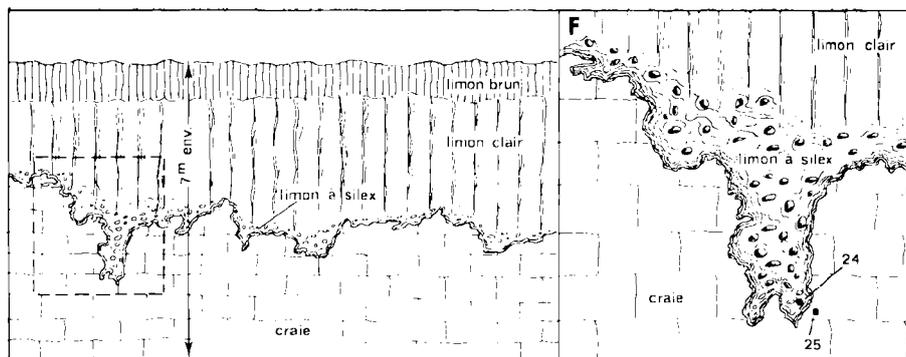


Fig. 4. — Gisement d'Harmignies (Belgique).

A gauche, coupe schématique de la partie centrale de la tranchée ; à droite, détail de la zone encadrée, correspondant à la poche principale (affleurement F), avec numéros des prélèvements analysés.

plus active à l'heure actuelle. Quoiqu'il en soit, les poches sont bordées, comme il se doit, d'un liseré d'argile noire de décalcification.

Les échantillons étudiés proviennent de la base de la poche la plus profonde (affleure-

ment F), située vers le milieu de la tranchée, paroi ouest, à 1500 m env. au NW d'Harmignies et à 75 m env. à l'aval du point où la craie apparaît sous les limons (Coordonnées : Mons-Givry au 1/25 000, 45/7-8 : x = 124,4 ; y = 122,7).

## ETUDE GEOCHIMIQUE (P. D.)

### A) ECHANTILLONNAGE

#### I) SUR LE TERRAIN.

23 échantillons ont été récoltés dans la carrière de Maisnil. Ils se composent de :

- 14 prélèvements d'argile numérotés 1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 14, 16, 19, 20, 23.
- 7 prélèvements de craie sénonienne au contact latéral ou inférieur, numérotés 4, 12, 13, 15, 17, 18, 21.
- 2 prélèvements de sable landénien au contact supérieur, numérotés 7 et 22.

Pour une plus grande représentativité, cet échantillonnage porte sur 5 points différents de la carrière (fig. 2), là où les contacts argile-craie s'avèrent les plus nets. En particulier le point A (fig. 2 et 3 A) est extrêmement détaillé ; notamment, étant donné une épaisseur plus importante de l'argile de décalcification (environ 20 cm), il fut possible de prélever deux échantillons argileux représentatifs sur deux verticales (1-2 et 5-6), les points 1 et 5 contre la

craie, correspondant au résidu le plus récemment formé (\*).

A titre comparatif, deux échantillons en provenance de la tranchée d'Harmignies ont rejoint les précédents. Il s'agit d'un échantillon d'argile (n° 24) et d'un prélèvement de craie sénonienne au contact (n° 25).

#### II) AU LABORATOIRE.

##### 1) Insoluble de la craie.

On avait prélevé sur le terrain des quantités d'échantillon suffisantes pour pouvoir extraire assez d'insoluble afin d'effectuer quelques ana-

(\*) Les analyses effectuées sur ces deux verticales ont permis de rechercher des gradients de concentration en certains éléments ; mais il faut reconnaître que les indications fournies ne sont pas absolues, car le matériau analysé n'est pas homogène au départ (fraction granuleuse avec grains de craie, de phosphate de chaux, de silice) et il peut subir un léger remaniement au fur et à mesure qu'il s'éloigne du front de dissolution.

lyses de contrôle sur cette fraction du Sénonien. Ainsi avons-nous pu traiter avec un acide dilué les échantillons 12-13-15-18-21 (Maisnil) et 25 (Harmignies) qui ont donné respectivement les fractions insolubles 39.12 - 40.13 - 41.15 - 42.18 - 43.21 - 44.25.

## 2) Insoluble de l'argile résiduelle.

Les premières analyses chimiques ont révélé que les argiles de décalcification étaient pourvues d'une quantité de substances solubles dans l'acide dilué non négligeable. Ces fractions ayant pu disparaître de l'insoluble au cours de son extraction de la craie, nous avons décidé d'étudier également l'insoluble de l'argile de décalcification, de façon à pouvoir comparer des substances ayant subi des attaques artificielles identiques.

Ainsi, après attaque par HCl dilué, 13 échantillons d'insoluble argileux ont été analysés. Comme précédemment, les numéros de ces échantillons sont complétés par le numéro de la roche-mère dont ils dérivent, soit : 26.01 - 27.02 - 28.03 - 29.05 - 30.06 - 31.08 - 32.09 - 33.11 - 34.14 - 35.16 - 36.19 - 37.20 - 38.24.

Les correspondances entre les différents échantillons analysés sont rassemblées dans le tableau I.

## B) LES COMPOSITIONS CHIMIQUES

### 1) Rappel sur la NATURE PETROLOGIQUE des échantillons étudiés.

Ce n'est pas notre propos de refaire en détail une étude sur des faciès déjà très bien connus ; toutefois, afin de pouvoir éventuellement expliciter une quelconque hétérogénéité

chimique, une lame mince fut taillée systématiquement dans chaque échantillon de craie et quelques mesures diffractométriques ont été effectuées, à titre de vérification, sur les échantillons argileux A 3, A 6, A 8, A 9.

### 1) La craie.

Les échantillons de Maisnil sont parfaitement homogènes. Il s'agit uniformément de la même biomicroite à Foraminifères planctoniques et à prismes d'Inocérames. Toutefois, les prélèvements ayant été faits au voisinage de la surface d'altération, les circulations aquifères oxydantes témoignent de leur action par des pigmentations ferrugineuses et manganifères qui, en fait, ne correspondent qu'à de faibles concentrations (tableau C hors texte). Il peut également s'agir de la mise en évidence progressive, par dissolution, d'une partie du matériel insoluble comportant une proportion non négligeable de quartz.

D'une façon tout à fait logique, les échantillons les plus riches en chaux (tel E 21 avec 54,25 % de CaO) sont également les plus riches en faune. Par ailleurs, un peu de colophanite apparaît dans les lames minces, d'une façon totalement aléatoire, sans grand rapport avec les teneurs en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Ceci laisse à penser qu'une partie du phosphore est encore liée aux organismes.

Enfin, à l'observation microscopique, le niveau crayeux échantillonné à Harmignies paraît se distinguer légèrement des échantillons de Maisnil par la plus grande rareté des organismes et la présence d'un peu de glauconie pouvant épigéniser quelques spicules. Les mouchetures ferrugineuses observables dans cette roche sont vraisemblablement imputables à l'oxydation de cette glauconie, d'autant que le phénomène envahit totalement certains spicules.

Gisements	Affleurements	Argile résiduelle	Insoluble de l'argile résiduelle	Craie	Insoluble de la craie	Sable
Maisnil .....	A	1-2-3-5-6 8-9-10-11	26.01 à 33.11	4-12-13	39.12 et 40.13 41.15	7
Maisnil .....	B	14	34.14	15		
Maisnil .....	C	16	35.16	17		
Maisnil .....	D	19	36.19	18	42.18	
Maisnil .....	E	20-23	37.20	21	43.21	22
Harmignies .....	F	24	38.24	25	44.25	

Tableau. I. — Corrélations entre les échantillons.

## 2) L'argile de décalcification.

Les vérifications diffractométriques effectuées sur les échantillons A 3, A 6, A 8, A 9, font ressortir l'association d'illite (ce que laissait présager la présence de glauconie dans la craie) et de montmorillonite, avec prédominance de ce dernier minéral comme l'avaient montré les études antérieures. Toutefois, il semble en général que la cristallisation des minéraux argileux soit relativement médiocre, à moins qu'il ne s'agisse d'un effet des oxydes de fer très développés qui, enrobant les minéraux argileux, influent sur leur comportement aux rayons X (Steinberg, 1967).

Il est néanmoins possible de préciser que les analyses chimiques de l'insoluble argileux cadrent assez bien avec les données publiées (Deer et al., 1963) et correspondent à certaines smectites. On ajoutera que la présence de quartz est variable (ce que confirment les teneurs en  $\text{SiO}_2$ ) et l'on imputera une partie des teneurs assez élevées en phosphate à la concentration de la colophanite.

Enfin, il demeure dans ces roches une certaine quantité de carbonate de calcium qui décroît de l'intérieur vers l'extérieur du gisement, c'est-à-dire en s'éloignant de la craie.

## 3) Les sables.

Nous n'insisterons pas sur ces sédiments fort connus et dont nous n'avons analysé que deux échantillons à titre indicatif (A 7 - E 22). Remarquons néanmoins que le prélèvement A-7 est nettement plus argileux que E 22. Ces prélèvements, qui proviennent d'affleurements différents de la carrière de Maisnil, ont été effectués à la même distance verticale de l'argile résiduelle (20 cm) ; mais on sait que le tassement à l'intérieur des poches a perturbé profondément les relations stratigraphiques originelles.

## II) GENERALITES SUR LES MESURES CHIMIQUES.

Les analyses chimiques ont été menées de façon classique, par attaque alcaline pour le dosage des éléments majeurs-mineurs (gravimétrie de la silice) et attaque acide de 2,5 g de poudre, pour le dosage des éléments traces.

Toutes les traces, ainsi que Ca, Mg, Mn et Al, ont été dosées par spectrophotométrie d'absorption atomique ;  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$  et Fe par absorption moléculaire ;  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  par spectrophotométrie de flamme. On a analysé les traces (Li, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr et Zn) par étalonnage en milieux complexes synthétisés après analyse des majeurs.

## III) COMPOSITIONS CHIMIQUES (tabl. A à E hors-texte).

### 1) Les argiles résiduelles.

#### a) Généralités.

L'observation du tableau A hors texte permet de dégager immédiatement quelques résultats généraux à propos de la répartition des éléments majeurs :

— une grande dispersion des teneurs en silice (32,70 % à 52,15 %) due à la variation relative du quartz et des minéraux argileux ;

— les hautes teneurs en fer qui, transformées en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , atteindraient 35,39 % de la roche dans l'échantillon C 16 ;

— les concentrations non négligeables en chaux dont une partie demeure carbonatée (jusqu'à 3,64 % de  $\text{CaCO}_3$  en E 23) ;

— une large présence du manganèse et du phosphore ;

— une remarquable stabilité des concentrations magnésiennes.

En ce qui concerne les éléments en traces, le tableau A fait apparaître l'importance de certains d'entre eux par rapport à leur "clarke" habituel dans les argiles (Katchenkov, 1967). Ainsi Co et surtout Ni et Zn sont présents sous des concentrations tout à fait exceptionnelles (les échantillons contiennent en moyenne 0,12 % de zinc pur).

#### b) Eléments d'interprétation.

Dans l'ensemble, on remarquera que les concentrations en silice sont assez variables d'un point à un autre de la carrière de Maisnil. Des échantillons pauvres en  $\text{SiO}_2$  offrent en compensation des teneurs en fer très élevées (A 3 - C 16) et parfois des accroissements de la chaux.

La chaux est elle-même fort inégalement répartie : de 11,48 % en E 23, sa teneur tombe

à 1,86 % en B 14. Il est d'ailleurs intéressant d'étudier sa répartition théorique (tableau II), ce qui peut se faire simplement par le calcul. Ainsi peut-on répartir CaO entre les trois phases (phosphatée, carbonatée, argileuse) et constater que, dans tous les cas, la majeure partie du calcium est liée au phosphate ; puis vient la chaux argileuse et ensuite carbonatée.

On notera l'importance du phosphate tricalcique : l'argile résiduelle peut en contenir jusqu'à 13 % (E 23). Il est vraisemblable qu'il provienne de la fraction granuleuse où les débris de poissons, associés aux prismes d'ino-cérames, sont fréquents (Bonte, 1971, Pl. III, fig. 13). Par ailleurs, il existe toujours une certaine quantité de carbonate de calcium qui peut dépasser 3 % (A 1 - A 5 - E 23) ; elle correspond probablement aux grains blancs encore légèrement effervescents de la fraction granuleuse.

Mince liseré aux confins des sables landéniens de la craie sénonienne, l'argile étudiée à Maisnil présente une géochimie qui semble refléter les deux pôles (sable-craie) qui l'encadrent.

L'hétérogénéité des teneurs en silice peut, bien entendu, correspondre à celle de la craie avant sa décalcification mais implique également des apports *per descensum*. En effet, si l'on considère respectivement les couples d'échan-

tillons argileux (A 1 - A 2) et (A 5 - A 6) pris sur une même verticale, on constate que le second élément de chacun d'eux (2 et 6), le plus proche du sable, fait l'objet de modifications systématiques par rapport au premier. Ainsi voit-on apparaître un gradient centrifuge SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Li, Co, Cu, Pb.

Ces modifications sembleraient indiquer que le matériau argileux des niveaux étudiés a utilisé ses propriétés adsorbantes pour arrêter certains éléments métalliques (Li, Co, Cu, Pb) contenus dans les solutions ayant traversé, *per descensum*, les sables landéniens surincombants. Des apports de ce genre ont d'ailleurs été déjà entrevus à propos du fer et du manganèse (Bonte, 1955 et 1971 ; Pomerol et Riveline-Bauer, 1967).

Cependant, l'accroissement de SiO<sub>2</sub> peut être simplement dû à un mélange mécanique réalisé au contact sable-argile et l'on peut également imputer les variations du phosphore à un phénomène de diffusion centrifuge (Bonte, 1939).

Par ailleurs, ces modifications systématiques ne prouvent en aucune façon que le matériau argileux lui-même provienne du Landénien comme le propose Pomerol (1965 et 1968). Il suffit de se rappeler que l'argile de décalcification contient des quantités importantes de chaux dont une partie est carbonatée et d'observer (tableau II) que sur les

Ech.		Chaux phosphatée	Chaux carbonatée	Chaux argileuse	(PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Ca <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>
A 1	(*) ↓	1,77	1,95	2,44	3,26	3,48
A 2	(*) ↓	2,30	0,34	1,07	4,24	0,61
A 3		2,99	0,85	1,83	5,51	1,52
A 5	(*) ↓	2,80	1,88	2,25	5,16	3,36
A 6	(*) ↓	4,84	0,85	1,81	8,92	1,57
A 8		3,93	1,61	1,74	7,25	2,87
A 9		4,23	1,07	1,55	7,80	1,91
A 10		3,47	0,69	2,00	6,40	1,93
A 11		4,42	1,03	1,83	8,15	1,84
B 14		0,90	0,17	0,00	1,66	0,30
C 16		3,24	0,56	0,47	5,97	1,00
D 19		2,55	0,33	0,76	4,70	0,51
E 20		6,06	1,03	3,69	11,17	1,81
E 23		7,22	2,04	2,22	13,31	3,64
F 24		1,03	0,80	0,13	1,90	1,43

(\*) Les échantillons reliés par une flèche appartiennent à une même verticale, 1 et 5 étant plus près de la craie.

Tableau II. — Répartition théorique de la chaux.

verticales (1, 2) et (5, 6) il y a chute du  $\text{CaCO}_3$  en s'éloignant de la craie. Ce gradient centripète divise les concentrations en chaux carbonatée par 2 ou 5 sur une distance d'une dizaine de centimètres. Dans ces conditions, il est donc logique d'invoquer une décalcification incomplète, plutôt que la précipitation du  $\text{CaCO}_3$  à partir du lessivage d'une chaux problématique dans les terrains surincombant (ce qui, théoriquement, aurait pour effet d'inverser le sens du gradient observé). De plus, on remarquera l'importance du plomb et du zinc dont la localisation sédimentaire préférentielle se situe au niveau des roches carbonatées (Nicolini, 1970). Ginzburg (1960) précise d'ailleurs que le zinc est absorbé par les produits argileux d'altération des calcaires sous forme de sauconite (groupe des montmorillonites trioctahédriques) et note que des argiles zincifères se rencontrent dans les cavités karstiques.

c) *Éléments de comparaison.*

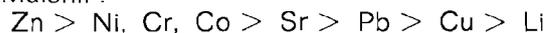
On remarquera que l'échantillon B 14 est extrêmement voisin de celui d'Harmignies (F 24) en ce qui concerne les éléments majeurs (\*). Pour des teneurs identiques en silice, tous deux offrent les mêmes concentrations basses en chaux et en phosphore, alors qu'inversement les teneurs en sodium et en magnésium s'y relèvent largement par rapport à la moyenne des autres échantillons. Cependant, on distinguera aisément F 24 de B 14, et surtout de tous les échantillons de Maisnil, par le fait qu'il n'est pas manganésifère : alors que le manganèse est élément majeur à Maisnil, il n'apparaît qu'à l'état de traces à Harmignies.

(\*) B 14 et F 24, prélevés tous deux en fond de poche, ont subi un lessivage plus intense du fait de la concentration du drainage.

Par ailleurs, la répartition et la teneur en éléments traces sont différentes dans les deux gisements.

1. - En ce qui concerne la répartition, on constate, à Maisnil, que les traces les plus répandues sont Zn et Ni et les plus pauvres Cu et Li. A Harmignies, c'est le chrome qui est le mieux représenté alors que le lithium est loin d'être le plus faible. Ainsi, en moyenne, on peut écrire que :

à Maisnil :



et à Harmignies :



l'inversion la plus importante étant celle du couple (Li, Co).

2. - Du point de vue quantitatif, les concentrations en Zn, Ni, Co et Cu ne peuvent être identifiées dans les deux gisements. En fait, le nickel est 4 fois plus important à Maisnil, le zinc 7,5 fois, Co et Cu 10 à 20 fois. Par ailleurs, parmi les éléments précités (Zn, Ni, Co, Cu), aucun d'entre eux ne présente, dans l'un quelconque des échantillons de Maisnil, de teneurs aussi faibles qu'à Harmignies ; de plus, à l'exception du chrome et du Lithium, l'argile d'Harmignies a des concentrations en traces métalliques nettement et systématiquement plus faibles. Cette remarque est importante pour la distinction des deux argiles, car on pourra rencontrer une faible teneur en Cu à Maisnil, par exemple en A 5 ou A 8, mais elle ne s'accompagnera jamais d'une faiblesse d'un autre élément.

d) *Relations remarquables entre éléments.*

Les résultats de l'étude des corrélations totales entre les concentrations en éléments sont rassemblés dans le tableau III.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Zn	Pb	Ni	Co
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ..	0,70											
MgO ..		0,72										
Na <sub>2</sub> O ..	0,53	0,60			0,57	0,70						
K <sub>2</sub> O ...		0,52			0,54							
Zn .....			0,70	0,55			0,54	0,64				
Li .....	0,62					0,66	0,55		0,53			
Ni .....				0,52			0,76		0,73			
Co .....			0,67				0,55		0,89		0,72	
Cu .....							0,55		0,77	0,52	0,56	0,74
Sr .....				0,55				0,59				

Tableau III. — *Corrélations totales entre les concentrations en éléments dans les argiles résiduelles.*

Dans ce tableau ne sont conservés que les coefficients de corrélation dont la probabilité d'existence est supérieure ou égale à 95 %. Ils résultent de tests ayant été effectués entre les distributions arithmétiques et logarithmiques des concentrations : seul le coefficient le plus élevé est retenu. On remarque immédiatement que parmi les majeurs la corrélation entre les éléments de l'ensemble



est une relation équivalente. La transitivité de cette corrélation s'explique par le fait que les quatre éléments concernés appartiennent à la même phase, la phase spécifiquement argileuse. Ce qui exclut le magnésium de la phase carbonatée résiduelle.

La silice intervenant, par ses liaisons avec  $Na_2O$  et  $Al_2O_3$ , au sein de l'ensemble précité est celle des argiles. La silice libre, qui se superpose sous forme de quartz à celle des argiles, empêche  $SiO_2$  d'être élément de  $E_1$ .

Un phénomène identique au précédent est observable entre le manganèse et certaines traces et l'on peut dire que la corrélation entre les éléments de l'ensemble



est une relation équivalente.

Cette relation est due au fait que le manganèse, qu'il soit en solution sous forme de  $Mn(OH)_2$  ou qu'il précipite dans la zone d'oxydation sous forme  $MnO_2$ , donne des composés chargés négativement, capables d'absorber certains cations en solution dont  $Zn, Cu, Co, Ni$  (Rankama et Sahama, 1950).

Une grande partie des éléments traces serait donc liée aux grains d'oxyde de manganèse plutôt qu'adsorbée par les argiles, ce qui est parfaitement compatible avec la mauvaise qualité des structures argileuses étudiées.

Cependant, une fraction du cobalt est liée aux oxydes de fer avec une partie du  $Zn$  dont une troisième fraction rejoint le phosphate. L'importance des concentrations en zinc et leur liaison avec les phosphates renseignent sur la définition du milieu de genèse des argiles résiduelles. En effet, selon Ginsburg (1960),  $Zn$  n'est stable qu'à pH élevé ; il devient mobile à pH 5. Par conséquent, on est certain que le pH du milieu était supérieur à 5.

Par ailleurs, l'auteur précise que le zinc peut être fixé aussi bien par les phosphates que par la montmorillonite. Comme  $Zn, P_2O_5$  ne présente aucune corrélation avec les éléments de la phase argileuse ( $Al_2O_3, MgO, Na_2O, K_2O$ ). Or la montmorillonite doit absorber le phosphate sous la forme de l'ion  $PO_4H_2^-$  entre pH 3 et 7 (Wey, 1955).

De ces différentes données, on peut conclure que le phosphate et le zinc, liés l'un à l'autre, sont indépendants de la phase argileuse et que la genèse des argiles résiduelles s'est produite à pH supérieur à 7.

Le strontium, présentant de nombreuses propriétés affines pour le calcium, se lie avec  $CaO$  et  $P_2O_5$ . On peut donc situer la majeure partie de ses concentrations au niveau des grains phosphatés. Une exception néanmoins se présente avec l'échantillon C 16 qui offre une teneur exceptionnellement élevée (400 p.p.m.) pour des concentrations en phosphate (tabl. II) tout à fait moyennes par rapport à l'ensemble.

Enfin le lithium, lié à la silice et au potassium, d'une part, au zinc et au manganèse, d'autre part, semble se partager entre les minéraux argileux et l'oxyde de manganèse ; ses concentrations (30 p.p.m.) sont d'ailleurs très proches de celles que l'on rencontre classiquement (Heier et Billings, 1968) dans les zones l'altération (26 p.p.m.).

*Remarque :* Nous retiendrons trois liaisons particulièrement étroites (dont la probabilité d'existence est supérieure à 0,999) : ce sont celles des couples ( $MnO, Ni$ ), ( $Zn, Co$ ) et ( $Zn, Cu$ ).

## 2) Les sables.

### a) Généralités.

Les deux échantillons (A 7 et E 22), prélevés en deux points extrêmes de la carrière de Maisnil, offrent des compositions chimiques différentes (tableau B hors-texte) du fait d'une plus grande place faite aux minéraux argileux dans l'échantillon A 7.

Dans l'échantillon E 22, la teneur en silice (plus de 90 %) écrase les concentrations de tous les autres éléments qui apparaissent ainsi directement liés aux argiles. Les concentrations en éléments autres que le silicium sont donc,

dans E 22, systématiquement inférieures à celles que l'on rencontre dans A 7.

On remarquera par ailleurs les teneurs en fer et en manganèse relativement faibles, l'absence de phosphate ainsi que la rareté des éléments traces : en particulier l'absence du zinc, du cuivre, du cobalt et du nickel. Seul le chrome (avec 140 p.p.m. dans A 7) offre une représentation non négligeable.

b) *Eléments d'interprétation.*

A priori, il semble donc assez peu probable qu'une telle roche soit, par dissolution *per descensum*, seule à l'origine des concentrations métallifères observées dans les argiles résiduelles sous-jacentes, à moins d'admettre un lessivage complet des sables. On serait alors conduit par la logique du raisonnement à accepter les conséquences suivantes :

- 1) Les concentrations des éléments métallifères dosés dans les argiles devraient se ranger grossièrement dans le même ordre que celles qui sont encore décelables dans les sables et ce, en particulier, pour les éléments à propriétés géochimiques voisines (Sr et Ca par exemple) ;
- 2) Dans les sables, les variations géochimiques observées d'un point à l'autre de la carrière devraient conserver le même sens au niveau des argiles.

En ce qui concerne la première conséquence, on peut écrire :

pour les sables :



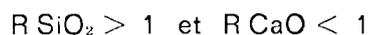
pour les argiles :



On voit qu'en passant d'un de ces milieux à l'autre, l'ordre est totalement bouleversé : le zinc, premier élément trace des argiles, est remplacé par le chrome dans les sables et se situe derrière le strontium et le plomb ; le nickel, second élément trace des argiles, est pratiquement inexistant dans les sables ; il en est de même pour le cobalt. Par ailleurs, les rapports Sr/Ca sont très différents dans les deux milieux ( $26.10^{-4}$  dans les argiles et  $114.10^{-4}$  dans les sables).

Pour ce qui est de la deuxième conséquence, on peut étudier le rapport des concentrations moyennes en éléments dans les affleurements A à E, pour les d'argiles, d'une part, pour les sables, d'autre part (tableau IV).

Il est clair que *dans les argiles*, les concentrations varient assez peu d'un point à un autre de la carrière : les rapports entre teneurs du même élément (sauf exception pour  $\text{TiO}_2$  et Cr) sont toujours voisins de 1 ; et ceci reste vrai pour la plupart des traces (Zn, Pb, Sr), pourtant de répartition théorique plus anarchique. Par ailleurs, ces rapports sont, tantôt supérieurs, tantôt inférieurs à 1 :



Majeurs %		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
Argiles	A — moyenne .....	1,09	1,27	0,92	1,37	1,42	1,07	2,04
	E							
Sables	A 7 — .....	0,87	2,50	2,33	5,79	4	4,30	2,50
	E 22							
Traces p.p.m. ....		Zn	Pb	Li	Cr	Sr		
Argiles	A — moyenne .....	1	1	1,16	1,72	1		
	E							
Sables	A 7 — .....	≥ 21	≥ 3	1,80	2,60	≥ 2		
	E 22							

Tableau IV. — *Rapports des concentrations en éléments dans les affleurements A et E de Maisnil pour les argiles résiduelles (tableau A hors-texte) et pour les sables (tableau B hors-texte).*

Inversement, *dans les sables*, à l'exception de  $R SiO_2$  qui est inférieur à 1, tous les rapports sont supérieurs à 2 et peuvent augmenter dans des proportions très importantes ( $MgO$ ,  $K_2O$ ,  $Zn$ ).

Il apparaît ainsi qu'aucune des conséquences supposées plus haut ne se trouve réalisée ; il est donc très peu probable que le sable landénien soit à l'origine de toutes les concentrations métallifères observées dans les argiles résiduelles. Nous avons vu qu'ils peuvent y participer, mais dans une faible proportion.

### 3) La craie.

#### a) Généralités.

La composition chimique de la craie est classique, elle est très proche de celle du Sénonien étudié tant dans la région de Lille que sur le littoral (Debrabant, 1970). Nous remarquerons néanmoins (tableau C hors-texte) une très légère augmentation des éléments mineurs liés à la phase détritique :  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $Fe$ ,  $MnO$ . Ceci est imputable au fait que les prélèvements étudiés ici ont été effectués au voisinage immédiat de la zone d'altération superficielle, dont on ressent ainsi l'effet.

En ce qui concerne les traces : le cuivre, le nickel et le plomb sont en bon accord avec ce qui est déjà connu du Sénonien régional ; le cobalt, le lithium et le chrome sont très inférieurs à leur "clarke" dans les calcaires (Wolf et al., 1967) ; le zinc est en bon accord avec les travaux de certains auteurs (Wedepohl, 1965) ; enfin toutes les teneurs en strontium (610 p.p.m. en moyenne) sont nettement supérieures aux valeurs observées précédemment (Debrabant, 1970) dans le Sénonien du N de la France (400 p.p.m.), ce qui donne pour la craie de Maisnil ou d'Harmignies un rapport  $Sr/1\ 000\ Ca$  de  $0,73.10^{-3}$  au lieu de  $0,47.10^{-3}$ .

#### b) Eléments d'interprétation.

Les concentrations très élevées en carbonate de calcium (jusqu'à 96 %) écrasent totalement les teneurs des autres éléments. En particulier, la plupart des éléments traces liés aux argiles échappent à l'analyse dans beaucoup d'échantillons, certains même dans tous (chrome < 5 p.p.m. et plomb < 10 p.p.m.). Seul le strontium, lié au calcium par sa géochimie,

est bien développé : avec des concentrations oscillant entre 530 et 610 p.p.m., il est en moyenne 5 fois mieux représenté que dans les argiles.

En règle générale, la craie se présente comme une roche chimiquement très homogène, contenant 93 à 96 % de  $CaCO_3$ . Il est ainsi très délicat de différencier la craie d'Harmignies de celle de Maisnil. On notera néanmoins que c'est à Harmignies que l'on rencontre la concentration la plus élevée en magnésium (0,32 %  $MgO$ ) et la plus basse en zinc (14 p.p.m.).

Il est intéressant de rechercher les analogies pouvant éventuellement exister entre la craie et l'argile de décalcification précédemment étudiée. Il est évident que les deux milieux sont extrêmement différents ; cependant certains faits les concernant ne passent pas inaperçus. Ainsi on peut considérer quelques exemples d'écart extrêmes de concentration à l'intérieur de la craie et observer la réaction enregistrée par l'argile correspondante :

— Dans la craie de l'affleurement B, on constate que les concentrations en phosphore et en zinc passent par un minimum (0,12 % et 20 p.p.m.) ; dans l'argile B 14 prise au contact, on relève respectivement 0,33 %  $P_2O_5$  et 900 p.p.m.  $Zn$ , avec une nette accentuation du minimum pour le phosphore.

— Dans la craie de l'affleurement E, le magnésium présente sa teneur minimale ; ce minimum, nettement différencié se retrouve également dans l'échantillon argileux E 20.

— Le maximum du strontium de la craie se situe en D 18 avec 710 p.p.m. ; ce pic se retrouve en D 19 avec 400 p.p.m. dans l'argile prélevée au contact immédiat de 18.

— On se souvient que dans la distinction des craies d'Harmignies (25) et de Maisnil ( $\bar{X}$ ), on notait un maximum de magnésium et un minimum de zinc à Harmignies ; ces phénomènes se retrouvent exactement dans l'argile F 24. (1,94 %  $MgO$  et 160 p.p.m. de zinc).

— De même les minimums du fer, du nickel, du cobalt et du cuivre et le maximum en alumine observés en F 25 (craie) se retrouvent en F 24 (argile).

Bien entendu, en raison d'apports extérieurs possibles par lessivage, ces variations simulta-

nées des concentrations sont mises en défaut pour certains éléments ; mais la convergence des phénomènes précédemment détaillés, dans des milieux géochimiquement aussi différents que l'argile résiduelle et la craie, implique des relations importantes entre eux et ne peut être l'effet du hasard. Elles semblent déjà pouvoir confirmer les relations génétiques postulées par les études antérieures.

c) *Relations remarquables entre éléments.*

L'analyse statistique du milieu carbonaté laisse apparaître quelques liaisons particulières rassemblées dans le tableau V.

On reconnaîtra que, parmi les majeurs, la corrélation entre les éléments de l'ensemble

$$E_2 = \{SiO_2, Al_2O_3, MgO, K_2O\}$$

est une relation équivalente. Ces éléments, à concentrations étroitement covariantes, appartiennent simultanément à la phase argileuse, ce qui exclut le magnésium de la phase carbonatée et le concentre dans la craie au niveau des minéraux argileux. La relation (SiO<sub>2</sub> - MgO) était déjà apparue, mais moins nettement il est vrai, dans l'étude géochimique du Sénonien (Debrabant, 1970), les échantillons étudiés alors étant vraisemblablement moins argileux.

Il est remarquable de constater que ce phénomène peut être également mis en évidence dans les argiles résiduelles et que, dans les deux milieux, les trois corps Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO et K<sub>2</sub>O sont étroitement associés, liant le magnésium à la phase argileuse dans les deux faciès.

En ce qui concerne les traces, on retrouve la corrélation du cobalt avec le fer et le manganèse. De même, le zinc et le fer sont étroitement liés. Ces phénomènes, déjà observés

au niveau des argiles résiduelles, soulignent l'interdépendance qui existe entre les deux milieux et confirment une fois encore l'hypothèse génétique de l'argile résiduelle.

4) **L'insoluble de l'argile résiduelle.**

a) *Généralités.*

On se souviendra que dans le but de déterminer l'influence de l'attaque du laboratoire sur le comportement de l'insoluble de la craie, 13 échantillons d'argile résiduelle ont subi le même traitement que la craie avant d'être une nouvelle fois analysés (échantillons 26.01 à 38,24, tableau I).

Les compositions chimiques des insolubles des argiles résiduelles sont rassemblées dans le tableau D hors-texte.

b) *Éléments d'interprétation.*

En ce qui concerne les éléments majeurs, on remarque la grande dispersion des concentrations en silice et en fer. Ces deux éléments sont d'ailleurs remarquablement antagonistes, les accroissements du fer paraissent pallier systématiquement les déficits en silice. L'étude de la covariance de ces deux éléments conduit à un antagonisme de coefficient  $R = -0,80$ , pour une probabilité d'existence de 99,9%. Si l'on compare les valeurs obtenues pour chaque élément avec les résultats correspondant à l'argile résiduelle, prise globalement, on observe dans l'insoluble un accroissement systématique des concentrations en SiO<sub>2</sub> et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Cette augmentation peut dépasser 20% pour ce qui est de la silice ; elle se fait au détriment du fer, de la chaux, du sodium, du manganèse et du phosphore.

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	MnO	Zn	Ni	Co
SiO <sub>2</sub> .....	0,83	0,82	0,86				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....		0,72	0,84				
MgO .....			0,85				
Fe .....				0,86	0,75		0,87
MnO .....							0,82
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....						0,75	

Tableau V. — *Corrélations totales entre les concentrations en éléments dans la craie.*

Il est évident que ces corps, plus solubles que dans le milieu naturel, ont été entraînés par l'attaque acide qui a mieux respecté la silice libre ainsi que les minéraux suffisamment stables. Le calcium a par exemple disparu du fait de la destruction du carbonate et du phosphate, présents dans l'argile résiduelle, et l'on peut considérer que les faibles concentrations restantes constituent le reliquat lié aux argiles non totalement lessivées.

Pour ce qui est du lessivage du fer et du manganèse, il s'est effectué d'une manière qui, a priori, paraît totalement aléatoire, bien qu'aboutissant pour le fer à un phénomène aussi régulier que son antagonisme systématique pour la silice. Ainsi A 26.01 et A 30.06 conservent les mêmes concentrations manganésifères que A 1 et A 6, tandis qu'en A 29.05, Mn n'est plus qu'à l'état de trace, l'échantillon ayant perdu 96 % du manganèse de A 05. Les concentrations en MgO, K<sub>2</sub>O et TiO<sub>2</sub> restent identiques par rapport à celles de l'argile résiduelle et, de même que dans ce milieu, conservent une remarquable stabilité à travers les différents échantillons.

Quant aux traces, des phénomènes analogues à ceux qui affectent les majeurs sont observables. Tout d'abord, à l'exception du lithium, en accroissement relatif, toutes les concentrations en éléments traces ont brutalement diminué par suite de l'attaque acide. Si l'on compare les tableaux A et E hors-texte, on constate que les variations des teneurs ne sont pas corrélatives. Ainsi, par exemple, aux concentrations les plus faibles en Ni (C 16) ou en Zn (A 2) de l'argile ne correspondent pas les teneurs les plus basses dans l'insoluble (C 35.16 - A 27.02). En fait, les chutes brutales de traces sont liées à celles du fer (Co - Zn dans les échantillons A 29.05 - A 32.09 - D 36.19) et particulièrement à celles du manganèse (Co, Ni, Zn et surtout Cu dans les échantillons A 29.05 - A 32.09 - C 35.16 - D 36.19 - E 37.20).

On se souviendra que l'étude statistique des analyses portant sur les argiles résiduelles avait montré la liaison des traces avec les oxydes de fer (Zn, Co) et de manganèse (Zn, Co, Cu, Ni). Cette liaison est remarquablement confirmée avec le traitement secondaire subi par la roche étudiée. Là où les grains d'oxyde de fer et de manganèse ont été dissous, les traces accompagnatrices l'ont également été.

Le comportement du plomb laisse aussi supposer une relation assez étroite avec le manganèse.

Le strontium, dont on avait démontré la liaison avec le phosphate de calcium, est réduit au 1/5 de sa concentration initiale. Cependant, cette réduction étant largement inférieure à celle du phosphate (1/10), on peut penser qu'une petite quantité de strontium est argileuse. A ce propos, on remarquera que le caractère exceptionnel de la teneur de l'échantillon D 19 est conservé dans l'échantillon correspondant D 36.19. Cette teneur ne peut être expliquée que par une absorption tout à fait locale par les minéraux argileux ou la précipitation d'un minéral strontianique. Enfin l'accroissement du lithium confirme sa liaison avec les minéraux argileux dont la concentration relative augmente avec la dissolution des autres phases de l'argile résiduelle.

*Remarque 1 :* La plupart des critères qui avaient permis une différenciation entre les argiles résiduelles de Maisnil et d'Harmignies se reconnaissent dans la phase insoluble. Ainsi peut-on distinguer Harmignies par les majeurs, avec les teneurs les plus faibles en phosphore ou en manganèse et inversement avec les concentrations les plus élevées en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

*Remarque 2 :* Du fait de la solubilité différentielle des métaux, l'ordre de concentration des éléments traces est modifié par l'attaque de laboratoire.

L'ordre observé dans l'argile résiduelle de Maisnil, soit :

Zn > Ni > Cr, Co > Sr > Cu, Pb > Li

devient

Zn > Ni > Cr > Co > Li > Sr, Pb > Cu  
par l'attaque acide.

L'ordre observé dans l'argile résiduelle d'Harmignies, soit :

Cr > Ni, Zn > Sr > Li > Pb > Co > Cu

devient

Zn > Cr > Ni > Li > Sr > Pb > Co, Cu  
par l'attaque acide.

Dans les deux cas, le lithium conserve quantitativement une remarquable stabilité ; le strontium et même le cuivre sont très affectés par le traitement acide.

5) L'insoluble de la craie.

a) Généralités.

Les compositions chimiques correspondantes sont rassemblées dans le tableau E hors-texte.

On remarquera immédiatement des fluctuations très importantes de la silice variant en sens inverse du fer, qui offre des concentrations exceptionnellement élevées là où  $\text{SiO}_2$  est déficitaire (20,13 % Fe en A 39.12, pour 37,25 % de  $\text{SiO}_2$ ). L'étude de la covariance des concentrations de ces deux éléments conduit à un coefficient de corrélation négatif  $R' = -0,94$  auquel est attaché une probabilité d'existence de 99 %.

Le manganèse fait également l'objet de fluctuations totalement aberrantes qui conduisent sa concentration à plus que décupler d'un échantillon à l'autre. Etant donné l'homogénéité en Mn de la craie elle-même, l'hétérogénéité apparente de son insoluble est vraisemblablement liée à l'attaque acide.

Pour la même raison, le calcium carbonaté et phosphaté a disparu et il ne subsiste que la chaux liée aux minéraux argileux ou adsorbée par eux à partir de la solution d'attaque. De fait, les concentrations en  $\text{P}_2\text{O}_5$  paraissent relativement basses.

Trois éléments semblent pratiquement stables : le magnésium, le potassium et le titane.

Quant aux traces, à l'instar du fer et du manganèse, le zinc, le nickel, le cobalt et le cuivre présentent des fluctuations très étendues. Le lithium, le plomb et le chrome sont plus stables, tandis que le strontium disparaît avec le calcium et devient indosable par absorption atomique, avec une concentration généralement inférieure à 20 p.p.m. dans la roche.

b) Eléments de comparaison.

C'est la confrontation de l'insoluble de la craie (tableau E hors-texte) à l'argile résiduelle (tableau A hors-texte) qui vient immédiatement à l'esprit. La comparaison peut s'effectuer très simplement grâce aux propriétés géochimiques majeures qui différencient les échantillons de Maisnil de celui d'Harmignies.

On se souvient que l'argile résiduelle F 24 (Harmignies) se distinguait de toutes les autres (Maisnil) par des concentrations nettement différentes de certains éléments :

- concentrations supérieures en aluminium  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Harmignies/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  Maisnil = 1,26 ;
- concentrations inférieures en  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Fe, MnO, Zn, Ni, Co, Cu.

En comparant l'insoluble de la craie 44.25 (Harmignies) avec la moyenne des insolubles de la craie de Maisnil, on peut observer exactement les mêmes phénomènes :

- $\text{Al}_2\text{O}_3$  Harmignies/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  Maisnil = 1,28 ;
- les concentrations en fer, en phosphate, en zinc et en nickel diminuent grossièrement de moitié de Maisnil à Harmignies ; les concentrations en manganèse, en cobalt et en cuivre tombent dans un rapport inférieur à 1/10. Les amplitudes de ces variations sont tout à fait analogues à celles qu'on peut remarquer dans l'argile résiduelle, ainsi que le montre le tableau VI qui rassemble tous les éléments de comparaison.

Il est évidemment impossible de comparer directement les valeurs absolues des concentrations en éléments, puisque nous avons vu l'influence complexe que peut avoir la disso-

	$\text{Al}_2\text{O}_3$ %	Fe %	$\text{P}_2\text{O}_5$ %	MnO %	Zn p.p.m.	Ni p.p.m.	Co p.p.m.	Cu p.p.m.
Argile résiduelle								
Maisnil X .....	15,29	11,62	3,05	2,60	1 210	640	185	57
Harmignies 24 .....	19,25	7,75	0,87	0,22	160	160	12	3
Insoluble de la craie								
Maisnil X .....	13,73	13,55	0,62	0,75	550	240	72	31
Harmignies 44.25 .....	17,63	6,75	0,37	0,02	190	180	< 5	3

Tableau VI. — Comparaisons géochimiques Maisnil-Harmignies entre l'argile résiduelle (tableau A hors-texte) et l'insoluble de la craie (tableau E hors-texte).

lution pratiquée au laboratoire. Cependant, la comparaison de l'insoluble de la craie à l'insoluble de l'argile résiduelle montre que les phénomènes complexes, qui apparaissent dans l'un, apparaissent également dans l'autre :

1) On voit simultanément dans les deux insolubles s'accroître régulièrement les teneurs moyennes en silice au détriment de la chaux et du phosphate ;

2) Le fer et le manganèse offrent de leur côté des répartitions apparemment anormales qui engendrent pour le fer un antagonisme rigoureux avec la silice (fig. 5).

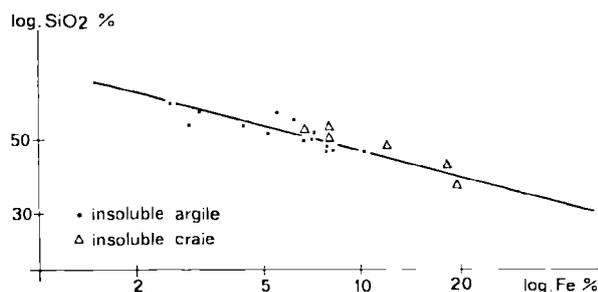


Fig. 5. — Antagonisme du couple (Fe, SiO<sub>2</sub>) dans les insolubles de l'argile individuelle et de la craie.

Par ailleurs, quelques éléments de l'analyse chimique, dont les concentrations restent relativement stables, ne semblent pas affectés par le traitement nécessaire à l'extraction de l'insoluble et, de ce fait, leurs teneurs sont, en moyenne, identiques dans les deux cas (tableau VII).

	MgO %	K <sub>2</sub> O %	TiO <sub>2</sub> %	Li p.p.m.
Insoluble de l'argile .....	1,63	1,93	0,49	38
Insoluble de la craie .....	1,54	2,11	0,50	34

Tableau VII. — Comparaison des insolubles de l'argile résiduelle (tabl. D hors-texte) et de la craie (tabl. E hors-texte).

On se souviendra que la stabilité des concentrations de ces quatre éléments est également assez remarquable dans les argiles résiduelles elles-mêmes (tableau A hors-texte).

Enfin, l'étude de la répartition des éléments traces est assez significative. En ce qui concerne l'insoluble de la craie, on peut en effet écrire que :

à Maisnil :

Zn > Ni, Cr > Co > Pb > Li, Cu > Sr

à Harmignies :

Cr > Zn, Ni > Pb > Li > Sr > Co, Cu

De même, dans l'insoluble de l'argile résiduelle on retrouve le rejet du cuivre et du strontium au niveau des concentrations les plus faibles. Enfin, dans les insolubles de l'argile résiduelle et de la craie, on peut regrouper quantitativement les mêmes éléments dans le même ordre :

à Maisnil :

Zn > Ni, Cr > Co > Li, Sr, Pb, Cu

à Harmignies :

Zn, Cr, Ni > Li, Sr, Pb > Co, Cu

L'ordre de la répartition des traces, corrélatif dans les fractions insolubles des craies et des argiles résiduelles correspondantes, offre un argument complémentaire dans l'identification des deux phases.

### C) CONCLUSIONS

La présente étude met en évidence un certain nombre de faits précis que l'on peut résumer comme suit.

1. - Au cours de sa genèse l'argile résiduelle, que l'on peut observer dans les poches de dissolution, au contact de la craie, est le siège de nombreux échanges :

a) Elle concentre en grande quantité des éléments métalliques tels que Fe, Zn, Ni, ainsi que Co, Cu, Pb, tandis que le strontium émigre avec le calcium.

b) Lors de la dissolution de la craie, le fer n'est pas séparé du manganèse qui reprécipite sur place. Ce processus épigénétique corres-

pond à celui que Perelmann (1967) désigne sous le vocable de "carbonaté neutre oxydant", ce qui concorde bien avec l'accumulation du zinc et la séparation du phosphore de la phase argileuse. D'après cet auteur, ce processus, qui conduit au lessivage du calcium, accumule au contraire le phosphate. Par ailleurs, l'analyse de travertins affectés par cette épigénèse lui livre d'importantes concentrations en Mn (1 %), Co (0,03 %), Ni, Cr (0,01 %), Pb et Cu. Ceci n'est pas sans rappeler les résultats de nos propres analyses.

c) Les éléments se répartissent entre les différentes phases (argileuse, carbonatée, oxydée...) et il ne semble pas que seules les montmorillonites soient responsables de leur accumulation. Ainsi, le zinc se partage entre les oxydes de fer, les oxydes de manganèse et les grains phosphatés, tandis que Ni, Co et Cu semblent étroitement liés aux oxydes de manganèse.

2. - Le traitement à l'acide dilué, nécessaire à l'extraction de l'insoluble, affecte les teneurs en  $P_2O_5$ , CaO, Fe, MnO et les traces, dont tout particulièrement le cuivre et le strontium.

3. - Le point le plus important paraît être l'identification géochimique de l'argile résiduelle à l'insoluble de la craie, ce qui confirme l'hypothèse de la genèse de cette argile à partir de la dissolution de la craie au contact. Cette conclusion s'appuie sur les résultats suivants :

a) On retrouve, dans la distinction Maisnil-Harmignies, les mêmes critères géochimiques, que l'on s'adresse à l'argile résiduelle, à la craie, à l'insoluble de l'argile ou à l'insoluble de la craie.

b) Les répartitions des concentrations en éléments traces sont les mêmes dans les insolubles des argiles résiduelles et de la craie que l'on peut écrire d'une manière générale :

répartition des traces dans l'argile résiduelle + attaque acide	→	répartition des traces dans l'insoluble de l'argile ou de la craie
-----------------------------------------------------------------------	---	--------------------------------------------------------------------------

c) Les écarts de concentrations, qui se décèlent dans les argiles résiduelles d'un point à l'autre de la carrière de Maisnil, se retrouvent respectivement dans les échantillons de craie correspondants.

d) La stabilité des concentrations de trois éléments (magnésium, potassium, titane) de l'argile résiduelle persiste à travers les insolubles de la craie ou de l'argile.

e) La covariance des éléments de l'ensemble ( $Al_2O_3$ , MgO,  $K_2O$ ) dans la craie et l'argile résiduelle accentue l'interdépendance de ces deux milieux pourtant chimiquement très différents.

f) La répartition des traces dans les sables landéniens ne peut être comparée de façon valable à celle des argiles résiduelles, qui ne reflètent pas non plus les variations de concentrations observables dans le Landénien (plus ou moins argileux) d'une extrémité à l'autre de la carrière de Maisnil.

Néanmoins, l'influence du Landénien n'est peut-être pas nulle. En effet, on peut mettre en évidence dans l'argile résiduelle la présence de gradients verticaux centrifuges (\*) de métaux tels que Li, Co, Cu, Pb, qui pourraient suggérer un lessivage possible du Landénien, lequel devrait être total si l'on considère certains éléments dont on ne retrouve plus trace ; l'argile se comporterait alors vis-à-vis des solutions *per descensum*, comme un barrage géochimique. Cependant, comme le montrent les arguments précédemment développés, ce phénomène n'est pas essentiel dans la genèse des argiles résiduelles. On peut d'ailleurs lui opposer la présence de gradients centripètes tels celui du calcium. De toute façon, le matériau argileux lui-même ne peut être amené *per descensum* à partir du Landénien suivant la suggestion de Pomerol (1965 et 1968).

Au total, en raison de la convergence remarquable des différents phénomènes étudiés, la géochimie apporte de sérieuses présomptions en faveur de l'hypothèse résiduelle qui pourrait s'exprimer ainsi : la pellicule argileuse qui tapisse les poches de dissolution (argile résiduelle) dérive essentiellement de la dissolution de la craie et ne peut s'expliquer par un processus de lessivage des sables landéniens. Ce lessivage ne peut pourtant être nié complètement, mais il ne participerait qu'à l'enrichissement en certains éléments métalliques (Li - Co - Cu - Pb).

(\*) Voir note infra-paginale, p. 98.

Ces conclusions confirment les études antérieures : d'une part, l'étude morphoscopique sur le terrain ; d'autre part, l'examen microscopique de la fraction granuleuse de l'argile résiduelle.

Il est bien évident que les conclusions précédentes ne s'appliquent strictement qu'à la mince pellicule éluviale qui forme le liseré noir des

poches de dissolution. Car cette pellicule, dénommée primitivement (Hébert, 1872) Argile à silex (Clay with flints, des auteurs anglais), n'a que très peu de points communs avec l'Argile à silex au sens large, telle qu'elle a été définie en 1966 à l'occasion du Colloque organisé sous les auspices de la Société géologique de France (Collectif, 1967) et sur laquelle ont porté jusqu'ici la plupart des analyses.

#### BIBLIOGRAPHIE

- 1) BONTE A. (1939). — Sur l'évolution du phosphate de chaux dans le Toarcien de l'Echelle (Ardennes). *C.R. Ac. Sc.*, 209, p. 53-55.
- 2) BONTE A. (1954). — Poches de dissolution, argiles de décalcification et grès mamelonnés dans la région d'Arras (Pas-de-Calais). *Ann. Soc. géol. Nord*, t. LXXIV, p. 67-94, 8 fig.
- 3) BONTE A. (1963). — Les remplissages karstiques. *Sedimentology*, 2, p. 333-340, 3 fig.
- 4) BONTE A. (1965). — Bauxites et Argiles à silex, deux formations colluviales. *90<sup>me</sup> Congr. Soc. Sav.*, Nice, II, p. 9-22, 1 fig., 2 pl.
- 5) BONTE A. (1971). — Poches de dissolution et argile résiduelle. *Ann. Soc. géol. Nord*, t. XCI, p. 39-46, Pl. II, III.
- 6) Collectif (1967). — Colloque sur les Argiles à Silex du Bassin de Paris (13 juin 1967). *Mém. hors-série Soc. géol. France*, n° 4-1, 88 p.
- 7) DEBRABANT P. (1970). — Typologie géochimique des calcaires. Application à l'étude des calcaires métamorphiques des massifs hercyniens français. *Thèse ronéot.*, 2 vol., 695 p., 51 fig., 162 tabl., Fac. Sciences, Lille.
- 8) DEER W.A., HOWIE R.A. et ZUSSMAN J. (1962). — Sheet silicates. *In Rock Forming Minerals*, vol. 3, 270 p., 58 fig., 44 tabl. Londres, Longmans, édit.
- 9) GINZBURG I.I. (1960). — Principles of Geochemical Prospecting. *In International series of Monograph on Earth Science*, vol. 3, 311 p., 71 fig., 28 tabl. Londres, Pergamon Press, édit.
- 10) HEBERT E. (1872). — Observations à la suite de la "Note sur un poudingue manganésifère observé dans le pays de Bray" par M. Albert de Lapparent. *Bull. Soc. géol. France*, (2), XXIX, p. 334.
- 11) HEIER K.S. et BILLINGS G.K. (1969). — Lithium. *In Handbook of Geochemistry*, II-1, Berlin, Springer-Verlag, édit.
- 12) KATCHENKOV S.M. (1964). — Average content of certain minor chemical elements in the principal types of sedimentary rocks. *In Chemistry of the earth's crust*, vol. 2, p. 416-423, *Ac. Sc. U.R.S.S.*, traduction N. Kaner, Jérusalem, 1967.
- 13) MILLOT G., CAMEZ T. et BONTE A. (1957). — Sur la Montmorillonite dans les craies. *Bull. Serv. Carte géol. Als.-Lorr.*, 10, 2, p. 25-26.
- 14) NICOLINI P. (1970). — Géologie des concentrations minérales stratiformes. 792 p., 193 fig., Paris, Gauthier-Villars, édit.
- 15) PEREL'MAN A.I. (1967). — Geochemistry of Epigenesis, 266 p., 57 fig., 33 tabl., New-York, Plenum Press, édit.
- 16) POMEROL C. (1965). — Réflexions sur "l'Argile à Silex" du Bassin de Paris. *C.R. somm. S.G.F.*, p. 148-149.
- 17) POMEROL C. (1968). — Genèse, datation et remplissage de cavités karstiques dans le Tertiaire du Bassin de Paris. *C.R. Coll. intern. Etude Neogène nordique, France, 1965. Mém. Soc. géol. minéral. Bretagne*, XIII, p. 107-111, 3 fig.
- 18) POMEROL C. et RIVELINE-BAUER J. (1967). — Mode de gisement, nature et origine d'argiles à silex et d'argiles d'altération du Bassin de Paris. *Mém. hors-série Soc. géol. France*, n° 4, p. 65-72, 2 fig., 1 pl. texte.
- 19) RANKAMA K. et SAHAMA T.G. (1950). — Geochemistry. 912 p., 44 fig., 46 tabl. Chicago. Univ. Chicago Press, édit.
- 20) STEINBERG M. (1967). — Influence apparente des hydroxydes de fer sur le comportement aux rayons X des phyllites gonflantes. *Bull. Gr. fr. Argiles*, XIX, p. 71-79.
- 21) WEDEPOHL K.H. (1965). — A geochemical Survey of the Distribution of Zinc. *In Problems of Geochemistry*, p. 217-224. *Ac. Sc. U.R.S.S.*, traduction J. Schmorak, Jérusalem, 1969.
- 22) WEY M.R. (1955). — Sur l'absorption en milieu acide d'ions  $PO_4H_2^-$  par la montmorillonite. *Bull. Gr. fr. Argiles*, VI, p. 31-34.
- 23) WOLF K.H., CHILINGAR G.V., et BEAKS F.W. (1967). Elemental composition of carbonate skeletons, minerals and sediments. *In Carbonate Rocks, physical and chemical aspects*, part. 9 B, 413 p., Amsterdam, Elsevier, Publishing C°.

Ech. / %	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>
	A 1* ...	45,95	18,63	8,75	6,16	1,81	0,31	1,61	0,46	2,80	1,49
A 2* ...	52,15	17,79	7,75	3,71	1,46	0,57	1,61	0,28	2,53	1,94	0,27
A 3 ...	35,05	13,13	19,50	5,67	1,40	0,37	1,55	0,23	2,02	2,52	0,67
A 5* ...	43,30	17,29	8,25	6,93	1,78	0,84	1,69	0,32	3,09	2,36	1,48
A 6* ...	46,55	15,28	7,50	7,70	1,68	0,35	1,67	0,32	4,30	4,08	0,72
A 8 ...	41,75	17,48	8,88	7,28	1,93	0,49	1,70	0,50	2,58	3,32	1,26
A 9 ...	42,75	12,91	14,00	6,86	1,59	0,36	1,52	0,23	1,64	3,57	0,84
A 10 ...	43,10	15,59	11,25	6,16	1,78	0,60	1,80	0,38	3,23	2,93	0,54
A 11 ...	43,55	15,74	9,00	7,28	1,70	0,31	1,49	0,46	2,89	3,73	0,81
B 14 ...	51,35	16,18	9,13	1,86	1,96	0,81	2,10	0,47	3,13	0,76	0,13
C 16 ...	32,70	11,97	24,75	4,27	1,25	0,35	1,47	0,20	1,81	2,73	0,44
D 19 ...	45,00	16,85	11,13	3,64	1,48	0,55	2,06	0,22	2,17	2,15	0,18
E 20 ...	43,95	12,12	11,63	10,78	0,88	0,27	1,46	0,34	2,09	5,11	0,81
E 23 ...	36,70	13,07	11,13	11,48	1,58	0,39	1,58	0,20	2,17	6,09	1,60
X ...	43,13	15,29	11,62	6,41	1,59	0,47	1,66	0,33	2,60	3,05	0,81
F 24 ...	51,25	19,25	7,75	1,96	1,94	0,95	1,77	0,26	0,22	0,87	0,63
Ech. / p.p.m.	Li	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sr	Zn			
	A 1 ...	26	130	220	37	660	14	90	1 030		
A 2 ...	34	240	230	75	600	38	90	890			
A 3 ...	21	320	350	75	660	50	70	1 560			
A 5 ...	26	120	210	15	710	14	110	1 020			
A 6 ...	48	280	170	77	1 100	74	170	1 240			
A 8 ...	26	120	170	10	690	70	140	1 090			
A 9 ...	21	220	170	77	820	80	140	1 410			
A 10 ...	34	150	92	65	830	48	140	1 190			
A 11 ...	28	130	96	33	480	64	140	1 330			
B 14 ...	36	160	140	78	510	80	40	900			
C 16 ...	21	350	210	81	400	41	40	1 600			
D 19 ...	43	160	170	56	440	51	40	1 220			
E 20 ...	26	120	120	62	690	51	180	1 230			
E 23 ...	24	90	100	60	430	52	140	1 170			
X ...	30	185	175	57	640	52	135	1 210			
F 24 ...	28	12	340	3	160	19	50	160			

(\*) Les échantillons reliés par une flèche appartiennent à une même verticale, 1 et 5 étant plus près de la craie.

Tableau A. — Composition chimique des argiles résiduelles.

Ech. \ %	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	A 7 ....	78,80	10,23	2,00	0,49	0,81	0,16	0,99	0,70	0,02
E 22 ....	90,85	4,09	0,86	0,00	0,14	0,04	0,23	0,28	0,02	0,00
Ech. \ p.p.m.	Li	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sr	Zn		
	A 7 ....	9	< 5	140	< 5	< 5	30	40	21	
E 22 ....	5	< 5	54	< 5	< 5	< 10	< 20	0		

Tableau B. — Composition chimique des sables.

Ech. \ %	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>
	A 4 ....	0,70	0,39	0,57	54,22	0,20	0,38	0,10	0,02	0,11	0,68
A 12 ....	1,00	0,40	0,73	50,73	0,20	0,35	0,08	0,01	0,10	0,39	39,86
A 13 ....	1,20	0,36	0,72	53,00	0,19	0,31	0,08	0,01	0,13	0,30	41,64
B 15 ....	0,45	0,33	0,30	53,42	0,18	0,28	0,08	0,01	0,08	0,27	41,97
C 17 ....	2,15	0,78	0,62	52,35	0,21	0,31	0,11	0,02	0,10	0,50	41,13
D 18 ....	2,00	0,48	0,38	53,90	0,20	0,30	0,10	0,02	0,07	0,48	41,39
E 21 ....	0,10	0,33	0,41	54,25	0,11	0,28	0,06	0,02	0,07	0,27	42,19
X .....	1,09	0,44	0,53	53,12	0,18	0,32	0,09	0,02	0,09	0,41	41,40
F 25 ....	1,65	0,72	0,34	51,88	0,32	0,34	0,11	0,02	0,07	0,27	40,76
Ech. \ p.p.m.	Li	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sr	Zn			
	A 4 ....	0,5	6	< 5	4	19	< 10	560	36		
A 12 ....	0,5	8	< 5	7	6	< 10	560	56			
A 13 ....	< 0,5	15	< 5	< 3	14	< 10	530	33			
B 15 ....	< 0,5	< 5	< 5	6	10	< 10	570	20			
C 17 ....	1,5	11	< 5	6	19	< 10	640	43			
D 18 ....	0,5	< 5	< 5	< 3	15	< 10	710	41			
E 21 ....	< 0,5	7	< 5	6	10	< 10	600	26			
X .....	< 0,6	< 8	< 5	< 5	13,5	< 10	600	36			
F 25 ....	0,5	< 5	< 5	< 3	7	< 10	700	14			

Tableau C. — Composition chimique des craies.

Ech. \ %	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	A 26.01	46,25	19,12	8,29	0,51	1,54	0,15	1,43	0,42	2,63
A 27.02	60,75	16,60	3,18	0,50	1,54	0,24	1,72	0,52	1,88	0,30
A 28.03	46,90	15,95	10,31	0,29	1,49	0,18	1,88	0,32	1,48	0,21
A 29.05	56,35	21,16	4,36	0,34	1,79	0,31	1,94	0,65	0,12	0,21
A 30.06	51,25	15,89	7,41	0,74	1,63	0,16	1,94	0,20	4,43	0,44
A 31.08	48,70	18,49	7,92	0,63	1,74	0,18	1,94	0,53	2,59	0,25
A 32.09	65,80	15,69	2,62	0,27	1,53	0,14	1,93	0,58	0,06	0,11
A 33.11	51,55	18,33	6,81	0,42	1,65	0,23	1,85	0,57	1,82	0,21
B 34.14	53,90	17,62	5,28	0,21	1,78	0,16	2,10	0,55	2,57	0,14
C 35.16	53,20	15,58	7,43	0,43	1,68	0,16	2,10	0,57	0,67	0,14
D 36.19	55,15	19,51	2,96	0,22	1,72	0,30	2,04	0,50	0,37	0,60
E 37.20	62,40	15,03	5,49	0,17	1,40	0,22	2,08	0,46	0,31	0,37
X . . . . .	54,35	17,41	6,01	0,39	1,62	0,21	1,91	0,49	1,57	0,30
F 38.24	59,35	20,53	6,36	0,25	1,71	0,39	2,10	0,56	0,04	0,11

Ech. \ p.p.m.	Li	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sr	Zn
	A 26.01	28	56	140	10	550	35	20
A 27.02	38	71	80	16	470	29	< 20	460
A 28.03	26	110	130	11	410	20	23	750
A 29.05	36	12	120	< 3	60	14	29	180
A 30.06	60	140	90	73	1 020	46	23	1 110
A 31.08	32	57	110	11	580	43	25	780
A 32.09	30	5	100	< 3	30	11	32	140
A 33.11	34	30	100	15	830	37	25	880
B 34.14	38	55	80	35	330	44	< 20	540
C 35.16	32	46	100	< 3	350	11	< 20	490
D 36.19	41	7	90	< 3	440	20	310	380
E 37.20	32	22	100	3	260	28	52	510
X . . . . .	36	51	103	(*)	440	28	(*)	560
F 38.24	31	< 5	180	< 3	50	25	< 20	330

(\*) 15 <  $\bar{Cu}$  < 16 ; 23 <  $\bar{Sr}$  < 28, à l'exception de D 36.19.

Tableau D. — Composition chimique de l'insoluble des argiles résiduelles.

Ech. \ %	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	A 39.12 .	37,25	12,44	20,13	0,00	1,04	0,80	2,22	0,36	0,59
A 40.13 .	42,70	11,49	18,75	0,28	1,60	0,74	2,84	0,51	1,94	0,82
B 41.15 .	56,50	15,27	8,38	1,40	1,57	1,08	2,92	0,56	0,97	0,41
D 42.18 .	51,20	15,90	8,38	1,48	1,79	1,18	2,79	0,53	0,14	0,55
E 43.21 .	49,15	13,54	12,13	1,12	1,60	0,38	1,68	0,39	0,13	0,62
X . . . . .	47,36	13,73	13,55	0,86	1,52	0,84	2,49	0,47	0,75	0,62
F 44.25 .	52,05	17,63	6,75	0,70	1,63	0,29	2,20	0,62	0,02	0,37
Ech. \ p.p.m.	Zn	Pb	Li	Ni	Co	Cu	Cr	Sr		
	A 39,12 .	890	45	28	330	140	56	270	25	
A 40.13 .	360	55	46	140	50	6	270	< 20		
B 41.15 .	540	65	34	230	73	39	230	< 20		
D 42.18 .	430	60	36	200	40	15	230	21		
E 43.21 .	610	50	26	290	55	39	210	< 20		
X . . . . .	550	55	34	240	72	31	242	< 20		
F 44.25 .	190	40	31	180	< 5	3	260	< 20		

Tableau E. — Composition chimique de l'insoluble des craies.



## Révision des Productellidae (Brachiopodes) du Dévonien de Ferques (Boulonnais, France)

par Claudine BROUSMICHE (\*)  
(Planches XV, XVI et XVII)

**Sommaire.** — Le Dévonien de Ferques renferme de nombreux *Productellidae*. Les récoltes, surtout effectuées dans le calcaire de Ferques, ont fourni un très grand nombre de représentants des *Productellinae*. L'emploi des méthodes statistiques, à partir de variables définissant la taille et la forme des individus, a permis de remettre en synonymie *Productella larminati* Rigaux et *P. dutertrei* Rigaux avec *Productella subaculeata* (Murchison). L'étude approfondie des caractères internes de ces trois types, par la méthode des usures sériées, confirme l'homogénéité spécifique. Une explication de la grande variabilité morphologique de *P. subaculeata* (forme et ornementation) a été recherchée au niveau d'une évolution intraspécifique et d'une adaptation aux conditions de sédimentation. Une première approche des caractères internes et externes de deux espèces de *Chonopectinae*, peu représentées dans le Boulonnais, a été tentée.

**Summary.** — The Devonian of the Boulonnais contains many specimens of the *Productellidae*. The collects specially springed from the "calcaire de Ferques" have given a great number of *Productellinae*. The use of statistical methods, from variables accounting for size and form, allows to consider *Productella larminati* Rigaux and *P. dutertrei* Rigaux as synonyms of *Productella subaculeata* (Murchison). An accurate study of the internal characters of these three types, by serial usuries, sustains the specific homogeneity. An explication of the great morphologic variability of *P. subaculeata* (form and ornamentation) has been researched in an intraspecific evolution and in an adaptation to conditions of sedimentation. A first study of internal and external characters has been attempted on two species of the *Chonopectinae*, badly represented in the Boulonnais.

### INTRODUCTION

Le Dévonien boulonnais renferme des représentants des deux sous-familles des *Productellidae*. Murchison (1840) et Rigaux (1908), parmi les *Productellinae*, y avaient défini, sur des critères de taille et d'ornementation, trois espèces du genre *Productella*: l'espèce-type *P. subaculeata* (Murchison, 1840), d'une part, *P. larminati* et *P. dutertrei* Rigaux, 1908, d'autre part. Plus récemment, Veevers (1959) a entrepris l'étude des caractères internes de *P. subaculeata* et on doit à Muir-Wood et Cooper (1960) l'importante révision des principales familles

et différents genres des Productidés. Ce sont eux qui ont créé, en particulier, la seconde sous-famille des *Productellidae*: les *Chonopectinae*, représentée dans le Boulonnais par *Whidbornella productoides* (Murchison, 1840) et *Steinhagella membranacea* (Phillips, 1841). L'état actuel de nos connaissances après ces nombreux travaux est résumé tableau I. Ce tableau indique la position stratigraphique des niveaux où les *Productellidae* ont été reconnus et rappelle les subdivisions et âges attribués par les différents auteurs ayant travaillé dans le Boulonnais.

Les conditions d'affleurement n'ont pas toujours permis de retrouver les points de prélèvement signalés dans la littérature. Les récoltes proviennent essentiellement du calcaire de Fer-

(\*) Université des Sciences et Techniques de Lille, Laboratoire de Géologie régionale.

Note déposée le 3 Mai 1973.

	Faunes Fecanines par Murchison Rigault, Veveles, Muir, Wood & Cooper	AUSTIN 1853	COSSELET 1860	RIGAUD 1865	RIGAUD 1899	P. PUVOST 1928	D. LEMAITRE et I. DEVOS 1961	MAGNE 1964	A. BONTÉ 1969
Gres de Fienens			Gres rouges et jaunes de Fienens	Gh et Psammiles de Muré	Gres psammitique de Ste Godienne	Gres blancs et Psammiles de Ste Godienne	non étudié	FAMENNIEN	FAMENNIEN
Schistes d'Hydrecoent	Productella subaeolata Productella dufrenoyi		FAMENNIEN	FAMENNIEN		FRASNIEN sup.	non étudié	FRASNIEN sup.	
Calcaire de Ferques	Orthis productelloides Strophalosia membranacea Productella subaeolata Productella dufrenoyi	Calc. de Ferques	Calcaire de Ferques	Calc. de Ferques		FRASNIEN moy.		FRASNIEN moy.	FRASNIEN sup.
Dolomie de Beaulieu		FRASNIEN	FRASNIEN	FRASNIEN		FRASNIEN inf.	FRASNIEN moyen	FRASNIEN inf.	FRASNIEN moy.
Calc à Pentamères sup.		Niveau à diatomies avec intercalations de schistes	Schistes rouges Dolomie caverneuse		BEAULIEU	FRASNIEN inf.			
2 à Orthothetes elegans	Strophalosia productelloides			Schistes de Beaulieu et Dolomie des Noyes					
2 à Spinifer bellifera	Productella subaeolata Productella larmnati		Sch à Polypterus						
Calc à Pentamères inf.	Productella larmnati								
Dolomie des Noyes									
Sch de Cambrevaques									
Calcaire de Blacourt		Calc. de Blacourt	Calcaire de Blacourt	Calcaire de Blacourt		GIVETIEN		GIVETIEN sup.	FRASNIEN inf. (Rang à Murchison)
		GIVETIEN	GIVETIEN	GIVETIEN		GIVETIEN		GIVETIEN inf.	GIVETIEN sup.
Gres de Caffiers		Gres à planches de Blacourt	Gres verts et schistes rouges	Quartzite et Poudingue de Caffiers		GIVETIEN		GIVETIEN	GIVETIEN inf.
Poud de Caffiers		Gres à planches de Blacourt Schistes Calc de la Cerdule Poud de Caffiers				GIVETIEN		GIVETIEN	GIVETIEN inf.

Tableau I. — Rappel de la position stratigraphique des niveaux à *Productellidae*. Subdivisions et âges attribués par les différents auteurs ayant travaillé dans le Boulonnais.

ques, dans lequel j'ai retenu quatre niveaux particulièrement fossilifères. Ce sont, de bas en haut (fig. 1), nous référant à la colonne stratigraphique établie par Magne (18) :

- 1) Le calcaire de base, très mince (2 cm), constitué d'une calcilutite riche en fragments bioclastiques et contenant une faune abondante mais de petite taille.
- 2) Deux bancs métriques extrêmement riches en brachiopodes, surmontant 7 m de calcaire gris brun localement dolomitique, peu fossilifère. Le premier d'entre eux est un calcaire gris, pseudo-noduleux, à tendance parfois schisteuse où abondent, d'après Wallace (33), les *Spinatrypa aspera*, ce qui lui vaut le nom de "lit à Brachiopodes". Quelques *Productellidae* y sont présents et deviennent plus nombreux dans le banc supérieur constitué d'un calcaire blocailleux riche en *Cyrtospirifer verneuilli*.
- 3) A 15 m environ de la base du calcaire de Ferques, après 3 à 5 m de calcaires altérés, les derniers lits de la zone dite des brachiopodes font retour au "faciès" *Cyrtospirifer/Productella*. Ce sont des bancs métriques de calcaires gris brun ou gris rougeâtre très durs.
- 4 ab) Les lits supérieurs, plus argileux renferment des individus peu nombreux, généralement mal conservés, souvent déformés. Deux niveaux s'avèrent plus riches, en particulier les bancs tout à fait terminaux, d'épaisseur totale égale à 5 m, constitués d'une alternance de plaquettes centimétriques d'un calcaire gris cristallin et de marnes tendres gris vert.

J'ai échantillonné dans toutes les carrières des environs de Landrethun qui, pour la plupart,

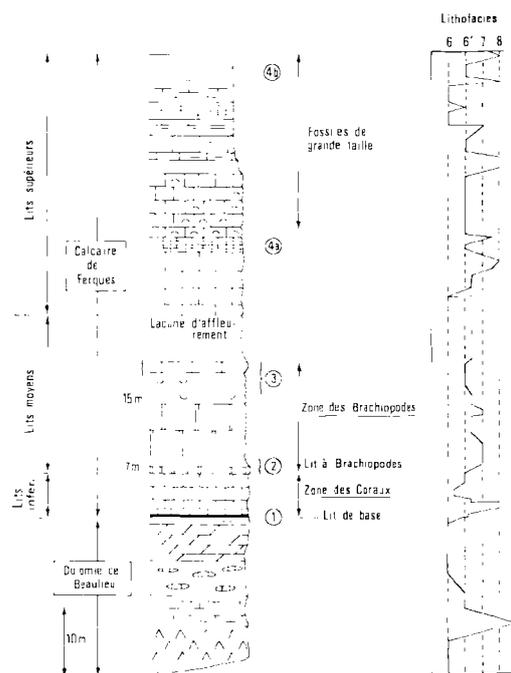


Fig. 1. — Principaux niveaux à *Productellidae* du Calcaire de Ferques. Stratigraphie et lithofaciès d'après Magne, 1964.

Lithofaciès :

- 6 : Calcaire micrograveleux, graveleux ou oolithique ; biohermes.
- 6' : Calcaire microcristallin bioclastique.
- 7 : Calcaire microcristallin organogène.
- 8 : Calcaire argileux ou argile organogène.
- 9 : Argile calcaire à fins débris ou argile azoïque.

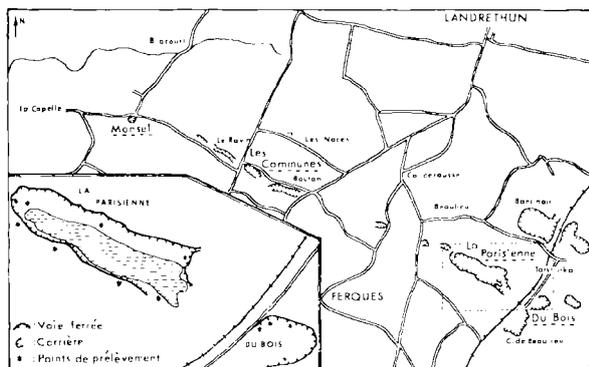


Fig. 2. — Localisation des carrières visitées.

entaillent le calcaire de Ferques (fig. 2). Mes récoltes se montent ainsi à plus de 500 beaux spécimens et d'un nombre égal de débris de coquilles. Le détail des fossiles fournis par chaque niveau et par gisement est donné à la fin de cette note.

N'ayant pu retrouver les niveaux à *Productellidae* des autres formations, j'ai complété mes observations par l'étude des échantillons conservés aux musées de Boulogne, Lille, Paris, Londres et Cambridge (\*).

Le matériel étudié, strictement boulonnais, comprend des représentants des deux sous-familles des *Productellidae* révisés par Muir-Wood et Cooper (20). D'après ces auteurs, la sous-famille des *Chonopectinae* se distingue de celle des *Productellinae* par des interareas souvent plus développées, la présence possible d'un pseudodeltidium, l'ornementation composée de tubes spinifères plus nombreux, régulièrement disposés et présents parfois sur la valve brachiale.

La présente révision des *Productellidae* du Boulonnais comprendra deux parties bien distinctes. La première donnera les résultats d'une étude statistique des représentants de la sous-famille des *Productellinae* et les données nouvelles qui en découlent. La seconde, consacrée à la sous-famille des *Chonopectinae*, peu repré-

sentée dans le Dévonien de Ferques, apportera quelques compléments à la description des deux espèces reconnues.

Sous-famille des *PRODUCTELLINAE*  
Schuchert et Le Vene, 1929

Genre *PRODUCTELLA* Hall, 1867

Tous les spécimens boulonnais rapportés à cette sous-famille appartiennent au genre *Productella* (13) redéfini par Muir-Wood et Cooper (20) et dont je rappellerai les caractères essentiels :

— coquille petite ou moyenne à contour hémisphérique,

— valve pédonculaire convexe avec une ligne cardinale inférieure à la plus grande largeur - interarea linéaire,

— valve brachiale concave - interarea linéaire,

— ornementation concentrique plus accentuée sur les oreillettes ; présence d'épines épar- ses sur la valve pédonculaire s'élevant à partir de pustules arrondies et alignées parfois près du bord cardinal,

— intérieur : l'articulation des valves se fait par un double jeu de dents et de fossettes - processus cardinal bilobé séparé d'un brévi-septum médian par un alvéole.

En 1908, Rigaux, outre l'espèce-type : *Productus subaculeatus* créée par Murchison, décrit deux nouvelles espèces : *Productella larminati* et *Productella dutertrei* (29). D'après lui, *Productella larminati*, très gibbeuse, se distingue de l'espèce de Murchison par ses "épines nombreuses et disposées en séries longitudinales irrégulières". *Productella dutertrei* présente une forme "transverse, plus grande que les deux précédentes" et une "disposition irrégulière de ses tubercules le long des stries d'accroissement". La discrimination spécifique repose donc sur des critères de taille et d'ornementation. Dans le matériel dont je disposais, quelques spécimens étaient bien sûr parfaitement conformes à l'une ou l'autre de ces descriptions mais la plupart présentaient des caractères intermédiaires. L'emploi des méthodes statistiques a permis, comme nous le verrons par la suite, de dégager deux conclusions :

(\*) Je tiens à remercier MM. les Conservateurs de ces différents musées qui ont bien voulu mettre leur matériel à ma disposition, ainsi que le Dr P. Wallace, de l'Imperial College de Londres, et le Dr J. Drot, du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris. Que le Dr D. Brice soit assurée de ma profonde reconnaissance pour m'avoir si souvent accueillie dans son laboratoire.

— la première est que l'échantillon est issu d'une population homospécifique, les espèces *Productella larminati* et probablement *Productella dutertrei* ne sont en fait que des variantes de *Productella subaculeata* ;

— la seconde est que *Productella subaculeata* présente une variabilité morphologique extrême.

Afin de permettre au lecteur une meilleure compréhension de l'espèce-type telle qu'elle apparaît après cette révision, j'en donnerai tout de suite une description détaillée, réservant à une seconde partie la justification de ma prise de position en faveur de la synonymie des trois espèces du genre *Productella* connues dans le Boulonnais.

**PRODUCTELLA SUBACULEATA**  
(Murchison, 1840)

(Pl. XV ; Pl. XVI, fig. 1-5 ; Pl. XVII, fig. 1-8, 24-29)

A) DESCRIPTION.

1) **Caractères externes.**

a) *Dimensions du néotype* :

Hauteur totale de la coquille : H . . . .	12,1 mm
Largeur : l . . . . .	12,6 mm
Longueur de la ligne cardinale : LLC	11,35 mm
Épaisseur totale : e . . . . .	5,7 mm
Longueur de la valve pédonculaire déroulée : Lvpd . . . . .	19 mm
Hauteur du crochet pédonculaire : h	1,75 mm

Ces différentes dimensions sont définies fig. 3.

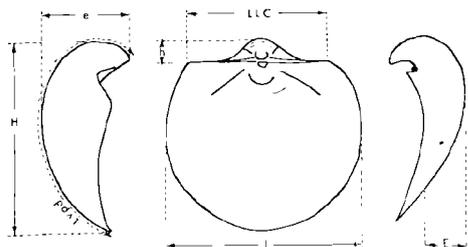


Fig. 3. — Dimensions retenues pour les études statistiques.

b) *Variabilité morphologique extrême* :

— Coquille de taille moyenne à très grande (plusieurs cm de largeur) dont la forme générale peut varier d'un contour semi-elliptique plus large que haut à un contour oblong plus haut que large (Pl. XV). La valve brachiale déprimée dans sa partie médiane épouse grossièrement la forme de la valve pédonculaire. Interareas linéaires ; deltidium absent.

— Ornementation de la valve pédonculaire composée de tubes spinifères et de fines stries concentriques d'accroissement parfois un peu plus accentuées et formant des plis de part et d'autre de l'umbo. Les épines peuvent être fines et nombreuses ou rares mais fortes, disposées sans ordre, ou grossièrement alignées le long des stries concentriques ou encore arrangées en quinconce simulant un alignement radial. A partir d'un tubercule basal, elles s'élèvent, soit perpendiculairement à la surface, soit obliquement vers le bord antérieur, selon que la valve est plus ou moins convexe. En outre, il peut exister parfois une rangée d'épines cardinales.

— Ornementation de la valve brachiale réduite à de fines stries concentriques de croissance interrompues par de petites dépressions.

2) **Caractères internes.**

En dehors de l'observation directe de moules internes des deux valves qui nous renseigne sur la musculature et l'appareil brachial, la technique utilisée est celle des usures sériées déjà pratiquée par Veevers (31).

Une vingtaine d'individus ont été usés perpendiculairement au plan de symétrie de la coquille, d'une part, et aux plans des commissures latérales, d'autre part. A l'exception de quelques petites variations que nous envisagerons plus loin, l'évolution des caractères internes est dans l'ensemble identique pour tous.

a) *Résultats des usures sériées* (Tabl. II et Pl. XVII, fig. 1-8).

— Valve pédonculaire. - Elle présente deux petites cavités umbonales étroites (fig. 4), rapidement réunies en une seule car la cloison centrale qui les sépare disparaît très vite. Cette valve engendre les dents servant à l'articulation de la coquille sous forme de deux excroissances constituées chacune d'une embase mas-

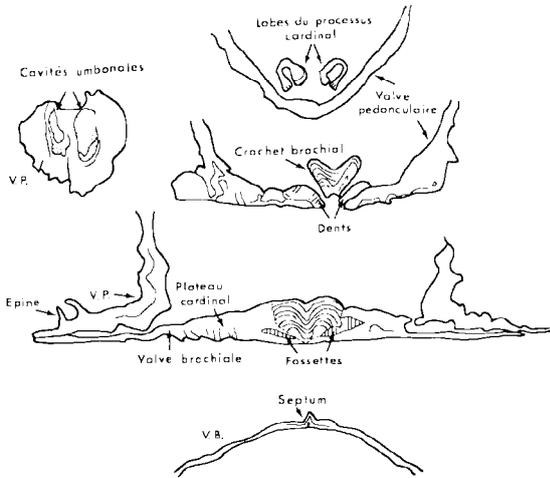


Fig. 4. — Terminologie utilisée pour décrire les caractères internes des *Productellidae*.

sive à partir de laquelle diverge la dent proprement dite. Cette dernière est affectée parfois d'un repli simulant l'existence d'une dent supplémentaire. De fines stries concentriques soulignent le dépôt successif de lamelles de calcite par les bords du manteau.

— Valve brachiale. - Elle porte un processus cardinal bilobé dont chaque lobe, constitué de couches concentriques de calcite, est échancré postérieurement par une gouttière étroite et profonde. Les deux lobes, d'abord séparés par un profond sillon, sont réunis progressivement par une lame calcaire de plus en plus épaisse. Les lamelles successives, sécrétées uniquement du côté ventral, épousent exactement le contour des lobes.

Les dents de la valve pédonculaire se logent dans deux fossettes étroites, allongées, délimitées par le bord du crochet brachial et par un repli important du bord cardinal qui s'épaissit pour constituer le plateau brachial. En outre, le crochet se creuse d'un alvéole.

Dans la partie centrale s'élève le septum médian qui permet l'insertion des muscles adducteurs. D'abord court et trapu, il s'allonge jusqu'à atteindre une hauteur égale environ à la moitié de la cavité viscérale. Cet allongement s'accompagne d'un amincissement et son extrémité présente souvent une flexure. Il s'étend sur le tiers de la longueur de la valve brachiale. Sa disparition est précédée d'une réduction nette et rapide de sa hauteur.

#### b) Observation de moules internes.

— Un moule de valve brachiale montre, de part et d'autre du septum médian, deux paires d'empreintes (Pl. XV, fig. 33-35) :

- les empreintes antérieures, peu nettes, ont une forme vaguement flabellée,
- les postérieures ont une forme trigonale et représentent les traces d'insertion des muscles adducteurs.

De l'extrémité antérieure des adducteurs divergent les crêtes brachiales. Elles sont peu visibles mais on peut cependant les suivre parallèlement au bord cardinal jusqu'à leur courbure vers la commissure frontale.

— Un moule de valve pédonculaire présente dans la région umbonale deux crêtes étroites et allongées, séparées par un léger sillon, correspondant aux insertions des adducteurs. Ces crêtes sont elles-mêmes déprimées quelquefois dans leur partie médiane (Pl. XVI, fig. 4).

#### c) Structure de la coquille.

Les usures sériées montrent qu'elle est constituée de deux couches de calcite : le lit interne mince semble crypto-cristallin et suit exactement le lit externe. Seul le lit interne participe à l'élaboration du septum.

Plusieurs couches de calcite sont visibles au niveau des épines (tabl. II). Certaines semblent participer directement à leur élaboration, les autres sont simplement déviées. Les épines souvent creuses ne sont apparemment pas en relation avec l'intérieur de la coquille. Une étude approfondie de la structure du test par la confection de lames minces ou l'emploi du microscope électronique permettra sans doute de préciser le rôle des microponctuations qui recouvrent le bord antérieur de certains moules internes (endospines?).

#### d) Variation des caractères internes.

Il s'agit toujours de variations minimales. Les tableaux II et III représentent l'évolution des caractères internes d'individus correspondant aux trois types : *subaculeata*, *larminati*, *dutertrei*. Quelques dessins ont été sélectionnés pour permettre une meilleure comparaison des processus cardinaux, de l'articulation des valves et des septums médians. Les différences observées sont dues essentiellement aux variations de taille et de convexité des coquilles.

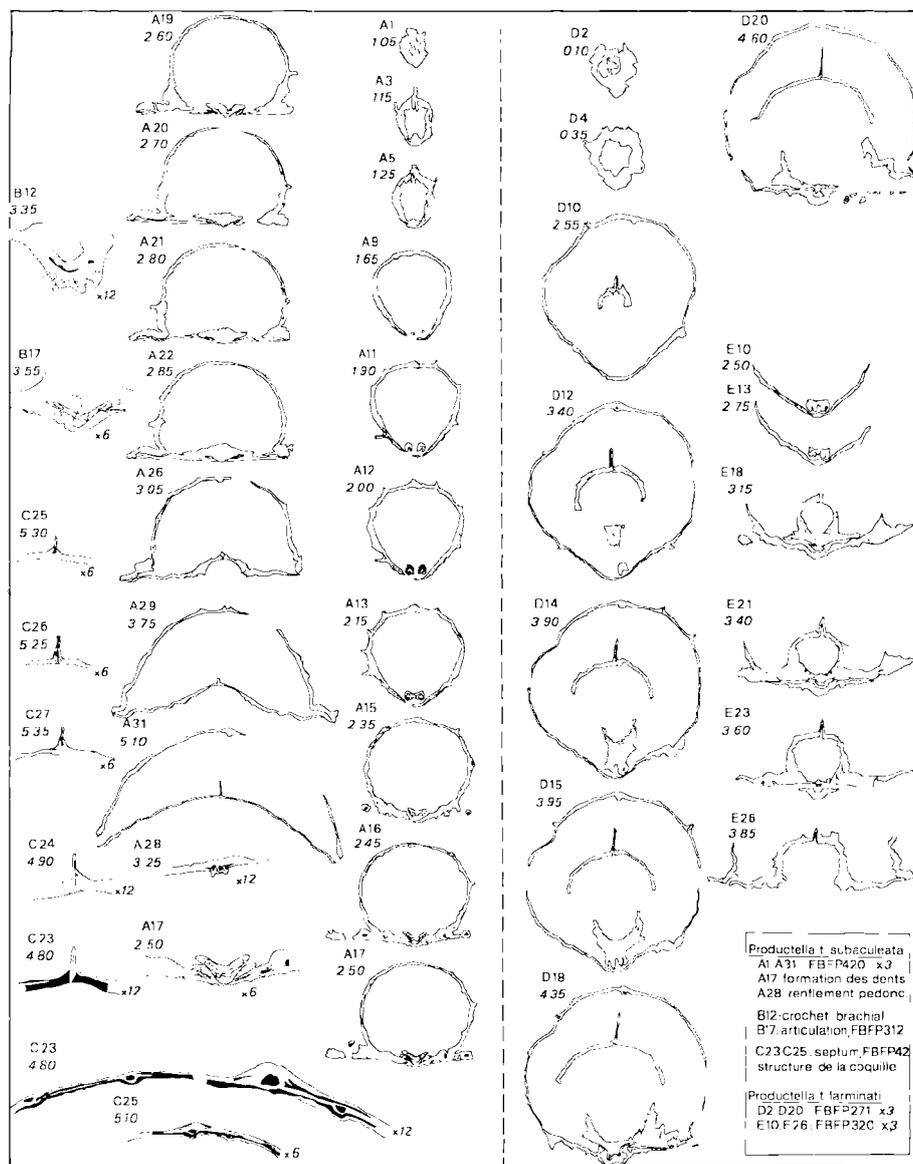


Tableau II. — Etude des caractères internes, par la méthode des usures sériees des types *P. subaculeata* (Murch., 1840) et *P. larminati* Rigaux, 1908.

Les nombres en chiffres droits indiquent le numéro de l'usure; ceux en chiffres inclinés la distance usée par rapport au sommet de l'umbo ventral.

## B) ETUDE STATISTIQUE.

### 1) Données du problème.

Compte tenu des descriptions de Murchison (21) et Rigaux (29), il était possible d'identifier, dans le matériel récolté, des représentants des espèces: *P. subaculeata*, *P. larminati*, *P. dutertrei*.

Quelques individus exceptionnellement grands possèdent une ornementation conforme à la description de *Productella dutertrei*. Un exemplaire de cette espèce, donné par Rigaux au musée Gosselet de Lille, permet de vérifier cette attribution.

Les autres spécimens, de taille moyenne, peuvent être classés en deux catégories selon

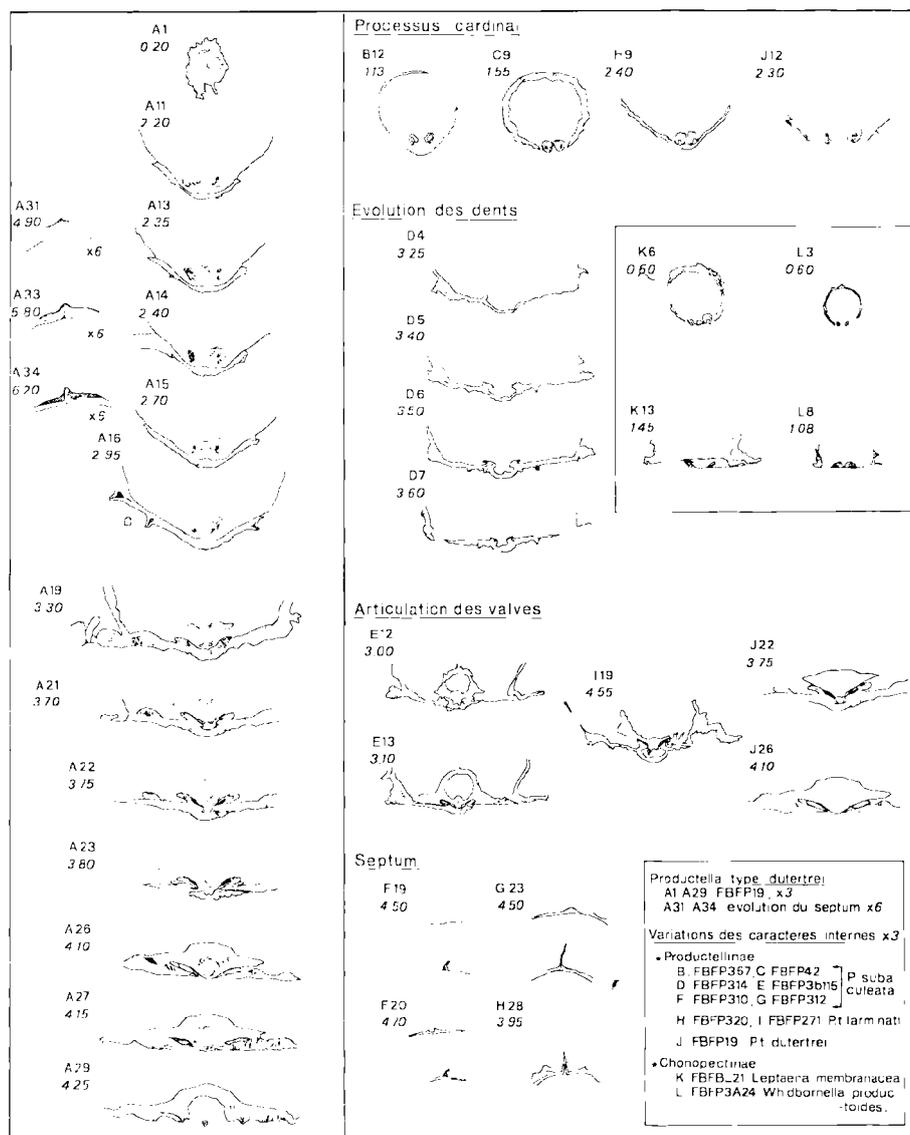


Tableau III. — Caractères internes du type *P. dutertrei* Rigaux, 1908.  
Etude comparative de ces caractères chez trois types de *Productella*, d'une part, et chez les *Chonopectinae*, d'autre part.

que l'allure générale de la coquille est peu convexe — on a alors des formes très proches de la figuration de Murchison — ou au contraire fortement gibbeuse comme chez *Productella larminati* Rigaux. Dans chacune des catégories on peut tenter, d'après la densité et la disposition des épines, une distinction en quatre groupes de formes correspondant à quatre types d'ornementation (Pl. XV, fig. 17 à 29) :

- type 1 a : rassemble les individus à umbo faiblement convexe, à bases d'épines nombreuses, circulaires, disposées sans ordre (Pl. XV, fig. 20-22).
- type 1 b : ne comporte que quelques spécimens de même forme générale mais dont l'ornementation est réduite à quelques grosses épines éparses (Pl. XV, fig. 17-19).

- type 2 a : avec lui, nous entrons dans la catégorie des formes gibbeuses dont les tubercules spinifères nombreux s'alignent radialement, simulant une costulation (Pl. XV, fig. 25-27).
- type 2 b : se caractérise par des bases d'épines plus rares. Elles soulèvent la surface de la coquille, déterminant des renflements allongés radialement qui renforcent l'impression de costulation (Pl. XV, fig. 28 et 29).

Si certains individus possèdent strictement l'ensemble des caractères externes propres à chacun des types définis ci-dessus, la plupart des coquilles toutefois portent une ornementation intermédiaire qui participe de deux, voire de plusieurs types. Il était donc intéressant de voir dans quelle mesure une étude statistique autoriserait à déterminer différentes espèces dans l'échantillon récolté.

## 2) Etude statistique des caractères externes.

### a) Choix des variables.

α) Six variables ont été retenues (fig. 3) :

H : hauteur totale de la coquille ; l : plus grande largeur de la coquille ; e : épaisseur maximale de la valve pédonculaire ; LLC : longueur de la ligne cardinale ; h : hauteur du crochet pédonculaire ; Lvpd : longueur de la valve pédonculaire déroulée.

Les cinq premières mesures ont été effectuées au pied à coulisse avec une précision du vingtième de mm, la sixième a été mesurée avec une réglette de papier millimétré, approximation : 0,5 mm.

### β) Discussion du choix des variables.

Il faut signaler que la mesure de la ligne cardinale est souvent imprécise, les oreillettes étant généralement brisées. D'autres variables auraient pu être retenues :

- l'épaisseur réelle de la coquille : E (fig. 3), mais bien souvent, seule la valve pédonculaire est conservée ou alors la valve brachiale, très concave, est remplie de sédiments ;

- le crochet pédonculaire débordant plus ou moins la ligne cardinale, on aurait pu mesurer

le débordement mais cela paraît délicat en raison de la petitesse de la dimension. De toute façon, l'importance du crochet est en relation avec la convexité de la valve exprimée par d'autres paramètres.

Jusqu'à présent, je n'ai pas trouvé de coefficient satisfaisant qui rende compte de la densité des épines, mais des recherches sont en cours pour élaborer une méthode quantitative qui traduise les différences d'ornementation.

Les variables retenues définissent donc uniquement les dimensions relatives des individus et leur forme. Or, la discrimination spécifique entre représentants du genre *Productella*, pour les espèces boulonnaises, repose sur des critères de taille et d'ornementation. Il convenait de faire porter l'étude sur ces deux types de critères, d'où la division ci-avant en quatre groupes d'ornementation.

### b) Etudes biométriques.

Chaque variable a été étudiée isolément, les corrélations existant entre deux paramètres ont ensuite été analysées, enfin on a fait jouer l'ensemble des variables : c'est l'analyse factorielle des correspondances.

Les représentants de *P. dutertrei* sont peu nombreux et leur état de conservation ne permet pas toujours d'effectuer toutes les mesures. Celles-ci ont été intégrées, chaque fois que cela a été possible, dans les différents calculs, mais l'on doit considérer que cette première partie de l'étude statistique relative à la forme générale des coquilles ne porte que sur les représentants des types : *P. subaculeata* et *P. larminati*.

#### α) Résultats à l'échelle du gisement.

Dans un premier temps, les études sont faites à partir d'individus récoltés dans un même gisement.

Les tests d'homogénéité ( $\chi^2$ ) tentés sur chaque variable donnent tous des résultats non significatifs.

L'analyse des corrélations entre deux variables conduit à des résultats identiques. La fig. 5 est une représentation des variations de la hauteur du crochet pédonculaire h en fonction de la longueur de la valve pédonculaire déroulée Lvpd pour les individus récoltés dans les

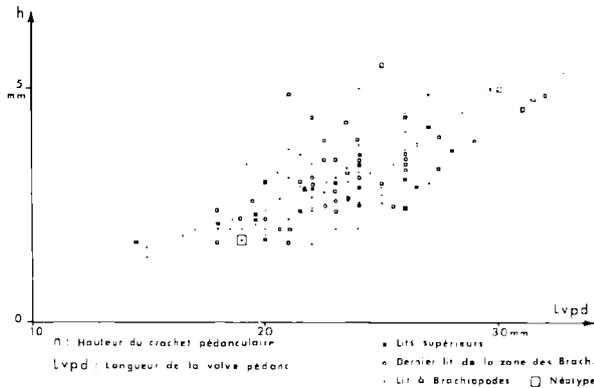


Fig. 5. — *Productella subaculeata* (Murchison, 1840).

Analyse des corrélations entre la hauteur du crochet pédonculaire et la longueur de la valve pédonculaire déroulée. Superposition des nuages obtenus dans trois des niveaux fossilifères retenus.

niveaux 2, 3 et 4. Les corrélations entre ces deux paramètres rendent compte de la convexité des coquilles. On constate, d'après ce diagramme, que les points se répartissent de façon homogène quel que soit le niveau de prélèvement et, fait important, que les nuages obtenus se superposent exactement. On démontre de la même manière que la dispersion statistique est identique dans tous les niveaux fossilifères retenus.

β) Résultats à l'échelle de l'échantillon tout entier.

Abstraction faite de la localité ou du niveau de prélèvement de chaque fossile :

- les tests du  $\chi^2$  donnent encore des résultats non significatifs ;

- l'étude des variations de la hauteur totale H de la valve pédonculaire en fonction de sa largeur maximale l montre une répartition uniforme des points (fig. 6) ;

- l'homogénéité se vérifie dans une représentation des variations relatives de la hauteur H et de la longueur de la valve pédonculaire déroulée Lvpd. Le nuage obtenu, très aplati, peut être rapporté à une droite dont la pente caractérise le coefficient de courbure de la valve au cours de la croissance de l'animal (fig. 7) ;

- les corrélations entre les longueurs de la ligne cardinale LLC et de la valve pédoncu-

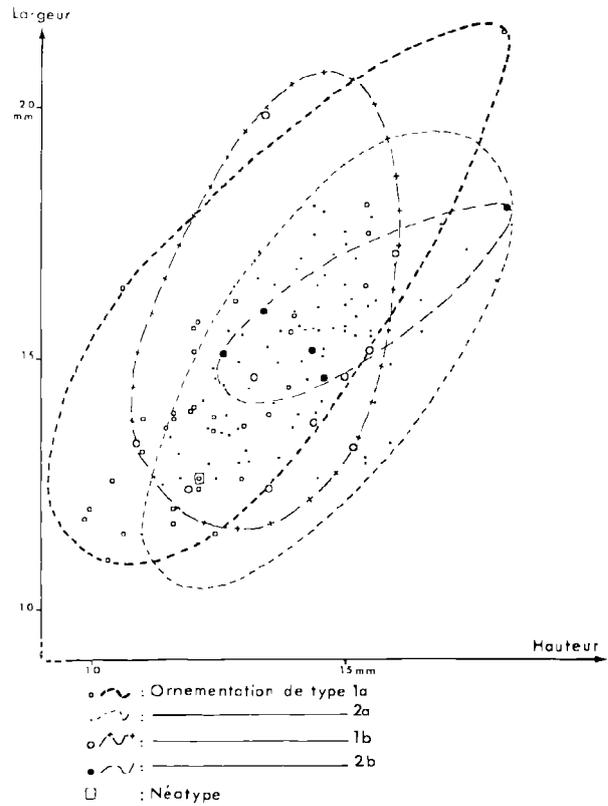


Fig. 6. — *Productella subaculeata* (Murchison, 1840).

Représentation des variations relatives de la largeur et de la hauteur de la valve pédonculaire, distinction faite entre les quatre types d'ornementation.

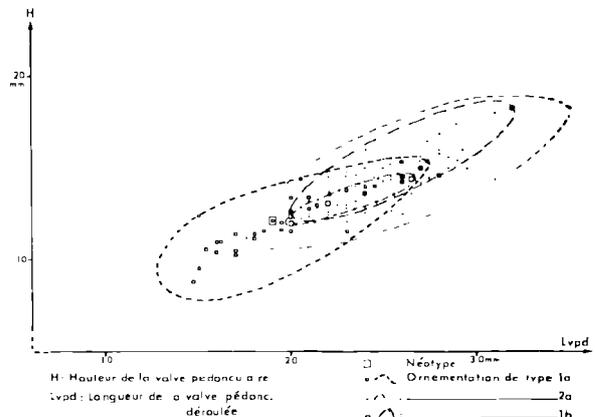


Fig. 7. — *Productella subaculeata* (Murchison, 1840).

Variations relatives de la hauteur et de la longueur de la valve pédonculaire.

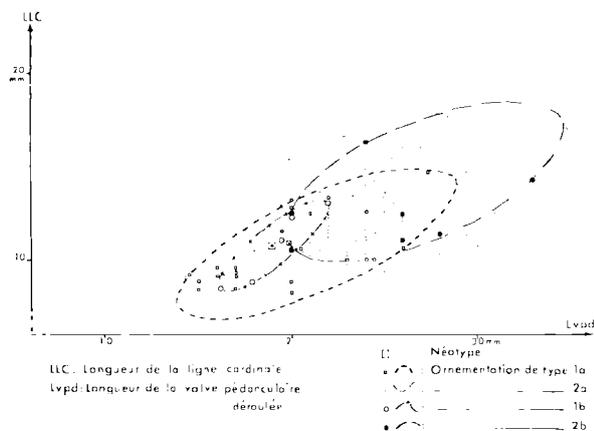


Fig. 8. — *Productella subaculeata* (Murchison, 1840).  
Variations relatives des longueurs de la ligne cardinale  
et de la valve pédonculaire.

laire déroulée Lvpd témoignent d'une croissance uniforme et continue (fig. 8).

L'homogénéité statistique est évidente aussi bien au niveau du gisement que de la totalité de l'échantillon. La population dont celui-ci est issu est homospécifique.

#### γ) Vérification par l'analyse factorielle.

Son but est de dégager l'existence de corrélations entre les différents paramètres, de mettre en évidence certains sous-ensembles, et de caractériser chacun d'eux par un ou plusieurs paramètres.

Les calculs sont effectués à partir des données brutes. Six axes d'inertie correspondant aux six variables sont extraits du nuage et on ne retient que ceux dont le taux d'inertie est suffisant. Le principe des représentations graphiques consiste à ramener le nuage à six dimensions à un plan défini par deux axes correspondant à deux paramètres par une simple projection, les coordonnées des points sont calculées par ordinateur (\*).

Le nuage a d'abord été projeté dans le plan formé par les axes correspondant aux paramètres H et l (hauteur et largeur de la valve

(\*) Je renvoie le lecteur, pour ce qui concerne le principe du modèle mathématique utilisé, à une note d'analyse (DG/DI/ORL n° 49) publiée par le Département d'Informatique d'Orléans le 5 Août 1970, et je remercie M. Losfeld, du Laboratoire d'Informatique de l'I.U.T. de Lille, pour ses précieux conseils.

pédonculaire), dont le taux d'inertie est de 71,96 %. Les points se répartissent de façon homogène : il n'y a pas lieu de différencier plusieurs groupes. Toutefois, les projections des axes d'inertie montrent que deux paramètres se distinguent par leur éloignement par rapport à l'origine (fig. 9). Il s'agit des axes 4 et 6 représentatifs de la longueur de la ligne cardinale (4) et de la hauteur du crochet pédonculaire (6). Ces deux paramètres définissent deux tendances morphologiques : celle des *Productelles* à crochet pédonculaire haut et ligne cardinale courte et celle des *Productelles* à crochet bas et à charnière plus grande. On peut parler d'un dimorphisme à deux pôles mais on remarquera que la plupart des individus se situent non pas autour des pôles mais entre eux. Ils présentent donc des caractères intermédiaires.

Des résultats identiques sont obtenus à partir de représentations dans les plans correspondants aux paramètres H, e (hauteur, épaisseur) ou l, e (largeur, épaisseur).

L'analyse factorielle révèle un dimorphisme. Il fallait essayer de voir à quoi il pouvait correspondre.

S'il s'agissait d'un dimorphisme sexuel, les individus devraient se partager en deux groupes correspondant aux deux pôles précédemment définis ; or ce n'est pas le cas. La Planche XV illustre le passage progressif d'un pôle à l'autre par de nombreux intermédiaires. Cette hypothèse est donc à exclure.

Le dimorphisme pourrait être en relation avec des phénomènes de croissance. Pour réduire l'influence de ce facteur, on divise les données brutes, dans les calculs d'analyse factorielle, par la longueur de la valve pédonculaire déroulée. Les représentations graphiques obtenues à partir des nouvelles données confirment l'existence du dimorphisme qui s'avère indépendant du stade de croissance des individus.

Il pourrait s'agir d'une évolution intraspécifique. Dans ce cas, on devrait pouvoir mettre en évidence une prédominance d'une des tendances par rapport à l'autre selon le niveau stratigraphique dans lequel sont effectués les prélèvements. Les calculs ont été faits (tabl. IV), on ne peut rien en conclure. On a constaté plus haut que les dispersions statistiques sont à peu près identiques pour tous les niveaux et,

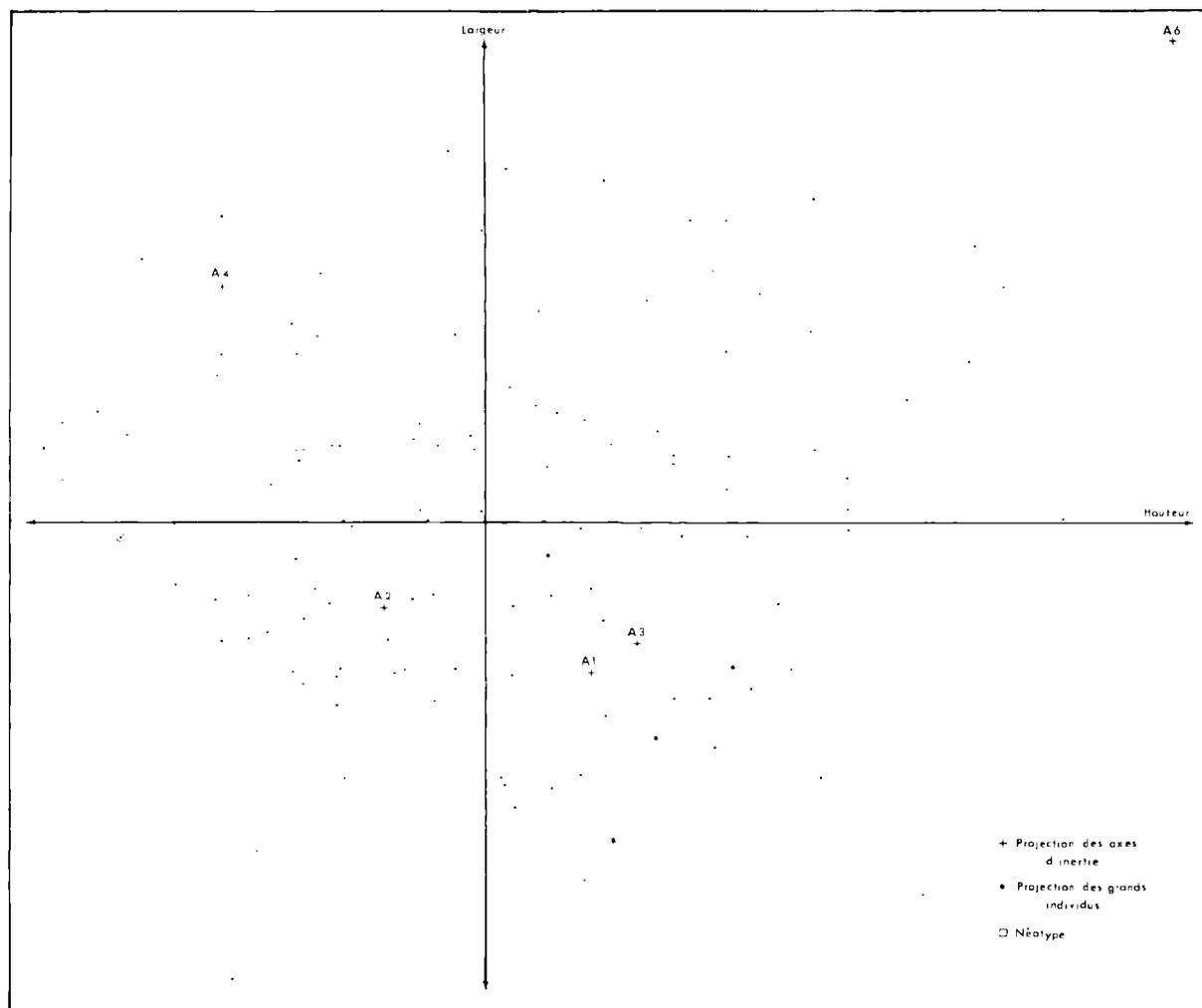


Fig. 9. — *Productella subaculeata* (Murchison, 1840).

Diagramme d'analyse factorielle rapporté au plan formé par les axes correspondant aux paramètres H et I (hauteur et largeur de la valve pédonculaire). Les données brutes sont divisées par la longueur de la valve pédonculaire déroulée.

dans les représentations de l'analyse factorielle, aucun regroupement par gisement ne s'effectue.

Peut-être avons-nous dans les niveaux étudiés seulement l'amorce d'une évolution intraspécifique ? Celle-ci ne pourra être confirmée ou infirmée que par une étude des faunes contenues dans les formations qui encadrent le calcaire de Ferques. Il n'en reste pas moins que les critères de taille démontrent l'homogénéité spécifique de l'échantillon, *Productella larminati* est un synonyme postérieur de *Productella subaculeata*.

δ) Problème des individus rapportés à *P. dutertrei*.

Dans le diagramme d'analyse factorielle (fig. 9), leurs points représentatifs occupent une position intermédiaire entre les deux pôles définis par les axes 4 et 6 et se regroupent dans un même cadran. Mais on ne peut rien conclure d'une étude statistique portant sur quatre individus.

Böger (5), à propos de la paléocéologie des Chonétidés siluriens de Suède, entreprend une

NIVEAUX	CARRIERES VISITEES	MICROFACIES	LITHOFACIES	POURCENTAGES par type d'ornementation				TOTAUX	
				1a	1b	2a	2b	1a+2a	1b+2b
Lits supérieurs	d	La Parisienne	8	23,5	29	10,2	37,3	33,7	66,3
	c	Du Bois							
	b	Mansel							
	a	La Parisienne							
Dernier lit de la zone des Brachs	3	Du Bois	6,5 - 6,8	71,4	1,4	2,7	0,2	98,4	1,6
		La Parisienne							
Lit à Brachiopodes	2	La Parisienne	6,2 - 6,5	61,3	0,7	3,4	4	95,3	4,7
		Du Bois							
Lit basal	1	La Parisienne Du Bois	6,7	Faune de petite taille Matériel de P Wallace Type 2a					

Tableau IV. — Pourcentages par type d'ornementation des individus récoltés dans chaque niveau.

révision de quatre espèces du genre *Protochonetes* par le biais d'une étude statistique des caractères externes qui le conduit à ne retenir qu'une seule espèce. Il constate toutefois que certaines assises présentent une plus grande dispersion statistique du fait de l'existence de faunes exceptionnellement grandes et, fait important, il montre que les dimensions sont d'autant plus grandes dans une même assise qu'on s'éloigne d'une zone récifale près de laquelle les Chonétidés sont de toute petite taille. Il en conclut que les exigences écologiques peuvent être responsables de variations morphologiques considérables.

Tous mes spécimens correspondant à *P. dutertrei* proviennent des niveaux supérieurs du calcaire de Ferques, ainsi que ceux prêtés par Wallace, à l'exception d'un seul qu'elle avait récolté dans le Frasnien moyen, au niveau du calcaire à Pentamères inférieur, mais dont la détermination paraît sujette à caution.

Un premier examen montre que si tous ces spécimens ont une ornementation conforme à la figuration de Rigaux, tous n'atteignent pas néanmoins une taille exceptionnelle. On observe donc dans le Frasnien du Boulonnais des phé-

nomènes qui présentent une certaine analogie avec ceux décrits par Böger. Le calcaire de Ferques est une formation dont la base a un caractère récifal qui disparaît progressivement, quand on monte dans la série, au profit d'une lithologie plus marneuse. La faune du lit basal est très riche et de petite taille, celle des lits supérieurs moins abondante et souvent plus grande. Le "gigantisme" de certaines *Productella subaculeata* pourrait être le résultat d'exigences écologiques. Remarquons que la formation qu'on qualifie de "zone des monstres" surmonte le calcaire de Blacourt, lui aussi récifal (tabl. I).

#### c) Etude des variations de l'ornementation.

Jusqu' alors, nous avons fondé la vérification de l'homospécificité de la population sur des critères de forme ou de taille des individus, l'ornementation pourrait-elle justifier les différenciations spécifiques de Murchison ou Rigaux ?

#### α) Tests du $\chi^2$ .

Ils ont été tentés sur les individus se rapportant à chaque type d'ornementation décrit

plus haut. Les différences observées n'ont jamais été significatives.

β) Analyse des corrélations entre 2 variables.

Quatre figurés différents correspondant aux quatre types d'ornementation ont été utilisés dans les représentations graphiques.

On constate sur le premier graphe une inclinaison progressive de l'axe du nuage par rapport à l'axe des abscisses, ce qui signifie que les coquilles ont tendance à devenir plus hautes que larges quand on passe du type 1 a au type 2 b (fig. 6).

Le second graphe rend compte d'un aplatissement constant quel que soit le type d'ornementation (fig. 7).

Dans les représentations de l'analyse factorielle, il semble que les Productelles à épines éparses se répartissent indifféremment entre les deux pôles et qu'il n'y ait pas de relation absolue entre ornementation et forme générale de la coquille.

γ) Rapports ornementation - lithologie.

Un inventaire des individus par type d'ornementation, effectué pour les différents niveaux fossilifères retenus dans la première partie, a été dressé dans le tableau IV. Les microfaciès correspondants définis par Magne (18) y sont indiqués. Les pourcentages ont été évalués à partir des faunes recueillies dans toutes les carrières visitées. Cet inventaire montre que les pourcentages relatifs des différentes formes évoluent de la base au sommet du calcaire de Ferques. En additionnant pour chaque faciès les pourcentages des formes 1 a et 2 a, 1 b et 2 b, on constate, dans les niveaux plus marneux, une prédominance des Productelles à épines rares mais fortes. Le phénomène se vérifie d'autant plus qu'on monte dans la série, c'est-à-dire au fur et à mesure que la tendance argileuse s'accroît. La variabilité de l'ornementation pourrait donc être le résultat d'une adaptation aux conditions de dépôt. Les niveaux marneux résultent d'une sédimentation dans des eaux calmes. La relative pauvreté en calcium voudrait que les coquilles soient petites, peu épaisses et à épines minces. Or, la tendance générale des faunes est au contraire une augmentation de taille et un épaississement des

coquilles. Quant aux Productelles, elles ont développé des épines plus fortes dans ces niveaux et, le milieu de sédimentation étant calme, on comprend qu'elles n'aient eu besoin que de peu d'épines pour maintenir leur équilibre dans le sédiment. Les niveaux 1, 2 et 3 sont des calcilutites très riches en éléments bioclastiques ; les eaux étaient sans doute plus agitées et pour assurer une meilleure stabilité, le nombre des épines devait être plus grand.

Si cette hypothèse était exacte, elle devrait pouvoir se vérifier dans les formations qui encadrent le calcaire de Ferques. Elles sont malheureusement beaucoup moins fossilifères et n'ont fourni que peu d'exemplaires. L'extension des récoltes à d'autres régions permettra de vérifier ou d'infirmer l'hypothèse d'une adaptation morphologique aux conditions de sédimentation.

### C) CONCLUSION.

De cette étude statistique ressort l'homogénéité spécifique, dans le Boulonnais, du groupe des *Productellinae*. Les espèces *P. larminati* et probablement *P. dutertrei* sont des synonymes postérieurs de *Productella subaculeata* (Murchison).

### PRODUCTELLA SUBACULEATA (Murchison, 1840)

— Néotype à valeur de topotype : échantillon FBFP 3160 figuré Pl. XV, fig. 1 à 8.

— Ne sont cités dans la liste synonymique que les auteurs ayant travaillé dans le Boulonnais.

- \* 1840 *Productus subaculeatus*, nobis ; Murchison, p. 255, Pl. II, fig. 9 a b c.
- 1847 *Productus subaculeatus* Murchison ; De Koninck, p. 142, Pl. XVI, fig. 4.
- 1853 *Productus subaculeatus* Murchison ; Austen, p. 231-245.
- 1908 *Productella subaculeata* (Murchison) ; Rigaux, p. 32.
- 1908 *Productella larminati*, n. sp. ; Rigaux, p. 32, Pl. II, fig. 19.
- 1908 *Productella dutertrei*, n. sp. ; Rigaux, p. 32, Pl. II, fig. 20.
- 1959 *Productella subaculeata* (Murchison) ; Veevers, p. 1.
- 1960 *Productella subaculeata* (Murchison) ; Muir-Wood et Cooper, p. 146, Pl. 32, fig. 5-17.

**Diagnose :** « Coquille de taille moyenne à très grande, semi-elliptique, suborbiculaire ou oblongue — valve pédonculaire légèrement convexe ou au contraire fortement gibbeuse — valve brachiale concave — ligne cardinale toujours inférieure à la plus grande largeur — interareas linéaires — pseudodeltidium absent.

**Ornementation :** stries de croissance fines, accentuées de part et d'autre de l'umbo, plus nettes sur les coquilles de grande taille — épines sur la valve pédonculaire seulement, érigées perpendiculairement ou obliquement par rapport à la surface — densité très variable — disposition quelconque ou alignement radial simulant une costulation — existence possible d'une rangée d'épines cardinales.

**Caractères internes :** deux petites cavités umbonales — processus cardinal bilobé, chaque lobe échancré postérieurement — dents et fossettes cardinales — septum médian brachial séparé du crochet par un alvéole, sur le tiers de la longueur de la valve brachiale — deux paires d'empreintes musculaires : antérieures diffuses et flabellées, postérieures trigonales pour l'insertion des adducteurs — crêtes brachiales obscures ».

#### D) REPARTITION STRATIGRAPHIQUE DANS LE BOULONNAIS.

Le Maître et Devos (17) citent *Productella subaculeata* au toit du banc à *Murchisonia* dans le calcaire de Blacourt ; Rigaux (28) la signale dans les schistes d'Hydrequent. Sa répartition dans le Boulonnais est donc essentiellement frasnienne.

Dans les Ardennes, elle apparaîtrait beaucoup plus tôt, dès le Couvinien (3), et Dehée (8) la reconnaît dans l'assise d'Etrœungt.

#### Sous-famille des CHONOPECTINAE

Muir-Wood et Cooper, 1960

Les représentants de cette sous-famille sont rares dans le Dévonien de Ferques et comme j'ai limité mon étude au matériel boulonnais, il convient d'être prudent dans leur détermination.

Si quelques coquilles se rapportent sans nul doute à l'espèce : *Whidbornella productoides*

(Murchison, 1840) caractérisée par une interarea pédonculaire bien développée, les autres pourraient appartenir au genre *Steinhagella* Goldring, 1957 et à l'espèce-type : *Steinhagella (Leptaena) membranacea* (Phillips, 1841), mais leur identification est beaucoup moins sûre.

#### Genre WHIDBORNELLA Reed, 1943

Espèce-type : *Whidbornella (Leptaena) caperata* (Sowerby, 1840).

Muir-Wood et Cooper (20) en ont précisé la diagnose. Retenons qu'il s'agit de coquilles semi-elliptiques, peu convexes, dont la ligne cardinale correspond à la plus grande largeur, ornées de rugosités concentriques et d'épines. Le processus cardinal bilobé est séparé du septum médian brachial par un alvéole.

#### WHIDBORNELLA PRODUCTOIDES (Murchison, 1840)

(Pl. XVI, fig. 14-17 ; Pl. XVII, fig. 18-23)

- 1840 *Orthis productoides*, nobis ; Murchison, p. 254, Pl. II, fig. 7.
- 1908 *Strophalosia productoides* (Murch.) ; Rigaux, p. 32.

Dans sa description, Murchison insiste sur la rareté de l'espèce. Je n'en ai trouvé qu'un seul exemplaire, mais le musée de Boulogne m'en a confié trois de la Collection Bouchard. Deux d'entre eux ont l'interarea ventrale nette, divisée par un pseudodeltidium et une ornementation conforme à la figuration de Murchison. Le troisième me paraît difficilement pouvoir appartenir à l'espèce. Sa petite taille, son ornementation, son interarea ventrale linéaire et sa ligne cardinale inférieure à la plus grande largeur le rapprochent en effet davantage des formes que je rapporte à "*Leptaena*" *membranacea*.

Le matériel de Murchison a disparu, les deux exemplaires du musée de Boulogne (Collection Bouchard), conformes à la description originale et provenant du calcaire de Ferques, peuvent être désignés comme néotypes à valeur de topotypes. Ces échantillons ne portent aucune numérotation. Je désignerai donc comme néotype le spécimen figuré Pl. XVI, fig. 14 et 16 et comme topotype celui qui est représenté Pl. XVI, fig. 15 et 17.

### 1) Caractères externes.

La description de Murchison est suffisamment complète. Je n'y apporterai que quelques précisions concernant la valve pédonculaire :

— l'interarea est striée parallèlement au bord cardinal, la ligne cardinale légèrement inférieure à la plus grande largeur de la coquille. L'ornementation (Pl. XVI) est constituée de rides concentriques, onduleuses, jamais lamelleuses, interrompues par des bases d'épines fines, *recumbent* (\*), grossièrement disposées en quinconce. Rides et bases d'épines ont tendance à s'estomper dans la région umbonale mais existent sur toute la surface. La densité des épines varie d'un individu à l'autre mais l'arrangement donne une impression de régularité bien qu'aucun alignement ne soit discernable.

### 2) Caractères internes (Tabl. V ; Pl. XVII, fig. 18-23).

Leur étude n'a jusqu'alors jamais été faite. N'ayant porté que sur un seul échantillon de mauvaise qualité, les usures sérieuses demanderaient à être reprises sur d'autres exemplaires. Cette première approche permet cependant de mettre en évidence :

#### a) Valve brachiale :

— un processus cardinal bilobé, chaque lobe étant entaillé postérieurement par une profonde gouttière. Une lame de calcite épaisse, beaucoup plus blanche que le reste de la coquille, réunit les deux lobes ;

— des fossettes allongées où viennent se loger les dents de l'autre valve ;

— un crochet brachial creusé d'un alvéole ;

— un septum médian étroit, haut du quart de la cavité viscérale et s'étendant sur 3 mm environ.

#### b) Valve pédonculaire :

— des dents allongées, sans doute émises par le bord cardinal, et servant à l'articulation des valves ;

— un renflement interne de la coquille, face au septum médian brachial, pourrait correspondre, lui aussi, à une ébauche de septum ; mais ceci reste à vérifier sur d'autres spécimens.

(\*) *recumbent* : terme défini par Muir-Wood et Cooper (20) : épines grossièrement parallèles à la surface de la coquille mais généralement légèrement courbes.

### c) Ornementation :

— seule la valve pédonculaire présente des épines creuses relativement importantes pour la taille de la coquille alors que les *rugae* (\*), visibles surtout au niveau des oreillettes, sont communes aux deux valves.

### 3) Répartition stratigraphique dans le Boulonnais.

Murchison (21) ne cite l'espèce que dans le calcaire de Ferques. Rigaux (29) la signale aussi dans la zone à *Orthothetes elegans* des schistes de Beaulieu. Sa répartition couvrirait donc, dans le Boulonnais, une grande partie du Frasnien.

### Genre STEINHAGELLA Goldring, 1957

A l'origine, en 1957, ce genre avait été proposé comme sous-genre de *Productella* (11).

L'espèce-type, d'après Muir-Wood et Cooper (20), en serait *Steinhagella (Leptaena) membranacea* (Phillips, 1841). Le matériel de Phillips a disparu comme celui de Murchison, je n'en ai trouvé aucune trace aux musées de Londres et Cambridge, et la description de Phillips est tellement succincte qu'on ne peut l'utiliser pour une identification valable.

Reed, en 1943, décrit deux variétés de *Leptaena membranacea*, *piltonensis* et *multipustulata*, du Dévonien des environs de Pilton (Angleterre), qu'il rapporte à *Whidbornella* alors considéré comme sous-genre de *Productella* (25).

Dans la collection de De Koninck, conservée au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, j'ai rencontré, sous le nom de *Productus murchisonianus*, des spécimens identiques à ceux que j'ai récoltés, mais ne provenant pas du Boulonnais.

Dans sa description, De Koninck (15) semble avoir réuni les caractères de *Whidbornella productoides* et de *Leptaena membranacea*, ce qui m'a conduit à penser que les échantillons pouvaient peut-être se rapporter à l'espèce de Phillips, mais avec réserves.

(\*) *rugae* : terme défini par Muir-Wood et Cooper (20) : rides concentriques.

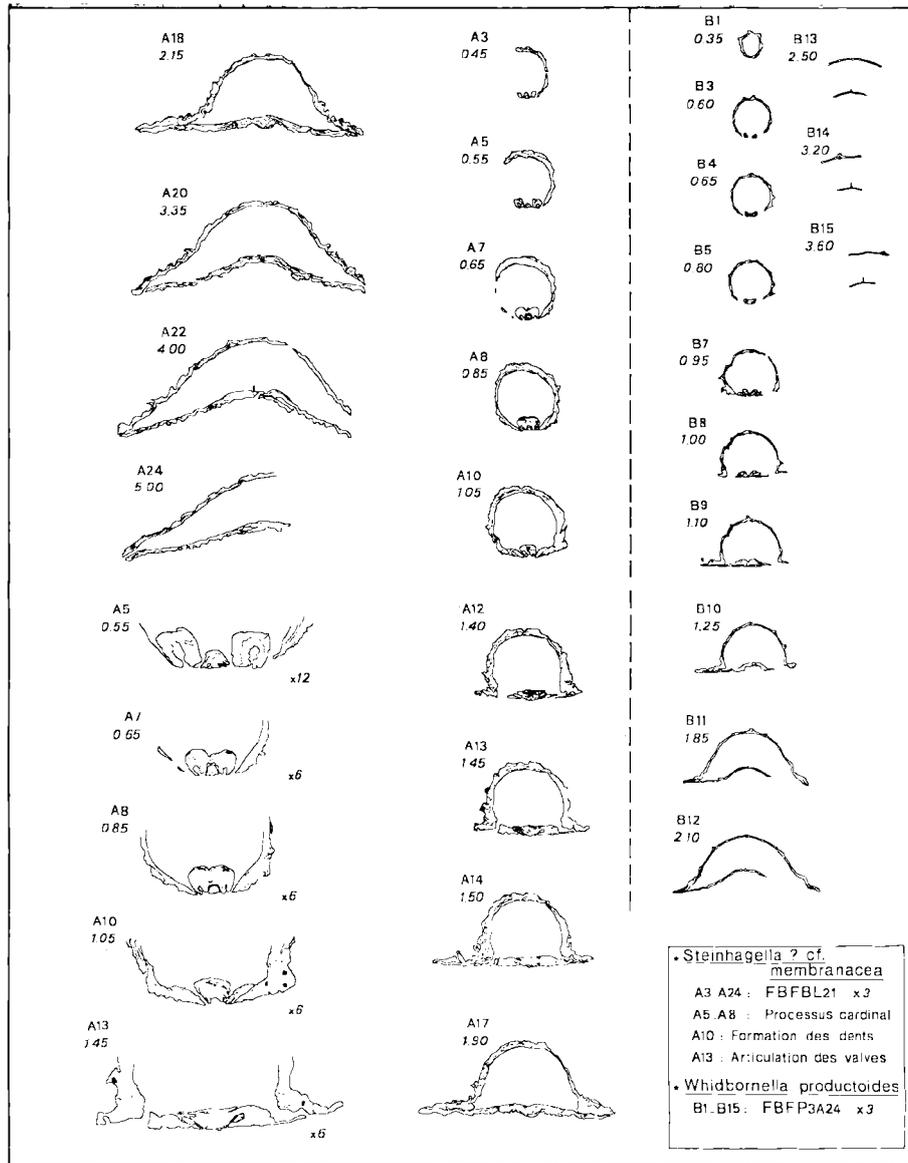


Tableau V. — Etude comparée des caractères internes des deux espèces de *Chonopectinae* connues dans le Boulonnais.

*STEINHAGELLA* (?) cf. *MEMBRANACEA*  
(Phillips, 1841)

(Pl. XVI, fig. 6-13 ; Pl. XVII, fig. 9-17)

- 1841 *Leptaena membranacea* ; Phillips, p. 60, Pl. 25, fig. 101.
- 1908 *Strophalosia membranacea* (Phillips) ; Rigaux, tabl. 1.

Origine du matériel. - Tous mes spécimens proviennent du calcaire de Ferques. Je n'ai pas d'autre précision

concernant l'échantillon de la collection Bouchard du musée de Boulogne, déterminé par erreur *Strophalosia productoides* ; celui prêté par Wallace provient du calcaire à Pentamères inférieur (schistes de Beaulieu).

Mes échantillons ont été récoltés dans les niveaux supérieurs. Trois proviennent du calcaire sableux de l'ancienne carrière Mansel, le quatrième de l'assise tout à fait terminale de la formation, dans la carrière La Parisienne. J'ai également trouvé dans les schistes d'Hydrequent une empreinte qui pourrait se rapporter à cette espèce.

### 1) Caractères externes.

Leur étude porte sur six spécimens, dont quatre bien conservés.

#### a) Coquille :

De taille moyenne, relativement plane, sub-orbiculaire.

#### b) Valve pédonculaire :

Peu convexe, ligne cardinale légèrement inférieure à la plus grande largeur de la coquille. Certains échantillons présentent une légère dépression médiane. Umbo peu bombé, surplombant faiblement la charnière. Oreillettes aplaties, peu distinctes du disque viscéral. Interarea très surbaissée, presque linéaire.

Ornementation - rides concentriques très irrégulières (*rugae*), plus ou moins accentuées, onduleuses, souvent lamelleuses. De nombreuses épines, couchées sur la coquille, disposées en quinconce, dévient à leur base les stries concentriques. Les tubes spinifères, pouvant atteindre un demi-centimètre de longueur, sont généralement plus larges à la base qu'aux extrémités. Le fait qu'ils soient plaqués contre la surface donne une impression d'alignement radiaire qui, lorsque les fossiles sont usés, détermine avec les stries concentriques un quadrillage tout à fait caractéristique. Parfois les rides s'estompent, les épines sont alors mieux développées.

#### c) Valve brachiale.

Légèrement concave, cavité animale réduite, interarea linéaire.

Ornementation à peu près identique à celle de l'autre valve. Stries concentriques souvent plus marquées. Certains spécimens présentent des spinules plus courtes et plus ténues, également disposées en quinconce. Quand elles sont absentes, elles sont remplacées par de petites dépressions qui accentuent les ondulations concentriques.

### 2) Caractères internes (Tabl. V ; Pl. XVII, fig. 9 à 17).

Un seul moule de valve brachiale a été récolté, encore est-il très mal conservé ! On y reconnaît toutefois les stries concentriques on-

duleuses, les renflements étroits des dépressions externes. On y devine une trace de septum, très fine.

Les usures sériées de trois spécimens donnent de meilleurs résultats.

#### a) Valve brachiale.

On y voit :

— un processus cardinal bilobé, identique à celui de *Productella*. Les lobes sont séparés par un sillon qui, sur un spécimen, est occupé en partie par une pièce calcaire annexe toujours indépendante de l'appareil cardinal. Il s'agit sans doute d'un renflement pédonculaire renforçant l'articulation des valves. Les stries concentriques des lobes et de cette pièce supplémentaire ont la même origine que chez *Productella*. La réunion des deux lobes constitue un processus solide qui s'épaissit par adjonction de lamelles de calcite. La pièce calcaire annexe s'emboîte parfaitement dans ce dispositif ;

— des fossettes cardinales ;

— un plateau cardinal qui reste large et s'incurve très légèrement dans sa partie médiane ;

— un petit septum, non séparé du processus cardinal par un alvéole. D'abord trapu, il s'amincit vers le bord antérieur mais n'atteint jamais l'importance du septum de *Productella*. Il ne dépasse pas le sixième de la hauteur de la cavité viscérale et s'étend sur 1 ou 2 mm.

#### b) Valve pédonculaire.

Les bords cardinaux émettent des dents dépourvues d'embase.

Ornementation.

Les nombreuses ondulations des deux valves sont surtout visibles sur les oreillettes et on peut remarquer que les fines lignes de croissance suivent fidèlement les rides du bord externe, ce qui laisse supposer que les formes jeunes ont le même type d'ornementation.

*Remarque.* — Certains moules internes de valves brachiales se caractérisent par l'absence de septum (Pl. XVI, fig. 18 à 23). Ils sont munis d'un processus cardinal bilobé et d'une ornementation concentrique accompagnée de renflements épars ou grossièrement alignés radia-

lement. L'alvéole existe chez certains sujets. Ces moules appartiennent probablement à une espèce qu'il faudrait définir à l'aide des valves pédonculaires ; malheureusement, aucun exemplaire n'en a été trouvé jusqu'alors.

### CONCLUSIONS

L'étude statistique des espèces *P. subaculeata* et *P. larminati* a permis de montrer que l'ensemble des individus répartis entre ces deux "espèces" formaient en réalité une population homospécifique. Des exigences écologiques sévères pourraient expliquer le gigantisme de certains représentants désignés sous le nom de *P. dutertrei* et qu'on pourrait considérer comme des variants de *P. subaculeata*. Cette espèce montre, en conséquence, une grande variabilité morphologique, à la fois de la taille, de la forme générale et de l'ornementation. Une explication de cette variabilité a été recherchée au niveau d'une adaptation aux conditions de sédimentation ou d'une évolution intraspécifique. Il sera évidemment nécessaire d'étendre des études de ce type à d'autres formations et à d'autres régions pour vérifier ces diverses hypothèses. Cette extension permettra également de récolter un plus grand nombre d'échantillons appartenant à la sous-famille des *Chonopectinae*, ce qui donnera la possibilité, d'une part d'approfondir l'étude des caractères internes de *Whidbornella productoides*, d'autre part de confirmer ou d'infirmer l'appartenance générique réelle de "*Leptaena membranacea*". Il sera possible enfin de poser correctement le problème de la valeur générique de *Whidbor-*

*nella* et de *Steinhagella* et de leur distinction d'avec *Productella*.

Beaucoup de travail reste donc à entreprendre sur la famille des *Productellidae* et cette révision, limitée au Boulonnais, n'avait pas d'autre ambition que de constituer une étude préliminaire destinée à mettre en évidence l'homospécificité des *Productellinae* et à préciser les caractères internes des *Chonopectinae*.

### Inventaire du matériel récolté

N'ont été répertoriés que les échantillons récoltés dans le calcaire de Ferques, suffisamment bien conservés et sur lesquels l'ornementation était encore nette. Mais, en fait, je disposais d'un nombre triple de morceaux de coquilles plus ou moins bien préservés.

NIVEAUX	<i>Productell.</i>	<i>Chonopect.</i>
1) "Lits à Brachiopodes" :		1 <i>Whid. pr.</i>
C. La Parisienne . . . . .	235	
C. du Bois . . . . .	35	
C. des Communes . . . . .	9	
2) Derniers lits de la zone des Brachiopodes :		
C. La Parisienne . . . . .	125	
C. du Bois . . . . .	30	
C. des Communes . . . . .	18	
3) Lits supérieurs :		
C. La Parisienne :		
- Gisement 1 . . . . .	28	
- Gisements 4, 5, 6, 7, 8 . . . . .	55	1 <i>Steinh. m.</i>
C. du Bois . . . . .	6	
C. Mansel . . . . .	14	3 <i>Steinh. m.</i>

### BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- 1) AGER D.V. et WALLACE P. (1966). — Easter Field Meeting in the Boulonnais, France. *Proc. Geol. Ass.*, vol. LXXI, pt 4, p. 419-435.
- 2) AGER D.V. et WALLACE P. (1967). — Environmental History of the Boulonnais, France. *Ibid*, vol. LXXVII, p. 385-417.
- 3) ASSELBERGHS E. (1923). — La faune de la Grauwacke de Rouillon (base du Dévonien moyen). *Mus. royal Hist. natur. Belgique*, Bruxelles, n° 33, 76 p., Pl. I-IV.
- 4) AUSTEN G. (1853). — On the series of the Upper Paleozoic groups in the Boulonnais. *Q. Jl. geol. Soc. London*, t. IX, p. 231-245.
- 5) BOGER H. (1968). — Paläoökologie silurischer *Chone-toides* auf Gotland. *Lethaia*, vol. 1, n° 2, p. 122-136.
- 6) BONTE A. (1969). — Le Boulonnais. *Ann. Soc. géol. Nord*, t. LXXXIX, p. 23-66.
- 7) BOUCHARD-CHANTEREAUX N.R. (1842). — Note sur le genre *Productus*. *Ann. Sci. nat. de Boulogne-sur-Mer*.
- 8) DEHEE R. (1929). — Description de la faune d'Etrœungt. *Mém. Soc. géol. France*, t. V, M. n° 11, 62 p., Pl. I-VIII (VII-XV).

- 9) DEVOS I. (1962). — Contribution à l'étude du Givetien et du Frasnieu du Boulonnais. *D.E.S.*, Lille, 1 br. ronéo, 21 x 27, 86 p., 15 pl.
- 10) DEVOS I. (1962a). — Etude statistique de *Cyrtospirifer supradisjunctus* (W.A. Obrutschew). *Ann. Soc. géol. Nord*, t. LXXXII, p. 185-201, 1 pl.
- 11) GOLDRING R. (1957). — The last toothed *Productellinae* in Europe (*Brachiopoda*, Upper Devonian). *Paläont. Zeitschr.*, vol. XXXI, n° 3-4, p. 207-228.
- 12) GOSSELET J. (1860). — Mémoire sur les terrains primaires de la Belgique, des environs d'Avesnes et du Boulonnais. *Thèse d'Etat*, Paris, 164 p., 4 pl. h.-t.
- 13) HALL J. (1867). — Upper Helderberg, Hamilton, Portage, Chemung Group, in Palaeontology of New-York. *Geol. Surv. New-York*, vol. IV, pt I, pour (1862-1866), 428 p.
- 14) KONINCK L. de (1842-1844). — Description des Animaux fossiles du terrain carbonifère de Belgique. *Texte et Atlas*, Liège.
- 15) KONINCK L. de (1847). — Monographie des genres *Productus* et *Chonetes*. 246 p., 20 pl., H. Dessain, Liège.
- 16) LE MAITRE D. et DEVOS I. (1961). — Le Dévonien de la carrière du "Banc Noir" (Massif de Ferques : Boulonnais). Note préliminaire. *Ann. Soc. géol. Nord*, t. LXXXI, p. 63-64.
- 17) LE MAITRE D. et DEVOS I. (1961a). — Observations nouvelles sur le Dévonien du Massif de Ferques en Boulonnais. *C.R. Ac. Sc.*, 252, p. 761-763.
- 18) MAGNE F. (1964). — Données micropaléontologiques et stratigraphiques dans le Dévonien du Boulonnais (France) et du Bassin de Namur (Belgique). *Thèse de 3<sup>e</sup> Cycle*, Paris, 2 fasc. ronéo. 21 x 27. I : texte 172 p., 44 fig. ; II : 33 pl.-photo, 12 pl. h.-t.
- 19) MOORE G. (1965). — Treatise on Invertebrate Palaeontology. Part. H : *Brachiopoda*, vol. II, p. 523-927, fig. 398-746.
- 20) MUIR-WOOD H.M. et COOPER G.A. (1960). — Morphology, classification and life habits of the *Productoidea* (*Brachiopoda*). *Mem. geol. Soc. America*, New-York, n° 81, 447 p., 135 pl., 8 fig.-texte.
- 21) MURCHISON R.I. (1840) — Description de quelques-unes des coquilles fossiles les plus abondantes dans les couches dévoniennes du Bas-Boulonnais. *Bull. Soc. géol. France*, t. XI, p. 250-257, 2 pl.
- 22) PAECKELMANN W. (1931). — Die Fauna des deutschen Unterkarbons. 2. Teil. Die *Productinae* und *Productus*. ähnlichen *Chonetinae*. *Abh. des Preuss. geol. Landesanstalt*, vol. CXXXVI, 440 p., 41 pl.
- 23) PHILLIPS J. (1841). — Figures and Descriptions of the Paleozoic fossils of Cornwall, Devon, and West Somerset. Londres, Xii + 231 p., 60 pl.
- 24) PRUVOST P. et PRINGLE G. (1921). — A synopsis of the Geology of the Boulonnais. *Proc. Geol. Ass.*, p. 29-67.
- 25) REED F.R.C. (1943). — Notes on certain Upper Devonian Brachiopods figured by Whidbarne. *Geol. Mag.*, Pt 1-2, vol. LXXX, n° 2-3, p. 69-78, 95-106.
- 26) RIGAUX E. (1873). — Notes pour servir à la géologie du Boulonnais. I. Description de quelques Brachiopodes du terrain dévonien de Ferques. *Mém. Soc. acad. Boulogne-sur-Mer*, vol. V, p. 47-60.
- 27) RIGAUX E. (1878). — The fossil *Brachiopoda* of the Lower Boulonnais. *Geol. Mag.*, vol. V, p. 436-443.
- 28) RIGAUX E. (1889). — Notice géologique sur le Bas-Boulonnais. *Mém. Soc. acad. Boulogne-sur-Mer*, t. XIV, 108 p., 11 pl., 2 tabl.
- 29) RIGAUX E. (1908). — Le Dévonien de Ferques et ses Brachiopodes. *Boulogne-sur-Mer*, 33 p., 2 pl., 1 tabl.
- 30) TINTANT H. (1966). — La notion d'espèce en Paléontologie. *Mises à jour scientifiques*, n° 3, Gauthier-Villars, Paris, p. 273-294.
- 31) VEEVERS J.J. (1959). — The type species of *Productella*, *Emanuella*, *Crurithyris* and *Ambocoelia* (*Brachiopoda*). *J. Palaeontology*, vol. XXXIII, n° 5, sept., p. 902-908, 7 fig.
- 32) WALLACE P. (1969a). — Specific frequency and environmental indicators in two horizons of the Calcaire de Ferques (Upper Devonian), northern France. *Palaeontology*, vol. XII, part. 3, p. 366-381.
- 33) WALLACE P. (1969b). — The sedimentary and paleoecology of the Devonian of the Ferques inliers, northern France. *Q. Jl. geol. Soc. London*, vol. CXXV, p. 83-84.

\* \* \*

EXPLICATION DES PLANCHES

Planche XV

*Productella subaculeata* (Murchison, 1840)

Fig. 1 à 8. — Néotype à valeur de topotype ; FBFP 3160. Calcaire de Ferques, Carrière La Parisienne (derniers lits de la zone des Brachiopodes).

1 à 4. - Gr. nat.

5 à 8. - Gr. = 2.

Valves pédonculaire et brachiale, vue latérale, vue umbonale.

Fig. 9 à 16. — Topotype à forme plus gibbeuse (deuxième tendance du dimorphisme)

9 à 12. - Gr. nat.

13 à 16. - Gr. = 2.

Fig. 17 à 29. — Topotypes. Gr. = 2.

On remarque l'évolution de l'ornementation :

17 à 19. - Type 1b.

20 à 22. - Type 1a.

23 à 24. - Formes intermédiaires.

25 à 27. - Type 2a.

28 - 29. - Type 2b.

L'évolution de la forme générale se note :

17 à 20. - Forme peu convexe.

21 à 23. - Forme intermédiaire.

24 à 29. - Forme gibbeuse.

Fig. 30. — Topotype. Echantillon du musée Gosselet, Lille, donné par Rigaux et portant le nom de *Productella dutertrei*. Gr. nat.

Fig. 31 et 32. — Topotype. Valve brachiale. Ornementation.

31. - Gr. nat.

32. - Gr. = 2.

Fig. 33 à 35. — Topotypes. Moules internes de valves brachiales : processus cardinal, alvéole, septum, empreintes musculaires, crêtes brachiales.

33. - Gr. nat.

34 et 35. - Gr. = 2.

Planche XVI

L'éclairage rasant permet une meilleure représentation de l'ornementation.

Fig. 1 à 5. — *Productella subaculeata* (Murchison, 1840).

1 et 2. - Topotypes. Lit basal du Calcaire de Ferques. Matériel de Wallace. Gr. nat.

3 et 4. - Topotypes. Moule interne de valve pédonculaire correspondant au type *P. dutertrei*. Lits supérieurs du Calcaire de Ferques. Crêtes umbonales. Gr. nat.

5. - Topotype : FBFP 19, type *P. dutertrei*. Gr. nat.

Fig. 6 à 13. — *Steinhagella* ? cf. *membranacea* (Phillips, 1841).

6 à 8. - FBFB 121. Calcaire de Ferques. Carrière Mansel. Gr. nat. Valves pédonculaire et brachiale, vue umbonale.

9. - Echantillon du musée de Boulogne-sur-Mer déterminé par erreur *Strophalosia productoides* (Collection Bouchard). Gr. nat.

10 et 12. - FBFP 817. Calcaire de Ferques, Carrière La Parisienne. 10 : Gr. nat ; 12 : Gr. = 3.

11 et 13. - Calcaire à Pentamères inférieur, schistes de Beaulieu, matériel de Wallace. 11 : Gr. nat. ; 13 : Gr. = 3.

Fig. 14 à 17. — *Whidbornella productoides* (Murchison, 1840). Echantillons du musée de Boulogne-sur-Mer (Collection Bouchard). Calcaire de Ferques.

14. - Néotype. Valve pédonculaire. Gr. nat.

16. - Néotype. Détail de l'ornementation. Gr. = 3.

15. - Topotype. Valve pédonculaire. Gr. nat.

17. - Topotype. Détail de l'ornementation. Gr. = 3.

Fig. 18 à 23. — Moules internes de valves brachiales d'espèces indéterminées.

18, 20, 22. - Gr. nat.

19, 21, 23. - Gr. = 2.

Planche XVII

Etude des caractères internes par la méthode des usures sériées.

Fig. 1 à 8. — *Productella subaculeata* (Murchison, 1840). Topotype FBFP 3 B 115.

1 à 5, et 8. - Gr. = 12.

6 et 7. - Gr. = 25.

Fig. 9 à 17. — *Steinhagella* ? cf. *membranacea* (Phillips, 1841). Echantillon FBFB 121.

9 à 15. - Gr. = 25.

16 et 17. - Gr. = 12.

Fig. 18 à 23. — *Whidbornella productoides* (Murchison, 1840). Topotype FBFP 3 A 24.

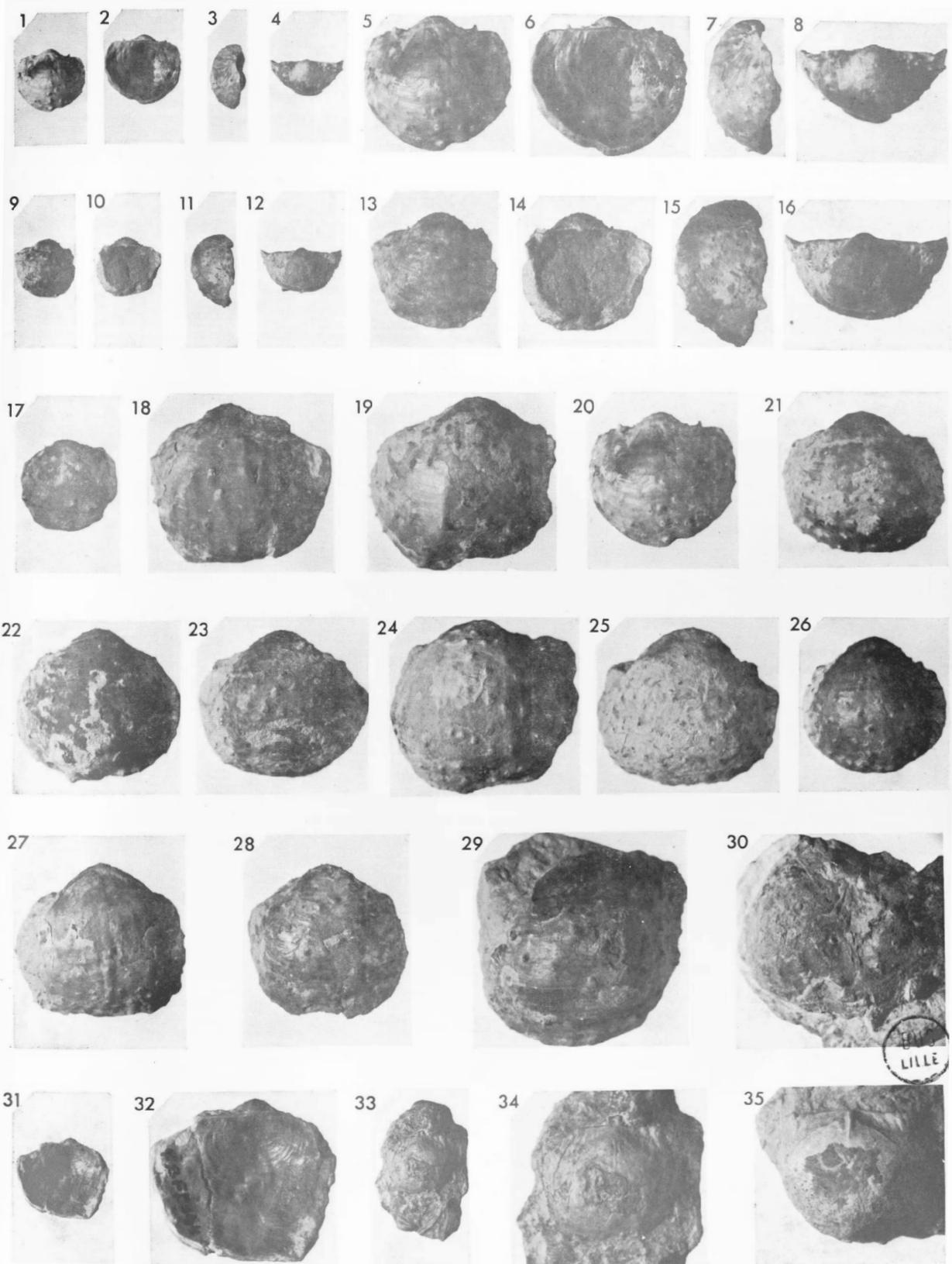
18 à 21. - Gr. = 25.

22 et 23. - Gr. = 12.

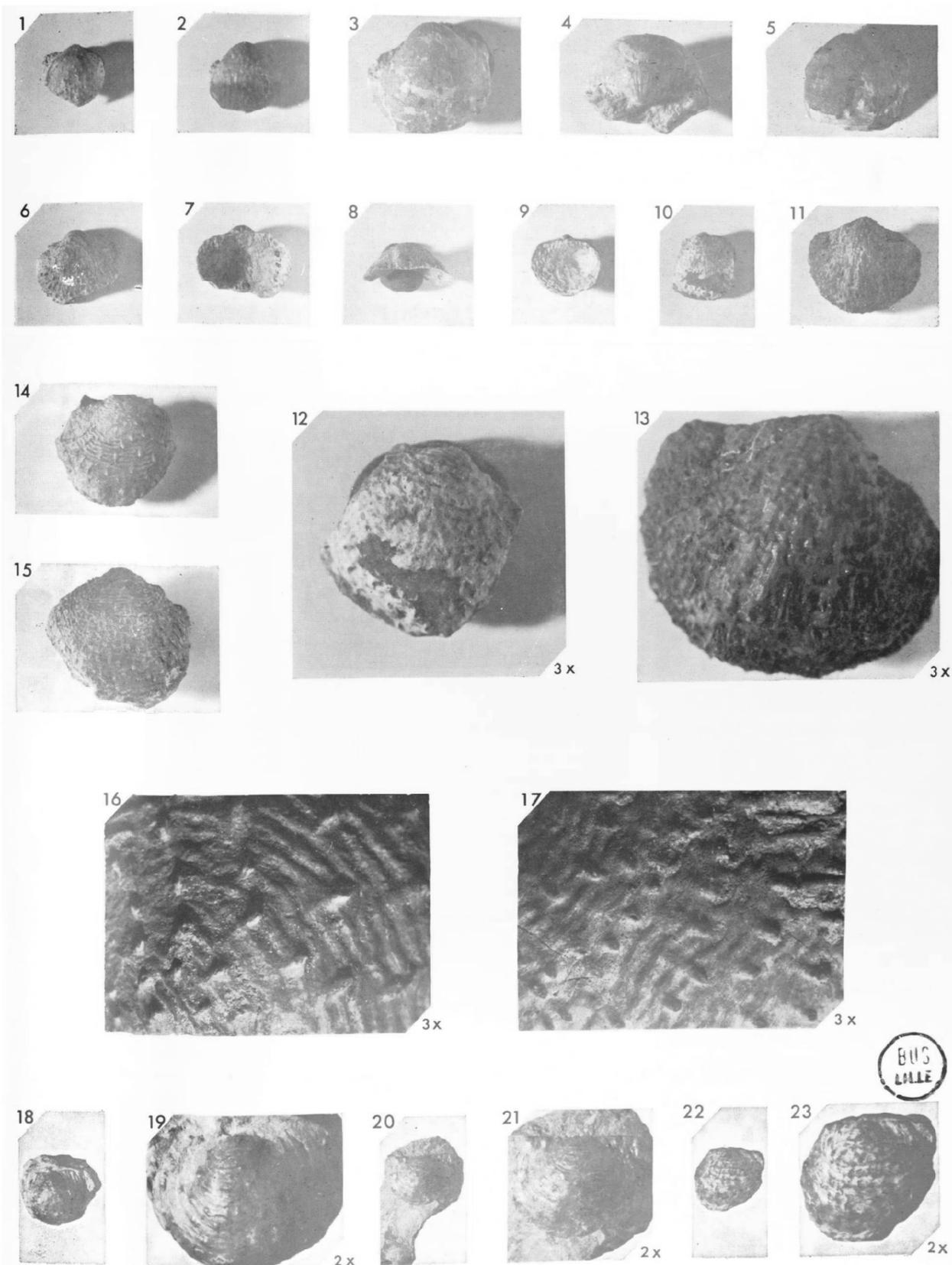
Fig. 24 à 29. — *Productella subaculeata* (Murchison, 1840). Dents pédonculaires.

24 à 26. - Topotype FBFP 71. Gr. = 12.

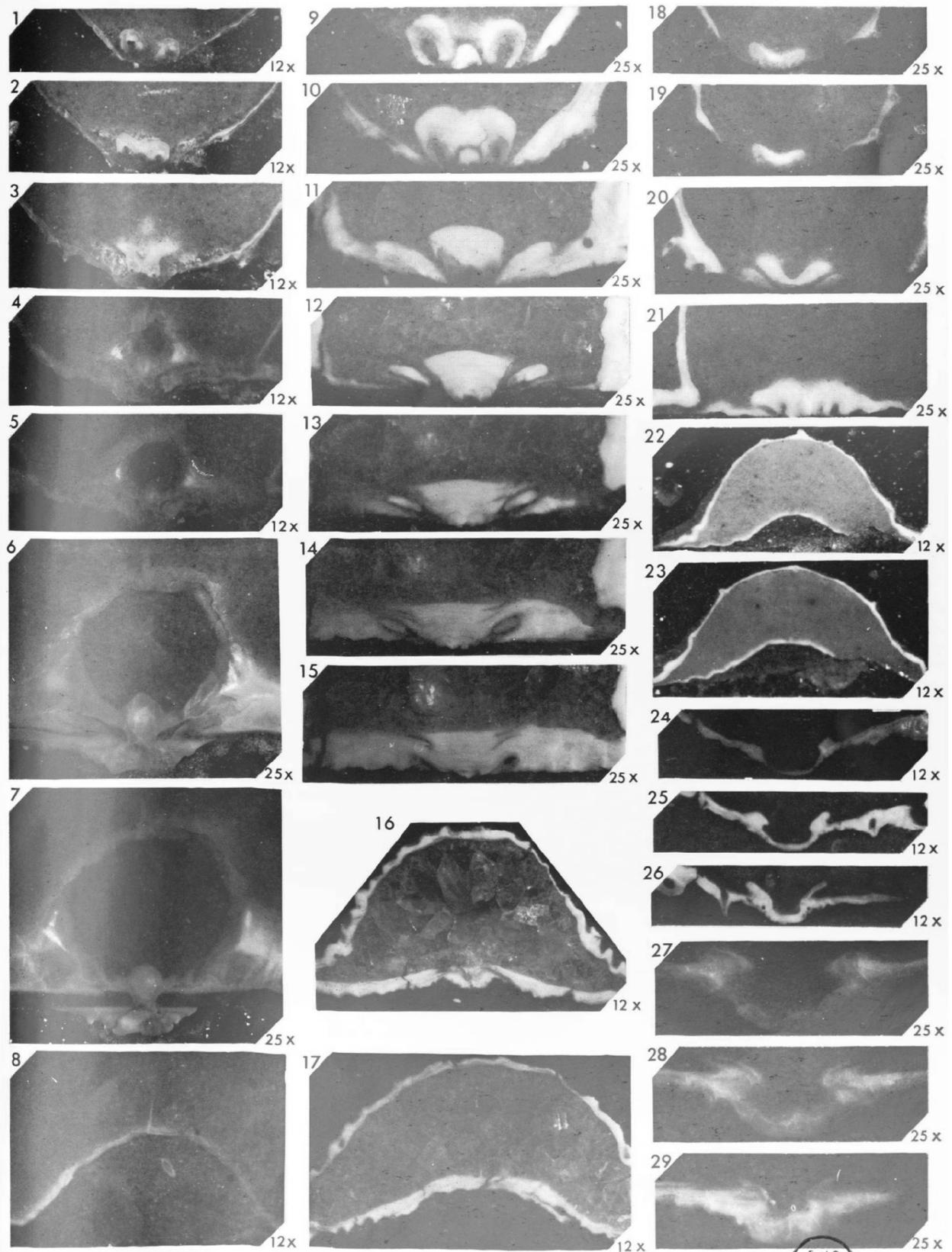
27 à 29. - Topotype FBFP 3142. Gr. = 25.













## Données nouvelles sur le Crétacé supérieur de la zone pélagonienne en Thessalie méridionale orientale (bordure occidentale du Golfe de Volos, massifs du Chalkodonio et du Pelion)

par Jacky FERRIÈRE (\*)

*Sommaire.* — Au sein de la zone pélagonienne, entre les " ensellements de l'Eubée moyenne " au Sud et " de Kozani " au Nord, des séries d'âge Crétacé supérieur sont signalées ou précisées dans des régions où ces terrains étaient inconnus (Massif du Pelion), supposés (région située entre Sourpi et le bord du Golfe de Volos), ou partiellement connus (Massif du Chalkodonio).

L'importance de l'érosion anté-Crétacé supérieur est discutée, ainsi que les différences d'intensité concernant le métamorphisme et la tectonique des séries transgressives et de leur soubassement. La comparaison de ces différentes séries permet également d'esquisser une paléogéographie au Crétacé supérieur dans ces régions, compte tenu de certaines difficultés d'interprétation (déplacements tectoniques...).

*Summary.* — Upper cretaceous aged series are pointed out and determined inside Pelagonian area, between " l'ensellement d'Eubée moyenne " in the south and " l'ensellement de Kozani " in the north, in countries where these series were unknown (Pelion massif), supposed (region between Sourpi and the bank of the gulf of Volos), or partly known (massif of Chalkodonio).

The comparison of these different series allows to outline an upper cretaceous paleogeography in these areas, taking into account certain difficulties of interpretation (tectonic shiftings...). The importance of the fore-upper cretaceous erosion is discussed as well as the differences of intensity concerning the metamorphism and tectonic of the transgressive series and their basement.

Une publication parue en 1960 (Aubouin et *al.*) fait la synthèse des données acquises à cette époque sur le Crétacé supérieur de Grèce et notamment celui des zones internes. Ces auteurs résument les connaissances concernant la zone pélagonienne de la façon suivante : « les affleurements du Crétacé supérieur de la zone pélagonienne sont morcelés ; on ne les trouve que dans les ensellements mentionnés plus haut (Kozani et Eubée moyenne) séparés les uns des autres par de grands massifs où affleurent des terrains plus anciens... Certains indices montrent que ces massifs sont anciens,

qu'ils ont d'abord échappé à la transgression crétacée mais que celle-ci a pris une grande extension et a peut-être tout envahi, à partir du Santonien ». Dans la partie occidentale de la zone du Vardar, la transgression est précoce (Aptien-Albien dans le Vermion), plus tardive dans la zone pélagonienne (Cénomaniens dans le détroit de Kozani ; couches à *Orbitolina concava* dans le massif de Chalkodonio, sur le bord Sud-Ouest du massif pélagonien), et plus tardive encore en certains endroits de la zone subpélagonienne (Othrys occidental).

Guernet (1971) décrit une transgression semblable d'âge Cénomaniens supérieur dans l'ensellement d'Eubée moyenne.

Des précisions concernant la marge orientale pélagonienne (partie Nord du massif de

(\*) Université des Sciences et Techniques de Lille, Laboratoire de Géologie Dynamique et Laboratoire associé au C.N.R.S. n° 145.

Note déposée le 3 Mai 1973.

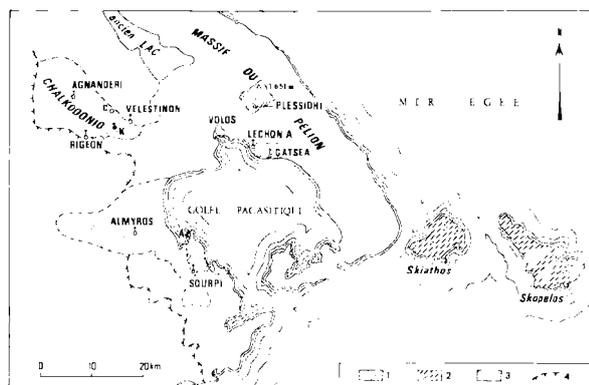


Fig. 1

1, régions étudiées. — 2, régions citées. — 3, formations récentes. — 4, limite occidentale des formations métamorphiques de la zone pélagonienne d'après la carte au 1/500 000<sup>e</sup> (1954). — C, Chloi. — K, Kokkina. — A, Amaliapolis.

Thessalie et massif de Macédoine occidentale) ont été apportées par Godfriaux et Mercier (1964) ; elles mettent en évidence une transgression tardive d'âge Sénonien supérieur sur cette marge.

Les terrains qui font l'objet de notre étude (fig. 1) sont situés dans la partie méridionale du massif de Thessalie et représentent un jalon au cœur de la zone pélagonienne entre les ensembles d'Eubée au Sud et de Kozani au Nord.

## I. — LA COUPE DE LECHONIA-GATSEA (Massif du Pelion)

### 1) DESCRIPTION.

Sur le bord occidental du massif du Pelion, le long de la voie ferrée et de la route reliant Lechonia à Gatsea, de part et d'autre de la vallée débouchant au niveau du petit camp militaire, on peut observer la série suivante, de bas en haut (fig. 2 et 3) ;

A) Une épaisse série de schistes métamorphiques (A<sub>1</sub>) verts ou jaunes à quartz, chlorite, épidote et feldspaths poecilitiques, se terminant par un ensemble de marbres (A<sub>2</sub>) gris-clair, de 30-40 m d'épaisseur environ au bord de la voie ferrée, en bancs massifs et très diaclasés. Le passage des schistes aux marbres semble progressif, des niveaux de marbres s'intercalent en effet dans la partie supérieure des schistes.

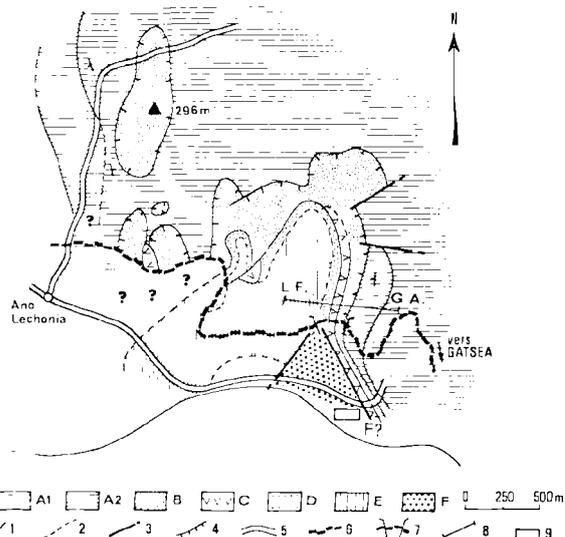


Fig. 2. — Carte géologique simplifiée de la région de Lechonia-Gatsea.

A<sub>1</sub>, Schistes métamorphiques. — A<sub>2</sub>, Marbres. — B, Niveaux ocre calcaro-siliceux. — C, Roches vertes. — D, Formation grés-conglomératique. — E, Calcaires gris maestrichtiens. — F, Flysch maestrichtien (probablement équivalent de la formation D).

1, limite de couche. — 2, limite de couche supposée. — 3, failles. — 4, contact anormal probable. — 5, route. — 6, voie ferrée. — 7, viaduc. — 8, coupe représentée fig. 3. — 9, camp militaire.

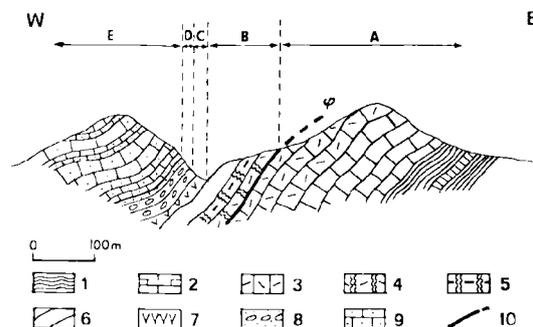


Fig. 3. — Coupe Lechonia-Gatsea.

1, Schistes métamorphiques. — 2, Marbres gris. — 3, Marbres diaclasés. — 4, Niveaux ocre calcaireux mylonitisés. — 5, Niveaux ocre en voie de silicification. — 6, Niveaux ocre siliceux. — 7, Roches vertes. — 8, Niveaux détritiques grés-conglomératiques. — 9, Calcaires gris massifs ou en plaquettes. — 10, Contact anormal probable.

- B) Une formation calcaro-siliceuse de couleur ocre, en bancs massifs, dont les niveaux de base marmoréens sont très mylonitisés, tout comme les niveaux supérieurs de l'ensemble précédent. Ces niveaux s'enrichissent en silice vers le sommet et deviennent même, localement, totalement siliceux (Jaspes?).

Un parallélisme étroit existe entre ces bancs et ceux de l'ensemble sous-jacent (A). Une patine de même couleur que celle des niveaux siliceux recouvre les derniers bancs de marbres gris-clair sur toute la longueur où le contact est visible (de la route jusqu'en amont de la voie ferrée).

- C) Des roches éruptives très écrasées. Ce sont essentiellement des serpentines ou plus rarement des spilites amygdalaires de couleur violacée. Ces roches affleurent au fond de la vallée en amont du viaduc qui supporte la voie ferrée, mais il en existe peu au bord de la route.
- D) Des niveaux détritiques grossiers de couleur jaune clair intercalés de niveaux plus pélitiques. Ces bancs sont très riches en quartz mais aussi en micas blancs détritiques. De véritables niveaux conglomératiques existent à la base de cet ensemble : les éléments sont surtout des schistes métamorphiques et des calcaires gris-jaune à fossiles recristallisés (*Globotruncana* du Turonien : très probablement *Gt. helvetica* Bolli) (\*). L'âge en est donc Turonien ou plus probablement Sénonien-Maestrichtien.

A l'Ouest de la région étudiée, des niveaux siliceux rouges rappelant des radiolarites pélitiques existent au sein d'un complexe grésopélitique flyschoides peu épais situé sous des couches appartenant à la formation (B). L'existence de niveaux écrasés et plissés entre ces deux formations conduit à penser que les couches calcaro-siliceuses (B) recouvrent tectoniquement le complexe flyschoides. L'analyse de ces faciès grésopélitiques permet de les rattacher à l'ensemble (D).

- E) Des calcaires fins, gris-clair, en plaquettes, peu fossilifères, alternent avec des calcaires bioclastiques parfois à silex, en bancs de 20 cm à 1 m d'épaisseur. Ces derniers calcaires, à phyllites et quartz détritiques parfois, sont souvent partiellement recristallisés et généralement riches en fossiles (épaisseur : entre 50 et 100 m).

Les lames minces contiennent de nombreux Foraminifères, dont :

- des Pithonelles, des Calcisphères,
- *Orbitoides media* (d'Arch.)
- *Lepidorbitoides* sp.
- *Siderolites calcitrapoides* LMK.
- et des *Globotruncana*.

Cette microfaune donne un âge *Maestrichtien élevé*.

- F) En aval du viaduc déjà cité, entre la route et la voie ferrée, sur le bord occidental de la vallée (face au petit camp militaire) existe un "flysch", assez plissé, semble-t-il, qui présente à la base de certains bancs de grès des figures de charge et de courant (fig. 2).

(\*) Les déterminations des microfaunes du Crétacé sont dues à J.J. Fleury, que je tiens à remercier ici.

Les bancs du flysch sont parfois très grossiers : certains éléments de schistes métamorphiques (à quartz, chlorite, mica blanc) atteignent plusieurs centimètres de long. Quelques niveaux grésocalcareux, de couleur sombre, très riches en phyllites détritiques, ont livré la microfaune suivante : Pithonelles, Calcisphères, des morceaux de *Siderolites* sp. et de nombreux *Globotruncana* dont *Gt. arca* (Cushman), *Gt. cf. stuarti* (de Lapparent) petites formes, *Gt. contusa* (Cushman et peut-être *Gt. conica*).

L'âge en est Campanien supérieur (?) - Maestrichtien ou Maestrichtien élevé si *Gt. conica* est effectivement représenté.

Les âges attribués aux microfaunes ne permettent pas de situer précisément ce flysch par rapport à l'ensemble calcaire précédent (E). La proximité de ce flysch (F) et de la formation détritique de la base du Crétacé (D), notamment juste à l'Ouest du viaduc, conduit à penser qu'il s'agit d'un seul et même niveau.

En revanche, il semble exister des différences de couleur, d'épaisseur — plus importante pour le flysch que pour l'ensemble (D) — et de faune, qui est abondante dans le flysch et moins bien représentée dans l'ensemble détritique (D). Ces différences permettent d'envisager une position terminale pour le flysch, au-dessus des calcaires gris maestrichtiens ; on serait alors en présence du flysch pélagonien classique qui termine la série sédimentaire connue de cette zone. Les différents contacts de ce flysch avec notamment les niveaux siliceux (B) et les Roches Vertes (C), en bord de route, s'expliqueraient dans ce cas par la tectonique de failles verticales qui a affecté cette région.

Toutefois, les différences d'épaisseur et de faciès existant entre les ensembles (D) et (F) peuvent s'expliquer par la disparition locale de certaines parties d'une même formation détritique, notamment en amont du viaduc — les différences entre les ensembles (D) et (F) sont dès lors sans signification — sous l'effet de la tectonique tangentielle. Dans cette hypothèse, les contacts flysch-Roches Vertes du bord de route sont naturellement des contacts stratigraphiques.

## 2) DISCUSSION.

Deux interprétations sont possibles : ou bien les terrains crétacés forment une couverture transgressive sur le soubassement métamorphique, ou bien ils constituent une klippe tectonique reposant sur ce dernier.

— La présence de niveaux intensément écrasés — sommet des marbres (A), formation siliceuse ocre (B), Roches Vertes (C) — permet d'envisager l'existence de contacts tectoniques majeurs. S'il est difficile de dissocier les terrains datés (D, E, F) des Roches Vertes, et celles-ci des niveaux siliceux sous-jacents (B), ces terrains formant une suite bien connue dans les zones internes, il est en revanche possible d'imaginer de tels contacts entre les marbres (A) et les couches siliceuses (B) (fig. 3) ou au sein des marbres (A).

— Le parallélisme constant observé entre les bancs de marbres (A) et les niveaux ocres (B), ainsi que la ressemblance en lames minces des roches situées de part et d'autre du contact de ces deux formations, pourraient laisser penser qu'il s'agit d'une série continue. Mais la mylonitisation du sommet de (A) et surtout de la base de (B), ainsi que la position des niveaux siliceux (B) qui reposent à l'Est sur des marbres et ailleurs sur des schistes (fig. 2) me conduisent à penser qu'il s'agit d'un contact tectonique (\*).

Le sens connu des mouvements tectoniques post-Crétacé supérieur, conduit à rechercher, pour cette klippe, une origine interne (\*\*). En outre, l'âge récent des terrains crétacés datés, et très probablement de la transgression, ainsi que le peu d'importance des roches vertes conduisent à rapprocher cette série d'une série de type pélagonien plutôt que d'une série de type Vardar.

L'hypothèse la plus vraisemblable est donc celle d'une klippe ayant pour origine une partie interne de la zone pélagonienne.

## II. — COUPE DES SOMMETS DU MASSIF DU PELION

### 1) DESCRIPTION (fig. 4).

Dans le vaste camp militaire situé sur les sommets du Pelion (à l'Est de Volos), Tataris (1960) décrit la série suivante, de bas en haut :

- des schistes cristallins,
- un ensemble de marbres et de dolomies, peu épais et discontinu,

(\*) Cette position aurait pu également s'expliquer, soit par la transgression des niveaux (B) sur le soubassement, mais ceci est peu probable, la seule transgression connue dans ces zones se faisant au sommet des Roches Vertes, soit par la disparition des marbres, latéralement, par passage (très rapide !) de faciès aux schistes — les marbres sont en effet très peu épais en bord de route (5 m) par rapport aux affleurements le long de la voie ferrée (30 à 40 m).

(\*\*) Mercier et Vergely (1972) décrivent toutefois, en Macédoine, une période orogénique d'âge Crétacé supérieur - Eocène inférieur à plis E-W.

Je connais, pour ma part, en Othrys oriental, des accidents d'âge Crétacé terminal ou Tertiaire indiquant des déplacements vers le Sud-Est.

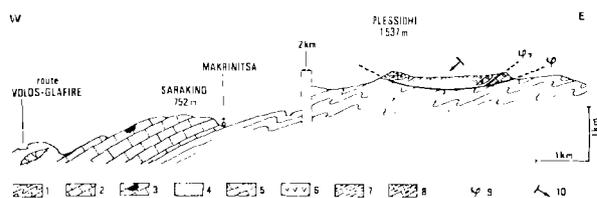


Fig. 4. — Massif du Pelion (Coupe Makrinitza-Plessidhi).

- 1, Schistes métamorphiques (à Glaucofane-lawsonite). —
- 2, Marbres gris parfois dolomitiques. —
- 3, Bauxite. —
- 4, Schistes épimétamorphiques. —
- 5, Marbres gris-jaune parfois dolomitiques. —
- 6, Roches vertes (serpentes, Gabbros). —
- 7, Flysch Maestrichtien-Eocène (?). —
- 8, Conglomérat. —
- 9, Contact anormal. —
- 10, Pendage observé localement.

- un flysch contenant des serpentines,
- une formation conglomératique récente.

Selon cet auteur, le flysch et l'ensemble dolomies-marbres reposent tectoniquement sur leur soubassement de schistes métamorphiques et le conglomérat, discordant sur les termes inférieurs, cache le contact tectonique.

Aucune de ces formations n'est datée ; les seuls fossiles cités sont des restes de Rudistes (*Hippurites*) trouvés par Renz dans une brèche tectonique sur l'un des sommets (1 618 m).

J'ai pu étudier rapidement cette série et prélever des échantillons le long de la route qui joint les différentes parties du camp militaire entre elles (fig. 4).

a) L'étude du conglomérat (8) montre que les éléments, légèrement roulés et de grande taille (jusqu'à 20 cm), sont constitués principalement de calcaires gris, fins, ou plus grossiers et recristallisés, et de grès. Un ciment rouge de nature argilo-gréseuse unit ces différents éléments (Tataris attribue sans preuve, un âge Quaternaire à ce conglomérat).

— Les éléments fins contiennent des petites Globigérines et quelques restes de *Globotruncana*.

— Les éléments recristallisés sont riches en microfaune malheureusement peu caractéristique d'âge Sénonien-Maestrichtien. L'un d'eux a livré *Gt. cf. linneana* (d'Orbigny) d'âge Sénonien.

b) Dans le flysch (7) — noté gneiss sur la carte grecque au 1/500 000<sup>e</sup> (1954) — deux niveaux gréseux prélevés dans la partie médiane ont livré :

- de rares Pithonelles,
- des débris de *Globotruncana*, de Globigérines, de Foraminifères hyalins non reconnaissables,
- et peut-être un test d'*Orbitoides*.

L'ensemble donne un âge minimum Crétacé supérieur (sûrement élevé) sans que l'on puisse exclure l'Eocène (\*).

c) Les Roches Vertes ne sont pas dans le flysch mais entre le flysch et les marbres, au moins dans le cas observé.

d) Les marbres et dolomies (5) ne présentent aucune trace de faune.

## 2) DISCUSSION.

L'impossibilité d'établir une carte géologique ne m'a pas permis d'étudier en détail les rapports qui existent entre ces différentes formations, situées en totalité à l'intérieur du camp militaire.

L'existence au NE de Volos (fig. 4), sur des schistes cristallins semblables à ceux de la série étudiée, d'une série différente de celle qui occupe les sommets du Pelion — il s'agit de marbres dolomitiques (2) très épais (\*\*), à dépôts bauxitiques, surmontés de schistes épimétamorphiques — conduit à envisager, pour cette série des sommets, deux types d'interprétation :

— ou bien il s'agit d'une transgression du flysch sur les schistes cristallins dégagés partiellement de leur couverture par une érosion intense. Cette érosion, suffisante pour enlever la couverture des schistes cristallins, aurait laissé intacts, localement, et à proximité immédiate, des marbres surmontés de Roches Vertes ; cela semble difficilement réalisable ;

— ou bien il s'agit d'une klippe tectonique. Les quelques chicots de marbres existant sur les schistes seraient alors des écailles entraînées sous la nappe ou le chevauchement. Si

(\*) Voir note infra-paginale, page 139.

(\*\*) L'existence de Gastéropodes, d'Algues et de micro-faune en cours d'étude, fait penser qu'il pourrait s'agir de Trias-Jurassique. Si cette détermination était confirmée, on aurait là un jalon fondamental dans l'étude des formations métamorphiques du Pelion. Des serpentines et des gabbros existent d'ailleurs dans les schistes épimétamorphiques sus-jacents.

l'absence de terrains d'âge Crétacé supérieur sous le flysch n'est pas d'origine tectonique, la transgression est tardive (Crétacé terminal), et par conséquent on peut envisager pour cette klippe une origine pélagonienne. En outre, les mouvements tectoniques, qui sont postérieurs au Crétacé supérieur, impliquent qu'elle soit d'origine interne (\*\*\*) ; cette origine est donc à rechercher dans la partie orientale de la zone pélagonienne.

Indépendamment de cette tectonique tangentielle, des mouvements verticaux très importants et récents doivent être envisagés pour expliquer l'altitude actuelle du conglomerat sommital (d'âge Quaternaire, selon Tataris, 1960). L'analyse de ce conglomerat permet de conclure en outre à la présence, dans les zones peu éloignées des sommets actuels du Pelion (axe de la zone pélagonienne), du Crétacé supérieur calcaire — que celui-ci ait constitué ou non la couverture en place de cette zone — sous des faciès qui sont comparables à ceux de l'affleurement de Lechonia-Gatsea.

## III. — LES SERIES PELAGONIENNES CRETACEES LES PLUS PROCHES

Les affleurements crétacés, les plus proches par leur situation de ceux du Pelion, se situent essentiellement sur les bordures de la zone pélagonienne, notamment sur sa bordure occidentale — bord Ouest du Golfe de Volos (région de Sourpi) et Chalkodonio — mais aussi à l'Est, dans l'île de Skiathos (Guernet, 1971).

### 1) LE MASSIF DU CHALKODONIO (fig. 1 et 5).

Selon la carte au 1/500 000<sup>e</sup> grecque (1954), le massif du Chalkodonio est constitué uniquement de marbres et de schistes cristallins. Aubouin (1959) a décrit sur sa bordure Sud des calcaires à Orbitolines (du Cénomanién ?) transgressifs sur ce " socle ". Mes propres recherches — encore en cours — m'ont permis de constater que, dans ce massif, affleurent essentiellement des Roches Vertes (serpentines surtout) surmontées de calcaires massifs ou en plaquettes très recristallisées, à débris de fossiles, avec parfois des intercalations plus détritiques à la base.

(\*\*\*) Voir deuxième note infra-paginale, page 140.

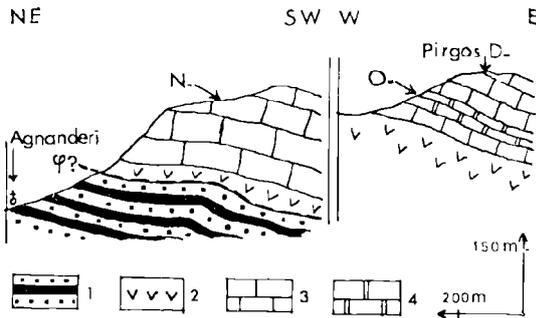


Fig. 5. — Coupe du Pirgos-Dederjiannis (SW d'Agnanderi, Chalkodonio).

1, formation flyschoides de grès et de schistes noirs. — 2, serpentines écrasées. — 3, calcaires marmoréens massifs gris-blanc. — 4, calcaires sombres recristallisés. — φ?, contact anormal possible. — N, *Nezzazata* sp. — O, *Orbitolines*

L'existence de morceaux de Rudistes abondants et parfois de microfossiles, permet d'attribuer un âge Crétacé supérieur à cet ensemble de calcaires jusque dans les régions les plus internes du Chalkodonio (entre Kokkina et Velestinon).

Les quelques spécimens déterminables sont des *Orbitolines* et des *Nezzazata* d'âge Cénomaniens près d'Agnanderi, et des *Cunéolines*, des *Pseudolituonelles* et des *Milioles* de même âge à l'Est de Rigeon.

Il existe sous les roches vertes, des soubassements variés : il s'agit, près d'Agnanderi et de Velestinon, d'une formation flyschoides, d'âge encore indéterminé (fig. 5) ; près de Rigeon, de schistes cristallins intercalés de quelques bancs de marbres gris ; près de Chloi, de marbres plus massifs. Des indices de tectonique tangentielle existent au sein de ces différentes séries entre l'ensemble supérieur (Roches vertes - Crétacé supérieur) et les divers soubassements, notamment près de Rigeon et d'Agnanderi, mais de nouvelles études s'avèrent nécessaires pour établir l'importance de ces mouvements.

## 2) LA BORDURE OCCIDENTALE DU GOLFE DE VOLOS.

Entre Sourpi et le bord occidental du Golfe de Volos, la carte au 1/50 000<sup>e</sup> d'Almyros (Marinos, 1962) fait état de Crétacé métamorphique mais aucun fossile n'est indiqué au sein

des affleurements cartographiés dans cette région. Dans cet ensemble très tectonisé, j'ai pu dater plusieurs niveaux et ainsi rétablir une série stratigraphique partielle (fig. 6).

— Dans les calcaires marmoréens recouverts par une formation détritique de type flysch (a), les lames minces ont révélé des *Lithothamnium*, *Orbitoides media* (d'Arch.) et *Siderolites calcitrapoides* Lmk d'âge Maestrichtien.

— A l'Est d'Amaliopolis, en bord de mer, on peut observer une formation marmoréenne, à plis couchés d'ordre métrique, affectée par une schistosité de fracture. Des passées bréchiques, granoclassées verticalement, encadrent une passée plus schisteuse à *Globotruncana* d'âge Turonien probable, dont les tests sont épigénisés en quartz (b).

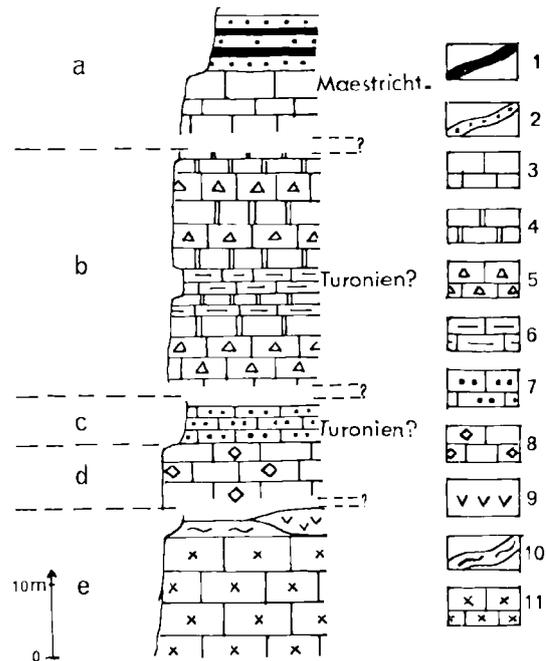


Fig. 6. — Série crétacée entre Sourpi et le Golfe de Volos. Crétacé supérieur :

1, pélites noires. — 2, grès psammitiques. — 3, calcaires blancs recristallisés. — 4, calcaires marmoréens bleu-noir. — 5, calcaires marmoréens bréchiques. — 6, schistes calcaires jaunes à *Globotruncana*. — 7, calcaires gréseux jaunes. — 8, conglomérat hétérogène.

Trias-Jurassique :

9, Roches vertes. — 10, schistes épimétamorphiques. — 11, marbres dolomitiques.

— Une formation de calcaires gréseux jaunes a également livré, outre des sections de Lamellibranches indéterminables, des *Globotruncana* très probablement du Turonien (c).

— Sous ces derniers niveaux apparaît un conglomérat à grands éléments de marbres blancs et de schistes verts qui représente certainement la base de la transgression (d).

— Le soubassement est représenté par une faible épaisseur de Roches Vertes ou de schistes épimétamorphiques situés au sommet d'une formation calcaro-dolomitique épaisse attribuée au Trias (Jurassique?) (e), car reposant sur le Permien daté.

### 3) LA PARTIE ORIENTALE DE LA ZONE PELAGONIENNE.

Dans cette partie, dans les îles de Skiathos et de Skopelos, la transgression est au minimum d'âge Turonien à *Hippurites colliciatius* (Renz in Guernet, 1971) et le soubassement est constitué de calcaires dolomitiques épais (Guernet, 1971). Ces caractères semblent tout à fait comparables à ceux observés sur le bord Ouest du Golfe de Volos.

## IV. — CONCLUSIONS

De la comparaison des données exposées ci-dessus et en tenant compte du fait que certains affleurements décrits ont pu subir des déplacements plus ou moins importants vis-à-vis de leur soubassement, nous pouvons dégager les conclusions suivantes :

1) Dans la région étudiée, la transgression, d'âge Cénomanién ou Turonien, est plus précoce sur la bordure occidentale de la zone pélagonienne, ainsi qu'à Skiathos, qu'au niveau des affleurements situés actuellement dans l'axe de cette même zone - Sénonien et Turonien élevé (Lechonia-Gatsea), Maestrichtien (sommets du Pelion).

2) L'existence (aussi bien à l'Ouest, région de Sourpi, que dans le Pelion) d'éléments de schistes métamorphiques au sein des conglomérats de base de la transgression du Crétacé supérieur, implique la présence d'une zone émergée proche, ayant subi une érosion suffisante pour mettre à nu ces schistes métamorphiques avant la transgression. Du fait de

l'immersion précoce des régions situées à l'Est et à l'Ouest de la zone pélagonienne (ces régions pouvaient jouer le rôle de piège pour les sédiments, notamment le sillon du Vardar vis-à-vis des apports rhodopiens), ce domaine émergé devait être situé au cœur de cette zone pélagonienne.

### 3) Importance de l'érosion anté-Crétacé supérieur.

Entre Sourpi et le Golfe de Volos, là où la série semble à peu près continue du Permien au Crétacé, des schistes épimétamorphiques, souvent très quartzeux, recouvrent clairement les marbres dolomitiques du Trias-Jurassique ; leur âge est donc mésozoïque. Les formations crétacées montrant des schistes (de nature légèrement différente et en position plus élevée dans la série il est vrai) nettement moins métamorphiques, on peut envisager l'existence d'une phase de métamorphisme mésozoïque anté-Crétacé supérieur dans cette région (\*). Par conséquent, la seule observation de schistes métamorphiques dans le conglomérat de transgression n'est pas suffisante pour conclure à l'existence d'une érosion importante ayant atteint des niveaux paléozoïques par exemple.

L'observation directe du soubassement transgressé montre d'ailleurs que, dans la région étudiée, les premiers niveaux transgressifs reposent le plus souvent sur les ophiolites. C'est en fait le substratum de ces ophiolites qui présente des variations importantes ; celles-ci s'expliquent en partie par la tectonique tertiaire génératrice de décollements au niveau des Roches vertes (c'est le cas dans le Pelion et probablement pour une partie du Chalkodonio). Ces observations se replacent assez bien dans le cadre de la zone pélagonienne ; en effet, au moins pour la partie située au Nord de l'Eubée, le Crétacé supérieur connu repose sur les marbres ou sur les schistes sus-jacents à ces marbres attribués au Trias-Jurassique (Mercier, 1966), ou plus souvent sur les Roches vertes (\*\*).

(\*) Une datation absolue (138 M.A.) obtenue par Smith (1972) sur une muscovite est en accord avec ces observations. D'autre part, cette phase de métamorphisme a été bien mise en évidence en Macédoine par Mercier (1967b).

(\*\*) Les schistes transgressés (?) près de Rigeon par le Crétacé supérieur (Aubouin, 1959) viennent au contact d'ophiolites très épaisses près d'Eretria. Un âge ancien paraît donc douteux pour ces schistes, même s'il s'agit bien d'un contact transgressif et non d'un contact tectonique.

L'importance de l'érosion est toutefois attestée par le fait que des terrains métamorphisés, même s'ils sont d'âge mésozoïque, ont été mis à nu avant le Crétacé supérieur. Cette remarque s'accorde d'ailleurs avec les observations de plus en plus nombreuses qui révèlent l'existence de structures tectoniques d'âge Jurassique supérieur-Eocréacé dans les zones internes helléniques (Mercier, 1966; Smith et coll., 1972; Clément, Ferrière, 1973). Dans le Pelion, par exemple, existent, au sein des schistes métamorphiques, de très nombreux microplis à schistosité de plan axial repris par des mouvements postérieurs, alors que de telles déformations ne sont pas connues dans la couverture crétacée, déplacée il est vrai.

#### 4) La tectonique post-maestrichtienne.

La tectonisation (schistosité et plis couchés à l'Est de Sourpi) et l'intensité des recristallisations semblent curieusement plus importantes au niveau du Crétacé supérieur de la bordure occidentale de la zone pélagonienne qu'au niveau des affleurements de même âge actuellement situés dans l'axe de cette même zone.

5) Les niveaux crétacés du massif du Pelion représentent les niveaux les plus internes que l'on puisse trouver sur la transversale étudiée du fait de la présence de la mer Egée à l'Est de ce massif. Ils constituent à ce titre les seuls

éléments de comparaison possibles entre, d'une part, les affleurements Crétacé supérieur connus juste au NE et au SE de l'Olympe attribués par Godfriaux (1965) aux zones pélagonienne et du Vardar, et, d'autre part, les affleurements des Sporades du Nord (Guernet, 1971) qui, bien que situés dans le prolongement de la zone du Vardar, ont un cachet nettement "pélagonien" (\*).

Les affleurements du Pelion, probablement originaires de régions plus internes, semblent avoir des caractères intermédiaires entre les deux types précédents. Ainsi, dans la coupe de Lechonia, on relève, d'une part, des caractères de "sillons" (niveaux siliceux à la base des Roches vertes et faciès Crétacé supérieur principalement pélagiques) et, d'autre part, des caractères de zone haute (très faible épaisseur des Roches vertes et transgression tardive).

Le caractère limité des affleurements ne permet pas de préciser la paléogéographie de cette éventuelle zone intermédiaire.

Quoi qu'il en soit, l'alignement transversal des Sporades implique soit une terminaison, progressive ou non, soit une courbure de la zone du Vardar au Nord de ces îles.

(\*) Ce fait, relevé par Guernet (1971) dans sa thèse, ressort également de la carte paléogéographique de Grèce, de Renz (1940).

## BIBLIOGRAPHIE

Pour la bibliographie concernant le Crétacé supérieur de Grèce en général, voir AUBOUIN et coll. (1960).

- 1) AUBOUIN J. (1959). — Contribution à l'étude de la Grèce septentrionale : les confins de l'Épire et de la Thessalie. *Ann. Géol. Pays helléniques*, t. X, 483 p. (Thèse, Paris, 1958).
- 2) AUBOUIN J., BRUNN J.J., CELET P., DERCOURT J., GODFRIAUX I., MERCIER J., LYS M., MARIE P., NEUMANN M., SIGAL J., et SORNAY J. (1960). — Le Crétacé supérieur en Grèce. *B.S.G.F.*, (7), t. II, p. 452-470.
- 3) AUBOUIN J., BRUNN J.J., CELET P., DERCOURT J., GODFRIAUX I. et MERCIER J. (1960-63). — « Esquisse de la géologie de la Grèce ». Livre à la mémoire du Professeur Paul Fallot. *Mém. hors-série S.G.F.*, t. II, p. 583-610.
- 4) BRUNN J.H. (1956). — Etude géologique du Pinde septentrional et de la Macédoine occidentale. *Ann. Géol. Pays helléniques*, t. 13, 446 p.
- 5) BRUNN J.H. (1959). — Zone du Vardar et zone pélagonienne en Grèce (note préliminaire). *C.R. somm. S.G.F.*, p. 138.
- 6) BRUNN J.H. (1960). — Les zones helléniques internes et leur extension. *B.S.G.F.*, (7), t. II, p. 470-486.
- 7) CLEMENT B., FERRIERE J. (1973). — La phase tectonique anté-Crétacé supérieur en Grèce continentale. *C.R. Ac. Sc. Paris*, t. 276, série D, p. 481.
- 8) FERRIERE J. (1973). — Sur l'existence de terrains d'âge Crétacé supérieur dans le massif du Pelion (axe de la zone pélagonienne) en Grèce continentale orientale. *C.R. somm. S.G.F.* (sous presse).
- 9) GEORGIADES A. (1954). — On a metamorphosed volcanic tuff on Mt. Pelion, Thessaly. *Prakt. Akad. Ath.*, 29, p. 9-12, Athènes.
- 10) GODFRIAUX I. (1965). — Etude géologique de l'Olympe (Grèce). Thèse ronéotypée et *Ann. Géol. pays hellén.*, t. 19, p. 1-282 (1970).

- 11) GODFRIAUX I., MERCIER J. (1964). — Essai de comparaison des massifs métamorphiques de Thessalie et de Macédoine. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. LXXXIV, p. 205-221.
- 12) GUERNET Cl. (1971). — Etudes géologiques en Eubée et dans les régions voisines (Grèce). *Thèse* ronéotypée, Paris.
- 13) HYNES A.J., NISBET E.G., SMITH A.G., WELLAND J.P., LEEDS D.C. (1972). — Spreading and emplacement ages of some ophiolites in the Othris region (eastern central Greece). *Z. Deutsch. Geol. Ges.*, Hannover, 123, p. 455.
- 14) LE PICHON X., NEEDHAM H.D. et RENARD V. (1973). — Traits structuratifs de la fosse nord-égéenne. *Réunion annuelle des Sciences de la Terre*, Paris, 19-22 mars 1973.
- 15) MARINOS G., ANASTOPOULOS J., MARATOS G., MELIDONIS N., ANDRONOPOULOS B. (1956). — Carte géologique d'Almyros (1/50 000°).
- 16) MARINOS G. (1960). — Paleontologic and stratigraphic investigations on eastern continental Greece. *E.G.E.*, Athènes.
- 17) MERCIER J. (1960). — Zone pélagonienne et zone du Vardar en Macédoine grecque. *B.S.G.F.*, (7), t. II, p. 435-449.
- 18) MERCIER J. (1966). — Etude géologique des zones internes des Hellénides en Macédoine grecque. *Thèse* ronéotypée, *Fac. Sc. Paris*, 573 p., et *Ann. Géol. Pays helléniques* (sous presse).
- 19) MERCIER J. (1967a). — Paléogéographie, orogénèse, métamorphisme et magmatisme des zones internes des Hellénides de Macédoine (Grèce). *Vue d'ensemble. B.S.G.F.*, (7), t. VIII, p. 1020-1049.
- 20) MERCIER J. (1967b). — Sur l'existence et l'âge des deux phases régionales de métamorphisme alpin dans les zones internes des Hellénides et Macédoine centrale (Grèce). *B.S.G.F.*, (7), t. VIII, p. 1014-1017.
- 21) MERCIER J., VERGELY P. (1972). — Les Mélanges ophiolitiques de Macédoine (Grèce): décrochements d'âge anté-Crétacé supérieur. *Z. Deutsch. Geol. Ges.*, Hannover, 123, p. 469.
- 22) RENZ C. (1940). — Die Tektonik der griechischen Gebirge. *Prakt. Akad. Ath.*, 8, p. 1-171, Athènes.
- 23) RENZ C., LIATSIKAS N., PARASKEVAIDIS I. (1954). — Carte géologique de Grèce au 1/500 000°.
- 24) RENZ C. (1955). — Die Vorneogene Stratigraphie der normalsedimentären Formationen Griechenlands. *Inst. Geol. Subs. Res. Athènes*, 637 p.
- 25) TATARIS A. (1960). — Volcanic dykes and mineralisation of Mt Pelion, Thessaly. *Inst. Geol. Subs. Res., Athènes*, 6, 4, p. 1-303.





## Contribution à l'étude du Famennien du bord Sud du synclinorium de Namur

par A. BEUGNIES (\*)

*Sommaire.* — Lithostratigraphie et zonation des Rhynchonelles du Famennien au bord sud du synclinorium de Namur qui se caractérise par un Famennien inférieur peu épais (13 à 20 m), un Famennien supérieur épais de 200 m nettement plus gréseux à l'Est qu'à l'Ouest où plusieurs horizons calcaires sont présents.

*Summary.* — Lithostratigraphy and zonation of Rhynchonellids of famennian formation at the south flank of the Namur syncline which can be defined by a weak thickness of the lower part (13 to 20 m) a very more important thickness of the upper part (200 m) with a great extension of sandstones better developed in the eastern areas than in the western one where several calcareous formations are present.

La présente note a pour but de présenter les échelles stratigraphiques les plus complètes du Famennien du bord sud du synclinorium de Namur, depuis Landelies à l'Ouest jusqu'à Huy à l'Est. En ce qui concerne la paléontologie, notre attention s'est portée exclusivement sur la macrofaune et plus particulièrement sur les Rhynchonellidés dont la valeur biostratigraphique a été clairement mise en évidence par Sartenaer (1957) dans le bassin de Dinant. Dans la description des coupes, nous avons adopté les limites et subdivisions du Famennien proposées récemment par Bouckaert, Streel et Thorez (1968). En particulier, la limite entre Famennien inférieur (Fa1) et Famennien supérieur (Fa2) est déterminée par l'apparition des premières Rhyn-

chonelles du groupe *Camarotoechia letiensis*, caractérisées par des espèces de plus grande taille (forme 1) que les espèces ultérieures plus petites et globuleuses (forme 2) (Beugnies, 1965). A l'intérieur de chaque série, nous distinguons plusieurs lithofaciès par des lettres minuscules.

### I. — DESCRIPTION DES COUPES

#### 1) LANDELIES (\*\*).

Observations antérieures: de Béthune (1950); Mamet, Mikhailoff, Mortelmans (1970).

*Situation* : rive gauche de la Sambre, au

(\*) Faculté polytechnique de Mons (Belgique).

Note déposée le 1<sup>er</sup> Juin 1973.

(\*\*) Chaque coupe est repérée par un numéro d'ordre reporté sur la carte et sur le tableau des échelles stratigraphiques (fig. 1).

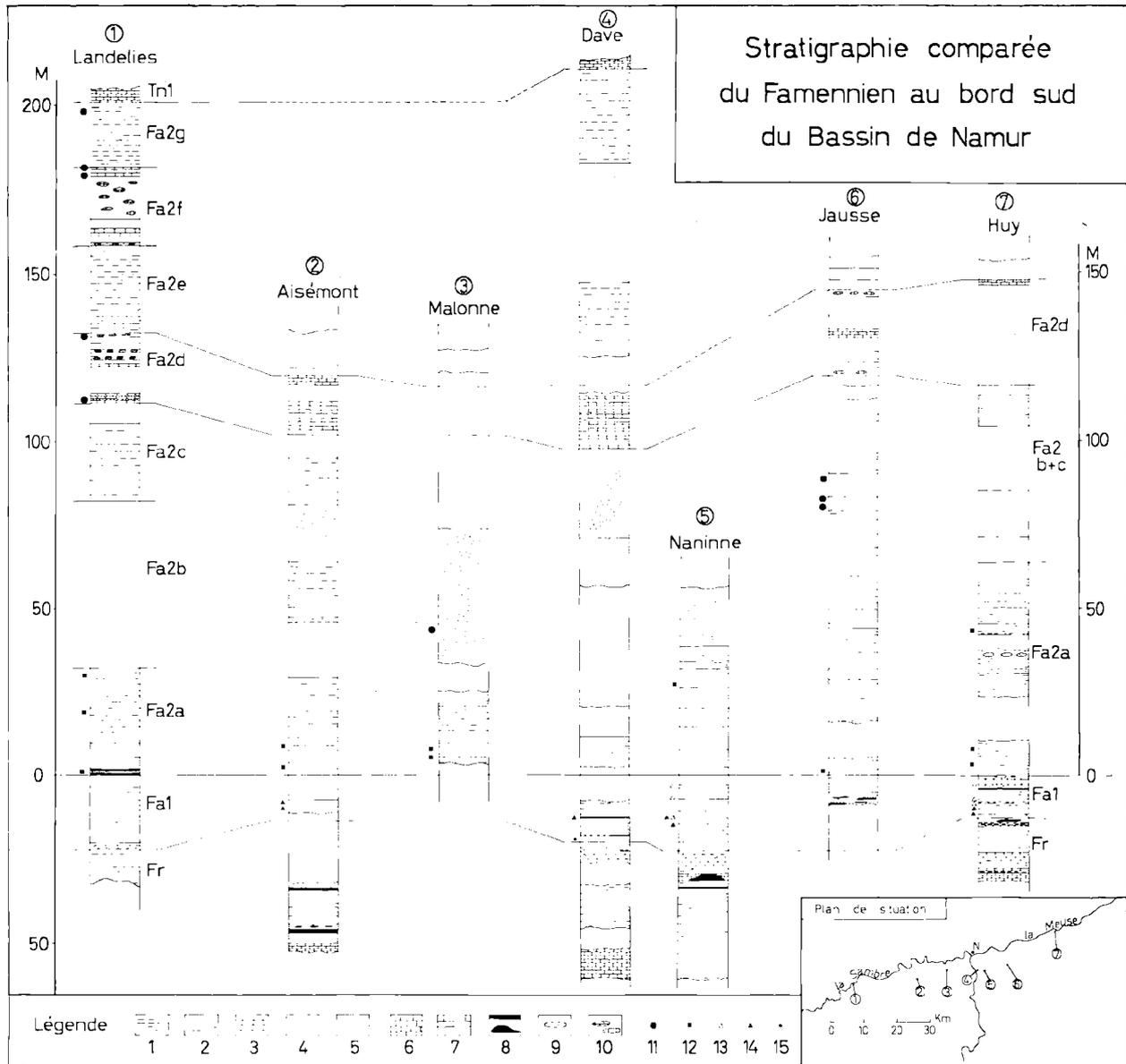


Figure 1

1, schiste. — 2, schiste gréseux. — 3, calcschiste. — 4, alternance schiste et grès. — 5, grès. — 6, calcaire. — 7, grès carbonaté. — 8, hématite massive ou oolithique. — 9, nodule gréseux. — 10, nodules carbonatés. — 11, niveau à *Camarotoechia letiensis* forme 2. — 12, niveau à *Camarotoechia letiensis* forme 1. — 13, niveau à *Camarotoechia dumonti*. — 14, niveau à *Ptychomaletoechia omaliusi*. — 15, niveau à *Camarotoechia nux. praenux*.

Nord de Landelies pour la quasi-totalité du Fa2 et la tranchée de la route de Landelies à Montignies-le-Tilleul, rive droite de la Sambre pour le Fa1 et la partie inférieure du Fa2.

*Succession observée* : directement sous les calcaires crinoïdiques du Tournaisien inférieur (Tn1) (Mamet, Mikhailoff, Mortelmans, 1970) on observe de haut en bas la succession suivante :

Fa2g - ou faciès gréso-schisteux supérieur (18,5 m)		Fa2b - ou faciès gréseux [assimilable par sa position aux grès de Watissart au bord nord du bassin de Dinant (Beugnies, 1965) (50 m)]	
Grès verts bien lités en bancs de 0,20 m	1,50 m	Grès en très gros bancs généralement bien stratifiés, souvent micacés et à faune de Lamellibranches; les 10 m inférieurs montrent souvent des niveaux à ripple-marks et à stratifications entrecroisées	50,00 m
Schistes siliceux couronnés par un banc de grès bleuté de 0,20 m à <i>Camarotoechia letiensis</i> (forme 2)	2,00 m		
Grès plaquetés alternant avec des schistes verts siliceux	15,00 m		
Fa2f - ou faciès gréso-carbonaté supér. (22,75 m)		Fa2a - ou faciès schisteux (32 m)	
Grès verts plaquetés alternant avec des bancs de 0,50 m de grès calcaireux crinoïdiques partiellement décalcifiés à l'affluement à <i>Cam. gr. letiensis</i> (forme 2)	3,00 m	Schistes verts avec quelques rares passées gréseuses vers le sommet, souvent ponctués d'oxyde de fer: <i>Cyrtospirifer verneuili</i> , <i>Camarotoechia gr. letiensis</i> (forme 1), <i>Athyris</i> sp.	30,00 m
Grès calcaireux alvéolaires à nodules de calcaire gris-bleu en bancs de 0,30 à 0,40 m	12,00 m	Quelques bancs de 0,20 à 0,50 m de grès et de roches silicifiées et hématitisées alternant avec des schistes siliceux à nombreux fossiles: <i>Cyrtospirifer verneuili</i> et <i>C. gr. letiensis</i> (forme 1)	2,00 m
Grès micacé finement plaqueté	3,00 m		
Grès calcaireux alvéolaire	2,00 m	Fa1 - Famennien inférieur (22 m) comprenant :	
Grès finement plaqueté	2,00 m	Schistes verts et violacés à débit grossier, localement carbonatés avec quelques rares lentilles ou plaquettes centimétriques de grès verdâtres, micacés, azoïques	20,00 m
Grès à nodules de calcaire gris-bleu, partiellement décalcifiés	0,75 m	Schistes calcaireux gris-vert à nombreux <i>Cyrtospirifer verneuili</i> de grande taille et <i>Cyrtiopsis</i> sp.	2,00 m
Fa2e - ou faciès gréso-schisteux moyen (25,60 m)		Fr3 - Frasnien supérieur comprenant :	
Grès vert plaqueté	1,00 m	Schistes fins, gris sombre avec quelques polypiers isolés et des nodules de calcaire construit gris clair à rose, à <i>Philipsastrea</i> plusieurs m	
Grès faiblement calcaireux à stratification fruste	2,00 m		
Alternance de schistes gréseux verdâtres et de grès finement plaquetés	20,00 m		
Grès en bancs de 0,20 m	1,10 m		
Alternance de schistes gréseux et de grès plaquetés	1,50 m		
Fa2d - ou faciès gréso-carbonaté inférieur [assimilable par sa position au faciès de Souverain-Pré, tel qu'on peut l'observer au bord nord du bassin de Dinant (Beugnies, 1965) (21,50 m)]			
Grès nodulaire à nodules de calcaire gris-bleu crinoïdique à <i>Cam. gr. letiensis</i> (forme 2)	1,10 m		
Schistes gréseux très micacés	2,10 m		
Grès en bancs de 0,30 m	2,00 m		
Grès à gros ovoïdes aplatis de grès	1,00 m		
Schistes gréseux	1,10 m		
Grès à ovoïdes gréseux décimétriques	0,90 m		
Grès finement plaquetés à entrelits schisteux	1,50 m		
Grès très calcaireux, crinoïdique	0,90 m		
Grès plaqueté	8,00 m		
Grès plaquetés alternant avec des bancs de 0,50 m de calcaire sableux à Brachiopodes, <i>Cam. gr. letiensis</i> (forme 2)	3,00 m		
Fa2c - ou faciès gréso-schisteux inférieur (29 m)			
Grès vert, en gros bancs, à stratification fruste	6,00 m		
Alternance de grès gris-vert en bancs lenticulaires à stratification fruste et de schistes verts micacés et siliceux	23,00 m		

## 2) AISEMONT.

*Situation* : rive droite de la Biesmes, le long de la route vers le village d'Aisémont pour la partie inférieure de la coupe et rive gauche le long de la route de Falisolle au Nord de la bifurcation vers le Roux pour la partie supérieure.

### Succession observée de haut en bas :

Fa2 - Famennien supérieur (plus de 118,5 m)	
Fa2e - (au moins 13,00 m)	
Grès rouge, grossier, micacé en gros bancs au moins	10,00 m
Grès vert grossier à ripple-marks alternant avec des schistes rouges, gréseux, grossiers	3,00 m
Fa2d - (18 m)	
Grès jaunâtre carbonaté en bancs de 15 à 20 cm	3,00 m
Grès verts en bancs finement lités	5,00 m
Grès zonaires alternant avec des bancs de grès carbonaté plus épais vers le haut	10,00 m

<p>Fa2c - (21 m) Grès jaunâtre à stratification fruste passant à des grès plaquetés vers le bas ..... 7,00 m Alternance de grès et de schistes verts .. 14,00 m</p>	<p>Grès violacés en gros banc de plus de 1 m, avec parfois des entrelits schisteux rouges, à nombreux débris de bois flottés ; crinoïdes, <i>Cyrtospirifer verneuili</i>, <i>Cam. gr. letiensis</i> (forme 2) ..... 22,00 m</p>
<p>Fa2b - (50,50 m) Grès vert en gros bancs de 1 à 2 m .... 15,00 m Un banc de grès à ciment limoniteux .... 2,00 m Alternance de schiste et de grès à prédominance gréseuse vers le sommet ..... 16,00 m Une couche schisteuse épaisse ..... 1,50 m Grès en bancs bien lités, très micacés, à nombreux débris de végétaux et plusieurs niveaux à ripple-marks vers le sommet .. 16,00 m</p>	<p>Grès blanchâtres, grossiers, en petits bancs montrant des surfaces de bancs couvertes de ripple-marks et de pistes ..... 7,50 m Lacune d'observation ..... 7,00 m</p> <p>Fa2a - Alternance de schistes verts et de grès clair, à stratification fruste, dont les 10 m inférieurs montrent plusieurs niveaux fossilifères à <i>Cyrtospirifer verneuili</i> et <i>Cam. letiensis</i> (forme 1) ..... 21,00 m</p>
<p>Fa2a - (29 m) Alternance de schistes et de grès, à prédominance gréseuse vers le sommet ..... 14,50 m Un gros banc de grès micacé ..... 3,50 m Alternance de schistes violacés et de grès verts à stratification fruste à prédominance schisteuse ; plusieurs niveaux à <i>C. gr. letiensis</i> (forme 1) vers le haut et vers le bas ..... 11,00 m</p>	<p>4) DAVE.</p> <p><i>Situation</i> : rive droite de la Meuse au Nord de la gare de Dave.</p> <p><i>Succession observée</i> : de haut en bas, directement sous les calcaires crinoïdiques du Tournaisien inférieur.</p>
<p>Fa1 - Famennien inférieur (plus de 10,5 m) Alternance schisto-gréseuse comparable à celle décrite ci-dessus mais comportant au sommet un niveau à <i>Cam. dumonti</i> ..... 7,00 m Ensemble nettement plus pélitique constitué de schistes violacés ne comportant que quelques rares limets gréseux. Au sommet, un niveau à <i>Ptychomaletoechia omaliusi</i> et un autre 2 m plus bas ..... 3,50 m Lacune d'observation ..... 21,00 m</p>	<p>Fa2g - Grès en petits bancs alternant avec des schistes gréseux gris-vert ..... 28,00 m Fa2f - Grès gris-vert en gros bancs ..... 35,00 m Fa2e - Alternance de schistes et de grès verdâtres ..... 22,00 m Lacune d'observation ..... 11,00 m</p> <p>Fa2d - Grès plaqueté alternant avec des grès calcareux, crinoïdiques à débris de végétaux ..... 6,00 m Conglomérat à éléments pisaires et ciment dolomitique ..... 0,30 m Grès calcareux alternant avec des schistes siliceux violacés ..... 10,00 m</p>
<p>Fr - Frasnien Schistes violacés à <i>Cam. ferquensis</i>, <i>Cyrtospirifer verneuili</i>, fenestelles ; vers le haut, quelques niveaux centimétriques d'hématite massive ..... 12,00 m Schistes violacés à nodules de calcaire silicifié et ferrugineux ..... 1,00 m Couche d'hématite silicifiée ..... 1,50 m Schistes fins à <i>C. verneuili</i>, <i>Chonetes</i> sp., Crinoïdes et Lamellibranches ..... 2,80 m Calcaire noir en gros bancs à entrelits schisteux ..... 8,80 m</p>	<p>Fa2 (c+b) - Grès en gros bancs de 1 m ..... 27,00 m Grès en bancs lenticulaires à stratification fruste ..... 14,00 m Lacune d'observation ..... 36,00 m</p> <p>Fa2a - Grès en petits bancs de 0,10 m à stratification fruste ..... 9,00 m Schistes gréseux, grossiers à <i>C. letiensis</i> (forme 1) ..... 8,50 m Lacune d'observation ..... 10,00 m</p>
<p>3) MALONNE.</p> <p><i>Situation</i> : rive droite du Landon, le long de la route de Malonne à Bois-de-Villers, au S de la bifurcation vers les Marlères.</p> <p><i>Succession observée</i> de haut en bas :</p>	<p>Fa1 - (12,40 m) Schiste noir fin contenant quelques rares plaquettes de grès ..... 5,00 m Un banc de grès ferrugineux à <i>Ptychomaletoechia omaliusi</i> ..... 0,10 m Schistes noirs à minces plaquettes gréseuses ..... 5,00 m Lentille de calcaire noir passant latéralement à une couche d'hématite à <i>Cyrtospirifer verneuili</i> ..... 0,30 m Schiste noir contenant quelques minces passées gréseuses à <i>Cam. nux praenux</i> .. 2,00 m</p>
<p>Fa2b - (plus de 66 m) Grès alvéolaires et ferrugineux à surface de banc mamelonnée ..... 7,00 m Grès à linéoles pélitiques, violacé à ripple-marks ..... 1,50 m</p>	

Fr - Frasnien.

Schistes noirs fins à <i>Posidomya</i> sp. et <i>Cyrtospirifer verneuili</i> .....	3,00 m
Calcschistes noirs à <i>Atrypa reticularis</i> et <i>C. verneuili</i> .....	3,00 m
Lacune d'observation .....	7,00 m
Schistes noirs fins, se débitant en éclis ..	12,50 m
Lacune d'observation .....	7,50 m
Calcaire gris, bien lité à Brachiopodes (plusieurs m)	

5) NANINNE.

*Situation* : tranchée du chemin de fer, immédiatement au S-E de la gare de Naninne ; les couches dirigées N 83° E sont déversées vers le Nord avec un pendage de 53° pS.

*Succession observée de haut en bas* :

Fa2b - (au moins 17 m)

Grès en bancs mal stratifiés, alternant avec des bancs mieux lités de grès gris-vert devenant très grossiers et micacés vers le bas où ils renferment de nombreux Lamellibranches .....	17,00 m
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------

Fa2a - (37,20 m)

Schistes gréseux à nodules de grès alternant avec de minces bancs (4 à 5 cm) de grès micacé .....	4,2 m
Schistes fins, verdâtres à débris de végétaux .....	2,50 m
Grès bien lités en bancs de 10 à 15 cm	1,00 m
Alternance de bancs de grès et de couches schisto-gréseuses mal stratifiées ; à la base, un horizon fossilifère à <i>Cyrtospirifer verneuili</i> et <i>Cam. letiensis</i> (f. 1) .....	4,00 m
Grès blanchâtre bien lité .....	6,00 m
Schistes gréseux alternant avec des grès en petits bancs .....	5,50 m
Ensemble très arénacé composé de grès gris-vert, micacés grossiers en bancs de 1 m .....	7,00 m

Fa1 - (22,20 m)

Schistes gréseux gris-vert au sommet, violacés à la base, alternant avec de minces bancs de grès ; à la base, un banc de grès blanc grossier de 0,10 à 0,20 m ; nombreux fossiles, au sommet : <i>C. verneuili</i> , <i>Chonetes hardrensis</i> , <i>Cyrtiopsis</i> sp. ; à la base : Crinoïdes, <i>Cyrtiopsis</i> sp. et <i>Cam. dumonti</i> .....	4,00 m
Alternance de schistes et de passées gréseuses de 2 à 4 cm ; à la base, un niveau à <i>Cam. dumonti</i> .....	3,20 m
Schistes lie-de-vin, crinoïdiques ; à la base, un niveau riche en <i>Pt. omaliusi</i> associée à quelques rares spécimens de <i>Cam. cf. dumonti</i> .....	7,00 m
Schistes gréseux lie-de-vin .....	8,00 m

Fr - Schistes aréno-calcaireux à Crinoïdes, <i>C. verneuili</i> et <i>Cam. boloniensis</i> .....	1,00 m
Schistes violacés plus ou moins calcaireux ; à la base, un horizon fossilifère à <i>Cam. boloniensis</i> et un autre 2 m plus haut ....	4,00 m
Schistes violacés fins, sans fossiles ....	1,50 m
Calcaire dolomitique silicifié passant latéralement à des lentilles d'hématite massive	2,00 m
Schistes comportant quelques minces passées gréseuses passant vers le haut à un calcschiste formant le mur de la couche hématitifère décrite ci-dessus ; à la base, un lit de 2 à 5 cm de dolomie hématitifère	1,50 m
Schistes à débit assez fin, micacés, très fossilifères : <i>C. verneuili</i> , <i>Productella subaculeata</i> , <i>Posidonomya</i> sp., <i>Posidoniella</i> sp., lingules, discines, etc... ..	2,50 m
Schistes fins, noirâtres se débitant en éclis à faunule de Lamellibranches .....	3,20 m
Schistes gris à violacés avec parfois une mince plaquette de grès .....	21,00 m

6) JAUSSE.

*Situation* : vallée du ruisseau des Hurées, le long de la route de Jausse, à Faux-les-Tombes ; les couches orientées N 110° W sont déversées vers le Nord avec des pendages qui oscillent entre 46 et 62° pS.

*Succession observée de haut en bas* :

Fa2e - (plus de 10 m)

Grès vert à joint de stratification fruste ..	3,50 m
Grès rouge, bien lité à gros débris de végétaux .....	3,50 m
Grès grossier, très micacé .....	3,00 m

Fa2d - (24,80 m)

Schistes et grès rouges en alternance ; les grès contiennent parfois des nodules carbonatés partiellement dissous .....	2,00 m
Grès plaqueté verdâtre .....	5,60 m
Schiste et grès rouge en alternance ....	3,50 m
Grès dolomitique à structure bréchoïde ..	2,50 m
Grès verts en petits bancs .....	4,20 m
Schiste rouge comportant vers le milieu, un banc de grès rouge de 1 m .....	5,00 m
Schiste rouge à nodules carbonatés ....	2,00 m

Fa2 (b + c) - (40 m)

Grès verdâtre plaqueté .....	3,00 m
Lacune d'observation .....	4,00 m
Alternance de bancs de grès rouges ou verts de 0,75 à 1 m de puissance et d'intercalations minces (5 à 8 cm) de schiste rouge .....	22,00 m
Grès verts en bancs de 0,15 à 0,50 m à <i>Pecten</i> sp. et <i>Cam. gr. letiensis</i> (forme 2)	7,00 m

Grès verts à ripple marks et débris de végétaux passant vers le bas à des grès bien lités en bancs décimétriques ; nombreux Lamellibranches et plusieurs niveaux à <i>Cam. gr. letiensis</i> (forme 2) .....	4,00 m	Grès rouges passant vers le bas à des grès verts bien lités en gros bancs ....	33,00 m
Fa2a - (83,50 m)		Grès verts bien lités et finement zonés ..	7,50 m
Alternance de schistes et de grès verdâtres mais à prédominance gréseuse dans l'ensemble .....	35,00 m	Fa2a - (62,60 m)	
Alternance schiste-grès à dominante pélitique vers la base .....	12,00 m	Alternance de schistes verts et de grès verts plaquetés .....	18,00 m
Un gros banc de grès .....	3,00 m	Schistes fins, verdâtres à <i>Cam. letiensis</i> forme 1 .....	3,00 m
Schistes gréseux à stratification fruste avec petits bancs gréseux plus rares ....	12,50 m	Alternance de schistes et de grès verts en bancs de 0,20 m .....	4,50 m
Lacune d'observation .....	11,00 m	Un gros banc de grès vert micacé à ovoïdes aplatis de grès .....	2,50 m
Schiste gris sombre contenant quelques bancs de grès de 5 à 10 cm d'épaisseur ; à la base, un horizon fossilifère contenant quelques rares <i>Cam. gr. letiensis</i> (forme 1) ..	5,00 m	Schistes verts .....	4,00 m
Schistes gris-sombre avec rares passées gréseuses ; pas de fossiles .....	5,00 m	Alternance de schistes et de minces lits (5 à 8 cm) de grès vert .....	6,60 m
Fa1 - (plus de 5 m)		Lacune d'observation .....	14,00 m
Schistes gréseux, grossiers, lie-de-vin, avec rares passées gréseuses souvent lenticulaires .....	2,00 m	Alternance comparable à la précédente, comportant vers le milieu un niveau de grès calcareux ; à 3,50 m de la base, un niveau fossilifère recélant quelques spécimens de <i>Cam. letiensis</i> (f. 1) .....	10,00 m
Schistes et grès rouges contenant des lits d'hématite oolithique ; <i>Cyrtospirifer verneuili</i> .....	3,00 m	Fa1 - (13,10 m).	
Lacune d'observation .....	40,00 m	Schistes violacés comportant quelques niveaux plus calcareux .....	1,50 m
Fr - Schistes et calcaires nodulaires à nombreux Brachiopodes : <i>Athyris concentrica</i> , <i>Cyrtospirifer verneuili</i> , <i>Cam. ferquensis</i> , etc....	20,00 m	Schistes idem avec quelques minces plaquettes de calcaire à Crinoïdes, lingules, écailles de poissons, spirorbes, Lamellibranches et <i>Cam. dumonti</i> .....	2,20 m
7) HUY.		Une couche de minerai de fer oolithique ..	0,30 m
<i>Situation</i> : pour la partie supérieure de la coupe : rive droite de la Meuse en amont de Huy, le long de la route d'Andenne où la direction des couches varie d'Est en Ouest de N 18° W à N 64° W avec un pendage qui augmente progressivement vers l'Ouest de 21° à 32° p. S-W ; pour la partie inférieure de la coupe : paroi nord de la tranchée du chemin de fer au N-E de la gare de Huy qui a fait l'objet d'une analyse lithostratigraphique fouillée (Ancion et Van Leckwijck, 1956).		Schistes verdâtres passant vers le bas à des schistes lie-de-vin avec quelques minces niveaux de calcaire ; débris de Brachiopodes, articles de crinoïdes ; à l'extrême base, on note les premiers spécimens de <i>Cam. dumonti</i> ; un niveau très riche se situe 1,20 m plus haut .....	4,50 m
<i>Succession observée de haut en bas</i> :		Schistes gris à violacé à joints calcareux à petites lentilles dispersées de minerai de fer oolithique, nombreux fossiles et en particulier un niveau à <i>Pt. omalusi</i> abondante à 2 m de la base .....	3,40 m
Fa2e - (plus de 11 m)		Schiste gris à gris-bleu comportant quelques passées gréseuses centimétriques, nombreux Lamellibranches et quelques Brachiopodes .....	1,20 m
Grès rouge en bancs très épais : plus de	11,00 m	Fr - (plus de 17 m)	
Fa2d - (32 m)		Schiste très fissile peu fossilifère ; quelques débris de crinoïdes et de Lamellibranches ; comporte une lentille pouvant atteindre 0,60 m d'hématite oolithique ....	1,20 m
Grès versicolore à ciment dolomitique ....	2,00 m	Schistes lie-de-vin très fissiles encadrés par deux bancs de calcaire gris-bleu argileux ; dans les schistes, nombreux débris de <i>Cyrtospirifer verneuili</i> et <i>Cam. ferquensis</i> .....	1,10 m
Grès rouge en gros bancs de plusieurs m	30,00 m	Schiste très fissile à nombreux débris de fossiles <i>C. verneuili</i> de grande taille, <i>Cam. ferquensis</i> , <i>Athyris concentrica</i> .....	7,50 m
Fa2bc - (52,50 m)		Calcaire gris-bleu à grain fin à Brachiopodes .....	0,60 m
Grès rouge en petits bancs alternant avec des schistes gréseux rouges .....	12,00 m		

Schistes calcaireux comportant plusieurs niveaux de calcaire sableux .....	3,50 m
Schistes gris-clair pyriteux .....	2,10 m
Calcaire sableux et pyriteux .....	0,50 m
Schistes à nodules pyriteux .....	0,70 m
Calcschistes passant vers le bas à un calcaire dolomitique .....	0,50 m

## II. — LES LIMITES DU FAMENNIEN

1) *Limite supérieure.* Dans la coupe de Landelies, qui montre le passage du Famennien au Tournaisien, la limite entre les deux étages a été placée à la base des calcaires crinoïdiques à *Quasiendothyra kobeitusana* (Mamet, Mikhailoff et Mortelmans, 1970) du Tournaisien inférieur qui contrastent avec les sédiments arénopélitiques sous-jacents.

Un horizon à *Cam. letiensis* (forme 2) se localise à 1,50 m sous la limite précitée dont il est séparé par une série gréseuse dépourvue de macrofaune dont l'âge, actuellement indéterminé, pourrait éventuellement être précisé par une analyse de son contenu micropaléontologique. Il semble toutefois logique de la rapporter au Famennien dont elle couronne la sédimentation typiquement détritique.

2) *Limite inférieure.* Dans la coupe de Dave, la limite inférieure du Famennien est fixée d'une manière précise par la présence de *Cam. nux praenux* qui se localise, dans les régions classiques du bassin de Dinant, à l'extrême base de l'étage (Sartenaer, 1957).

A Naninne, les premières rhynchonelles famenniennes effectivement reconnues se situent à 8 m au-dessus des schistes frasniens calcaro-gréseux à *Cam. boloniensis*. Comme l'horizon fossilifère contient à la fois *Pt. omaliusi* et *Cam. cf. dumonti*, la limite inférieure de l'étage doit normalement se placer quelques m plus bas. Dans la coupe de Huy, la limite doit passer à l'intérieur d'une série schisteuse épaisse de 2,40 m séparant les pélites famenniennes à *Pt. omaliusi* au-dessus, des schistes frasniens à *Cam. ferquensis* en-dessous. Nous l'avons fixée arbitrairement, au toit de la lentille d'hématite oolithique enclavée dans des schistes très fissiles, pauvres en fossiles dont les caractères rappellent ceux de l'assise de Matagne (Fr3).

## III. — LE FAMENNIEN INFÉRIEUR

1) *Zonéographie.* Le Famennien inférieur, dont le sommet coïncide avec l'apparition des Rhynchonelles du groupe de la *Cam. letiensis*, se caractérise par deux zones fauniques superposées : une zone inférieure à *Ptychomaletoechia omaliusi* à laquelle succède une zone à *Camarotoechia dumonti*.

A Naninne, la zone inférieure atteint 7 m d'épaisseur, limitée au sommet par l'association *Pt. omaliusi* et *Cam. cf. dumonti*. Dans les autres coupes, l'hiatus entre les dernières *Pt. omaliusi* et les premières *Cam. dumonti* observables est de 7 m à Aisémont et 1,40 m à Huy.

L'épaisseur de la série marquée par *Cam. dumonti* atteint 1 m à Aisémont, 11 m à Naninne et 7 m à Huy.

Sous la zone à *Pt. omaliusi*, on observe parfois l'une ou l'autre des espèces caractéristiques des séries les plus inférieures du Famennien (Sartenaer, 1957a, 1957b, 1958, 1967, 1968a, 1968b) comme *Cam. nux praenux* dans la coupe de Dave.

2) *Faciès.* Le Famennien inférieur est surtout caractérisé par des schistes généralement violacés ou gris-verdâtre. Les grès micacés, beaucoup plus rares, se présentent en petites lentilles ou en bancs minces dont l'épaisseur dépasse rarement 5 à 10 cm. C'est au méridien de la Meuse (Dave, Naninne) et à la partie supérieure, que des grès blancs, grossiers, un peu plus fréquents, forment des bancs de 10 à 20 cm.

Dans les régions orientales (Jausse, Huy), on observe vers le sommet de la zone à *Cam. dumonti* quelques amas de 20 à 50 cm d'hématite oolithique.

L'élément carbonaté apparaît nettement subordonné, généralement engagé dans les calcschistes à Brachiopodes, plus rarement dans des calcaires argileux crinoïdiques dans la partie inférieure.

3) *Epaisseurs.* Dans toutes les coupes étudiées, le sous-étage inférieur du Famennien montre une faible puissance qui oscille entre un minimum de 13,10 m à Huy et un maximum de 22 m à Landelies et à Naninne.

#### IV. — LE FAMENNIEN SUPERIEUR

1) *Zonéographie*. Parmi les Rhynchonelles rapportées à *Cam. letiensis*, on peut reconnaître deux variétés distinctes par la taille et la forme : une espèce globuleuse de petite taille ou forme 2 et une espèce plus étalée et de plus grande taille ou forme 1. La forme 1 apparaît toujours plus précoce que la forme 2 conformément aux observations antérieures faites dans le bassin de Dinant (Beugnies, 1965). Les niveaux les plus élevés où sa présence a été constatée se localisent à 29,50 m (Landelies), 26,5 m (Naninne) et 44 m (Huy) au-dessus de la base du Famennien supérieur.

Les premiers représentants de la forme 2 se situent au niveau des grès à "ripple-marks" à 43 m (Malonne) et 78 m (Jausse) au-dessus de la base du Fa2. L'espèce se maintient ensuite jusqu'à l'extrême sommet du Famennien (Landelies).

2) *Facès*. Dans l'ensemble, le faciès arénacé prédomine largement : grès feldspathiques et micacés, blanchâtres, verdâtres ou rouges, grès à ciment argileux ou carbonaté, schistes gréseux. Dans la coupe de Landelies, la formation Fa2b, puissante d'une cinquantaine de m, est essentiellement constituée de grès en gros bancs recelant plusieurs horizons à Lamellibranches abondants et, dans la partie inférieure, quelques niveaux à "ripple-marks" et à stratifications entrecroisées.

Elle peut être comparée aux "Grès de Watissart" au bord nord du synclinorium de Dinant, dont elle possède les caractères faciologiques tout en occupant une position stratigraphique comparable (Beugnies, 1965). Vers l'Est, les "Grès de Watissart" se maintiennent jusqu'au méridien de Naninne avant de passer à une alternance aréno-pélimitique, reposant sur une semelle de grès à Lamellibranches et "ripple-marks". Plus haut dans la série, on identifie aisément, à Landelies, le faciès de "Souverain-Pré" (Fa2d), reconnaissable à ses calcaires sableux crinoïdiques et à ses nodules de calcaire spathique ; à l'E de la Meuse, il passe à des formations nettement moins carbonatées représentées par des grès à ciment calcaro-dolomitique à Jausse puis à des grès rouges couronnés par des dolomies arénacées à Huy.

A Landelies, dans la partie supérieure du Famennien, on observe une deuxième formation carbonatée, Fa2f, dont l'extension latérale est beaucoup plus réduite si l'on en juge par la coupe de Dave où la sédimentation offre un caractère essentiellement arénacé.

D'Ouest en Est, les variations de faciès du Fa2 se traduisent par la disparition progressive des carbonates au profit de sédiments nettement plus détritiques et gréseux. Elles peuvent s'expliquer par l'influence plus marquée, dans les parties orientales du bassin, de la proximité du rivage qui se manifeste encore par la présence de nombreux débris de végétaux et le large développement des teintes violacées et rouges des sédiments.

3) *Épaisseurs*. Beaucoup plus épais que le Fa1, le Fa2 atteint une puissance de 199,35 m à Landelies et de 206,80 m à Dave.

#### V. — COMPARAISON AVEC LE BORD NORD DU SYNCLINORIUM DE DINANT

Nous avons condensé dans le tableau ci-après, les données actuellement connues relatives aux puissances des séries famenniennes du bord nord du synclinorium de Dinant et du bord sud du synclinorium de Namur.

Série	Nord bassin de Dinant	Sud bassin de Namur
Fa2	Walcourt + de 442 m	Landelies 199,35 m
	Crupet 250 m	Dave 206,80 m
	Rivage (*) + de 500 m	
Fa1	Cousolre 73 m	Landelies 22,00 m
	Bousignies-sur-Roc + de 77 m	Dave 20,00 m
	Lustin 64 m	Naninne 22,00 m
	Crupet 77 m	Huy 13,10 m
	Gesves + de 73 m	
	Hony (*) 140 m	

(\*) D'après Bouckaert, Streeel et Thorez (1968).

*Épaisseurs comparées des séries famenniennes.*

Elles traduisent le caractère nettement plus subsident du bassin de Dinant où les séries sont systématiquement plus épaisses particulièrement pour le Famennien inférieur.

En ce qui concerne les faciès, la bordure septentrionale du bassin de Dinant se distingue encore du bassin de Namur par un plus large développement des sédiments pélitiques et carbonatés conséquence de l'éloignement du rivage. Toutefois, dans les régions plus occi-

dentales du bassin de Namur (Landelies), les faciès du Famennien témoignent d'une remarquable convergence avec ceux du bord nord du bassin de Dinant à tel point que des formations comme les "Grès de Watissart" ou le "Macigno de Souverain-Pré" y sont aisément identifiables.

#### BIBLIOGRAPHIE

- 1) ANCION C. et VANLECKWIJCK W. (1956). — A propos de la bordure septentrionale du synclinorium de Namur et de ses horizons d'oligiste oolithique : existence d'une lacune stratigraphique entre Frasnien et Tournaisien à l'est de la bande silurienne de Landenne-sur-Meuse. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 79, mém. 3-39.
- 2) BEUGNIES A. (1965). — Contribution à l'étude du Famennien du bord nord du Bassin de Dinant. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 88, 411-450.
- 3) BOUCKAERT J., STREEL M. et THOREZ J. (1968). — Schéma biostratigraphique et coupes de référence du Famennien belge. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 91, 317-336.
- 4) BETHUNE P. (de) (1950). — Sur l'allure du Famennien à Landelies. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 73, 195-197.
- 5) MAMET B., MIKHAILOFF N. et MORTELMANS G. (1970). — La stratigraphie du Tournaisien et du Viséen inférieur de Landelies. Comparaison avec les coupes du Tournaisien et du bord nord du Synclinal de Namur. *Mém. Soc. belge Géol.*, 9.
- 6) SARTENAER P. (1957). — Esquisse d'une division stratigraphique nouvelle des dépôts du Famennien inférieur du Bassin de Dinant. *Bull. Soc. belge Géol.*, 65, 421-446.
- 7) SARTENAER P. (1957a). — De l'importance stratigraphique des Rhynchonelles famenniennes situées sous la zone à *Camarotoechia omaliosi*. Première note : *Camarotoechia lentiformis*. *Bull. Inst. R. Sc. Nat. Belg.*, 33, 1.
- 8) SARTENAER P. (1957b). — De l'importance stratigraphique des Rhynchonelles famenniennes situées sous la zone à *Camarotoechia omaliosi*. Deuxième note : le groupe de la *Camarotoechia triaequalis*. *Bull. Inst. R. Sc. Nat. Belg.*, 33, 20.
- 9) SARTENAER P. (1958). — De l'importance stratigraphique des Rhynchonelles famenniennes situées sous la zone à *Camarotoechia omaliosi*. Troisième note : le groupe de la *Camarotoechia nux.* *Bull. Inst. R. Sc. Nat. Belg.*, 34, 23.
- 10) SARTENAER P. (1967). — De l'importance stratigraphique des Rhynchonelles famenniennes situées sous la zone à *Ptychomalettoechia omaliosi*. Quatrième note : *Tenuisinurostrum* n. gen. *Bull. Inst. R. Sc. Nat. Belg.*, 43, 42.
- 11) SARTENAER P. (1968). — De l'importance stratigraphique des Rhynchonelles famenniennes situées sous la zone à *Ptychomalettoechia omaliosi*. Cinquième note : *Paromocopygma* n. gen. *Bull. Inst. R. Sc. Nat. Belg.*, 44, 42.
- 12) SARTENAER P. (1968b). — De l'importance stratigraphique des Rhynchonelles famenniennes situées sous la zone à *Ptychomalettoechia omaliosi*. Sixième note : *Pampecilorhynchus* n. gen. *Bull. Inst. R. Sc. Nat. Belg.*, 44, 43.



## Les Bivalves carnien d'Atalanti (Locride, Grèce)

par Geneviève TERMIER (\*) et Jean-Jacques VERRIEZ (\*\*)

(Planches XVIII et XIX)

**Sommaire.** — Le gisement du Sud d'Atalanti a fourni une faune de Myophoriidés d'âge Carnien inférieur. Il s'agit essentiellement d'un ensemble mutant, en écologie lagunaire, que nous rapportons à une seule espèce, *Atalantia trigonioides* nov. gen. nov. sp., qui oscille entre une forme *Schizodus*, une forme voisine de *Myophoria kefersteini*, la charnière étant de type *Heminajas*, avec de nettes tendances vers *Trigonia*, en particulier la musculature pédieuse. Un Dicerocardiidé de petite taille, *Carinocardia atalantiensis* nov. gen. nov. sp., complète la faune.

**Summary.** — The layer South from Atalanti has provided a Myophoriidae fauna of Lower Carnian age. It consists essentially in a mutating group, of lagoonal ecology, which we consider as belonging to one species, *Atalantia trigonioides* nov. gen. nov. sp., oscillating between a *Schizodus* form and a form neighbouring to *Myophoria kefersteini*, with a *Heminajas* type hinge, clearly tending to *trigonia*, particularly with regard to the podial musculature. A Dicerocardiidae of small size, *Carinocardia atalantiensis* nov. gen. nov. sp. completes the fauna.

### I. — INTRODUCTION STRATIGRAPHIQUE (J.J. V.)

Au Sud d'Atalanti (Locride, Grèce), affleure une épaisse série de terrains effusifs attribuée au Permo-Carbonifère par Maratos (1965). Il s'agit d'un volcanisme aérien comportant des laves de nature spilitique, très abondantes, qui alternent avec des niveaux de pyroclastites (fig. 1).

Ces formations sont recouvertes au Sud et à l'Ouest par les dolomies blanches du Trias Supérieur. Le contact est généralement tecto-

nique, les dolomies reposent alors directement sur les spilites. Toutefois, à l'extrémité orientale du massif, à l'E d'Ayos Ioannis (F, fig. 1), le contact est stratigraphique, les formations mésozoïques sont transgressives sur les terrains effusifs et l'on observe alors les termes de passage entre laves et dolomies.

On y distingue, du bas vers le haut :

- La série éruptive se terminant par des spilites violettes.
- Un épais poudingue à galets roulés de laves qui marque la destruction de l'édifice volcanique.
- Une série détritique fine qui montre des variations latérales très rapides mais garde toujours un caractère schisto-gréseux. Quelques bancs peu épais de microconglomérats s'y intercalent parfois. Cette série est puissante d'une dizaine de mètres. C'est à la partie supérieure de celle-ci, à l'extrémité orientale du massif ancien, que l'un de nous (J.J. V.) a recueilli une collection de Bivalves à test épais dans une gangue

(\*) Laboratoire de Géologie Structurale, Université de Paris VI, 4, Place Jussieu, Paris 5<sup>e</sup>.

(\*\*) Laboratoire de Géologie Dynamique, U.E.R. Sciences de la Terre, Lille.

Note déposée le 5 Juin 1973.

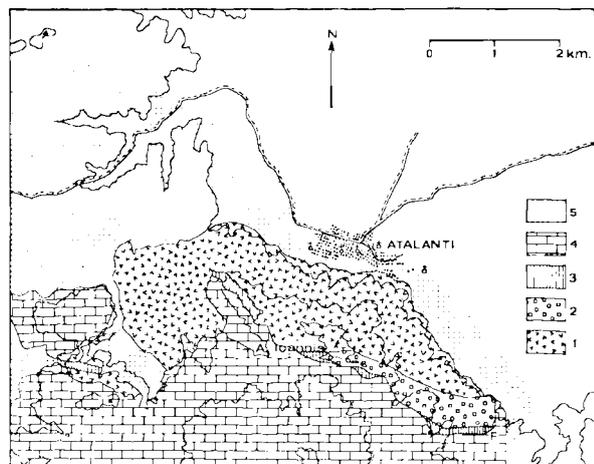


Fig. 1. — Carte géologique succincte de la région d'Atalanti, situation du gisement fossilifère.

1, Terrains effusifs. — 2, Poudingue. — 3, Schistes et Calcaires noirs. — 4, Trias dolomitique. — 5, Néogène et alluvions récentes.  
F: Gisement fossilifère.

dénotant un milieu saumâtre (\*). Les coquilles ont, en général, assez bien conservé leur forme, mais la charnière est rarement facile à dégager.

— Des calcaires noirs lenticulaires qui passent progressivement aux dolomies blanches saccharoïdes et rubanées du Trias supérieur.

Albandakis (1968) a cité et rapporté au Carnien inférieur une faune qui semble appartenir au même niveau que la coupe d'Atalanti. Parmi les espèces citées, *Heminajas woehrmansi* Waagen, *Myophoria kefersteini lombardica* Waagen, *Myophoria kefersteini gornensis* Varisco in Parona et *Myophoricardium* sp. semblent correspondre aux divers éléments de la population décrite ci-dessous.

La découverte de ces Bivalves nous permet d'attribuer au Carnien inférieur la transgression marine sur le stratovolcan ancien d'Atalanti. Cette transgression fut lente avec développement d'un système de lagunes, fait que soulignent à la fois la variabilité des formes des coquilles recueillies et l'aspect lenticulaire de la série détritrique fine et des calcaires noirs.

(\*) Calcaire dolomitique à passées ferrugineuses et siliceuses, renfermant des fragments noirs de plantes, d'os (phosphate), ainsi que des débris de coquilles et même de Crinoïdes.

## II. — ETUDE PALEONTOLOGIQUE (G. T.)

La population récoltée à Atalanti peut être considérée comme appartenant à un ensemble de Myophoriidés à leur apogée. Sa variabilité n'empêche pas d'y reconnaître toujours un air de famille. Cette variabilité, sans doute conditionnée par un milieu très changeant, lagunaire, semble d'ailleurs dans le sens des modalités évolutives des Myophoriidés. Ainsi, Mac Alester (1963) a figuré une série d'*Eoschizodus* ? *chemungensis* (Conrad) du Dévonien supérieur des U.S.A. (Missouri) et signale à ce propos « a wide original range of phenotypic shape variation..., the result being an unusually great range of shape variation in the specimens. The variation is continuous, however, with all intermediates between extremely upright and extremely elongated specimens... It is probable, therefore, that the material represents a single species... »

Il est intéressant de rappeler que de fortes variations (4 variétés) ont été notées chez *Myophoria kefersteini* (Münster) du Carnien des Alpes du Sud (Fantini-Sestini, 1966). Cette espèce est d'ailleurs signalée par Albandakis. Ces formes, plus ou moins transverses, à crochets plus ou moins antérieurs, sont pourvues de 0 à 2 carènes accessoires en avant de la carène principale.

En dépit des variations de formes observées, les divers échantillons recueillis à Atalanti ne représentent probablement qu'une seule espèce que nous nommerons *Atalantia trigonioides* (nov. gen., nov. sp.). Un exemplaire unique a, d'autre part, été rattaché aux Dicérocardiidae : *Carinocardia atalantiensis* (nov. gen., nov. sp.).

### PALAEOHETERODONTES TRIGONIOIDES

MYOPHORIIDAE Bronn, 1849

Genre *ATALANTIA* nov. gen.

Type *ATALANTIA TRIGONIOIDES*  
nov. gen., nov. sp.

(Pl. XVIII, fig. 1-6 ; Pl. XIX, fig. 1-5)

L'aspect extérieur de certaines des coquilles d'Atalanti rappelle le Pachycardiidé *Trigonodus* ;

cependant, une étude attentive du moule interne prouve que le crochet est opisthogyre, signe d'un degré déjà élevé dans l'évolution des *Trigoniacea*. On doit noter aussi la présence, dans plusieurs exemplaires, d'un écusson déjà bien délimité et portant une ornementation particulière.

Certains spécimens offrent une région antérieure développée comme chez les *Myophoriidés*, tandis que chez d'autres, cette même région est raccourcie comme chez les *Trigoniidés* (Pl. XIX, fig. 5).

On verra, d'après les mesures ci-dessous, la faible variation de certains rapports, en particulier  $d/l$  (où  $d$  est la distance du crochet à la pointe arrière de la coquille et  $l$ , la largeur totale de celle-ci qui varie de 0,392 à 0,872).

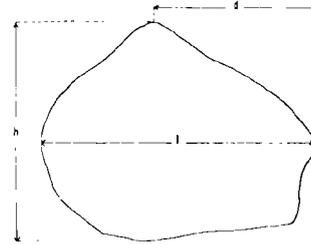


Fig. 2. — Schéma indiquant les significations des mensurations d'*Atalantia*.

On notera cependant, l'existence de formes plus ou moins transverses par la modification du rapport  $h/l$  (hauteur sur largeur), qui varie de 0,695 à 1,045.

ECHANTILLONS	Largeur $l$	Hauteur $h$	Distance du crochet à l'arrière $d$	$d/l$	$h/l$
1	17,80	17,40	10,60	0,595	0,977
2 incomplet	24,60	22,60	13,85	0,563	0,918
3	26,00	21,50	15,30	0,588	0,826
4 (XVIII, 5) moule interne prosoogyre	26,40	18,35	19,10	0,723	0,695
5	28,00	21,60 incomplet	16,30 environ	0,582	0,771
6 (XIX, 4)	28,50	29,80	11,19	0,392	1,045
7 (XVIII, 1-3)	29,00	28,50	18,80	0,648	0,982
8 (XVIII, 4) moule interne	31,60	23,90	18,60	0,588	0,756
9 (XIX, 5)	53,80	52,50	30,40	0,565	0,966
10 ex. bivalve	53,90	55,70	35,20	0,634	1,033
11 incomplet	55,80	47,90	35,80	0,641	0,858
12 (XIX, 1)	61,80	49,00	37,50	0,606	0,792
13 (XVIII, 6) moule interne, type	63,60	57,70	55,50	0,872	0,907
14 (XIX, 2-3)	63,70	48,35	34,80	0,546	0,759
15	66,20	53,50	45,50	0,687	0,808

D'une valve gauche (Pl. XVIII, fig. 6), nous avons pu faire sauter la majeure partie du test, lequel dépasse 7 mm d'épaisseur en certains points.

Cela a permis de mettre en évidence les caractères du moule interne de la région postérieure et moyenne, c'est-à-dire d'approcher la connaissance des parties molles. Ce moule interne est caractérisé par le remplissage calcaire du crochet nettement opisthogyre et par la différenciation de l'aire postérieure correspondant à l'écusson et délimitée par une carène bien visible. On y distingue la puissante empreinte de l'adducteur postérieur, coupée dorsalement par une crête. Cet ensemble musculaire occupe la moitié dorsale de l'écusson ; la partie ventrale est parcourue par la branche de l'impression palléale (intégripalliée) qui, ici se trouve en relief.

D'une valve droite de petite taille (Pl. XVIII, fig. 4), probablement un jeune, l'ablation de la partie antérieure et moyenne du test met en évidence l'adducteur antérieur, situé très près du bord dorsal et recoupé par le bourrelet de l'impression palléale au niveau du protracteur du pied. La partie visible du remplissage de la cavité umbonale se montre légèrement sillonnée par une sorte de vallée. Enfin, les granulations alignées sur des côtes radiaires représentent certainement l'insertion des muscles palléaux radiaires qu'on n'observe pas chez les exemplaires de grande taille. De tels alignements ont été signalés chez les Chamidés et les Lucinidés, dont l'adducteur antérieur a une forme bien différente.

Sur une valve gauche (Pl. XIX, fig. 2) dont le test est assez bien conservé, le crochet est submédian et la forme presque équilatérale. Une forte carène partant du crochet délimite l'écusson, lequel est orné, outre les lamelles d'accroissement, de deux plis médians dont l'un est plus fort. Une faible lunule est à peine indiquée. Vu du côté de la charnière, le crochet est assez haut (6,7 mm) et nettement opisthogyre. La charnière a pu être dégagée en partie : on y reconnaît la dent triangulaire médiane, sillonnée en son milieu, et la dent antérieure puissante, bien isolée ; la dent postérieure n'est pas distincte. Dans l'ensemble, c'est une charnière de Myophoriidé, assez comparable à celle du genre *Heminajas* (Neumayr, 1891) du Trias autrichien.

Un exemplaire très voisin du précédent est incomplet dans sa partie postérieure. Sa partie antérieure est développée mais moins étalée.

Deux valves, l'une droite (Pl. XVIII, fig. 5), l'autre gauche, se distinguent du précédent par leur crochet situé plus en avant.

Un exemplaire bivalve (Pl. XIX, fig. 5) est le plus haut, pratiquement aussi haut que large (rapport h/l voisin de 1). Sa forme est proche de celle d'un Trigoniidé, avec une carène très développée délimitant un écusson presque plan. Le bord antérieur est peu saillant.

Les individus de petite taille semblent se partager entre des formes tout à fait semblables au type "*Schizodus*" par leurs dimensions et surtout des formes aussi hautes que larges de type "*Myophoria*" (Pl. XIX, fig. 4).

Ces dernières méritent une étude spéciale. Le crochet, soit orthogyre, soit opisthogyre, est semblable à celui des types *Schizodus*. De lui partent trois carènes, la principale délimitant l'écusson, l'autre qui divise celui-ci en deux parties, la troisième qui délimite un sillon dont le bord opposé est la carène principale.

Le dégagement du moule interne (Pl. XVIII, fig. 1-3) permet d'observer, sous l'écusson, l'adducteur postérieur de forme comparable à celle qu'il possède dans *Schizodus*, mais son insertion est très profonde et partagée en deux parties par une crête en relief. A peu de distance, mais contre le bord postéro-dorsal de la coquille, se trouve une autre insertion musculaire, celle du rétracteur postérieur du pied. La ligne palléale intégripalliée aboutit à l'insertion de l'adducteur postérieur puis suit son bord antérieur jusqu'au crochet. A l'avant, l'adducteur antérieur est visible, plus grand que l'adducteur postérieur : la ligne palléale y aboutit également. Enfin, on note des alignements radiaires de petites insertions musculaires correspondant aux muscles palléaux. Un moule interne d'une coquille beaucoup plus transverse (Pl. XVIII, fig. 5), probablement déformée, permet d'observer de façon plus précise l'insertion de l'adducteur antérieur, jumelée à un rétracteur antérieur du pied (dorsal). Le protracteur du pied, situé à la jonction de l'adducteur antérieur et de la ligne palléale, est peu distinct.

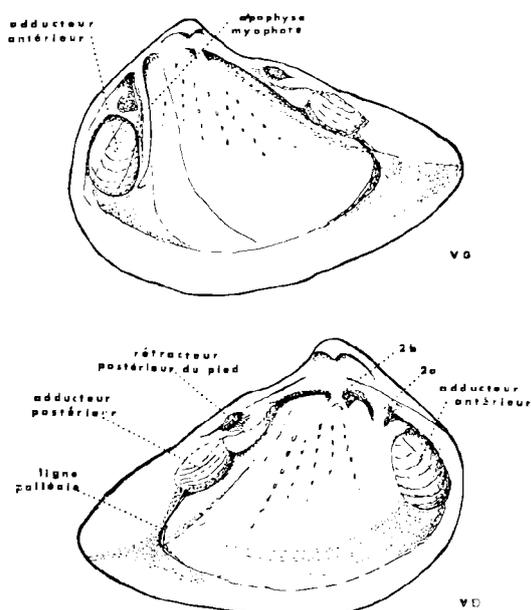


Fig. 3. — Essai de reconstitution des caractères internes d'*Atalantia*.

Ces moules internes permettent de mettre en évidence les caractères de la charnière, en particulier la présence d'une longue dent s'insérant entre la cavité umbonale et l'adducteur antérieur de la valve droite.

C'est l'équivalent de la dent I des Trigonies, et de la lame myophore caractéristique d'un certain nombre de Myophoriidés (*Neoschizodus*, *Myophoria*, *Liotrignia* et *Schizodus*). Nous n'avons pu distinguer si cette dent est bifide comme chez *Myophoria*. Il ne semble pas y avoir de dent postérieure comparable à 3b (= 3b + P1) de *Trignia*; l'insertion du rétracteur pédieux postérieur est cependant dans des rapports analogues à ceux qu'on peut constater chez *Neotrignia* actuel. A la valve gauche, nous avons observé une dent antérieure bien marquée, équivalente de 2a des Trigonies, se présentant ici comme chez *Heminajas*, c'est-à-dire petite et lisse.

### III. — CONCLUSION

*Atalantia trigonioides* est un Myophorié voisin de l'espèce *Okunominetania okunominetaniensis* (Ichikawa) du Trias terminal du Japon.

Son pouvoir mutationnel est considérable, cependant, les dimensions des exemplaires grecs sont beaucoup plus grandes.

Il semble toutefois que les éléments de charnières que nous avons pu mettre en évidence soient plutôt comparables à *Heminajas*. Ces caractères indiquent une tendance incontestable vers les Trigoniidés, que l'on a signalés à partir du Trias moyen. Les dimensions atteintes par ces exemplaires sont d'ailleurs plus proches des Trigoniidés que des Myophoriidés.

Malgré les variations du rapport h/l et du nombre des carènes, il ne semble pas possible de distinguer des genres, ni même des espèces dans cette population. Les formes dont le rapport h/l avoisine 1 ressemblent à des Trigonies quand elles sont grandes, à *Myophoria kefersteini* quand elles sont petites. De toute façon, leur ornementation est plus lisse qu'elle n'est en général dans ces deux groupes.

Mais la présence d'un écusson et de quelques carènes est assez différente de l'ornementation tout à fait lisse des "*Schizodus*".

La constance des caractères internes prouve l'unicité de la population.

Ils montrent une musculature de type Trignie, suggérant que ces formes anciennes en avaient le fonctionnement: les empreintes de muscles pédieux puissants soulignant l'importance du pied, lequel était donc probablement déjà locomoteur et peut-être sauteur.

## HETERODONTES VENEROIDES

### DICEROCARDIIDAE Kutassy, 1934

#### Genre *CARINOCARDIA* nov. gen.

#### type *CARINOCARDIA ATALANTIENSIS*

nov. gen., nov. sp.

(Pl. XIX, fig. 6-7)

C'est une coquille très haute et à grand crochet spiralé, dont l'aspect général n'est pas sans rappeler certains Mégalodontes.

La valve gauche possède une grande carène aboutissant à un angle. Le crochet, spiralé lui-même, est prosogyre. La charnière n'a pu être dégagée complètement, mis à part une rainure

ligamentaire pouvant être considérée comme dorsale, ainsi qu'une fossette postérieure et une fossette médiane.

Ces caractères sont proches des Dicérocardiidés. La carène, dirigée vers le bord anté-ventral, n'a guère de correspondant que chez *Dicerocardium* Stoppani, 1865 (Norien-Rhétien du faciès alpin). Le crochet spiralé, la forme

élevée et le type de charnière ressemblent davantage à *Cornucardia* Koken, 1913 (Trias supérieur du faciès alpin) qui ne possède pas de carène.

Notons que la place des Dicérocardiidés est en général dans les faciès dolomitiques sub-récifaux ou récifaux où se trouvent les Mégalodontidés.

#### BIBLIOGRAPHIE

- 1) ALBANDAKIS N. (1968). — Nuovi dati. Stratigrafici su la regione di Locrida (Grecia). *Boll. Soc. Geol. Ital.*, 87, p. 733-741.
- 2) FANTINI-SESTINI N. (1966). — Il Trias in Lombardia. XIX. Studio biometrico di *Myophoria kefersteini* (Münster). *Riv. Ital. Pal.*, 72, (4), p. 1023-1082.
- 3) GOULD St.J. (1969). — The byssus of Trigonian clams : phylogenetic vestige or functional organ? *Journ. of Pal.*, 43, (5), p. 1125-1129.
- 4) ICHIKAWA K. (1954). — Late Triassic Pelecypods from the Kochigatani group in the Sakuradani and Kito areas, Tokushima Prefecture, Shikoku, Japan. Part. II. *Journ. Inst. Pal. Osaka Univ.*, G, 2, p. 53-74.
- 5) Mac ALESTER A.L. (1963). — Pelecypods of the Snyder Creek Shale. *Journ. of Pal.*, 37, (5), p. 981-999.
- 6) MOORE R.C. (1969). — Treatise on Invertebrate Paleontology, N 1-2, Mollusca 6 Bivalvia.
- 7) RENZ C. (1955). — Stratigraphie Griechenland, p. 601.
- 8) SCHINDEWOLF O. (1954). — Über die Faunenwende von Paläozoikum zum Mesozoikum. *Geol. Ges.*, 105, p. 154-183.
- 9) VERRIEZ J.J. (1971). — Contribution à l'étude stratigraphique et pétrographique du complexe volcanique de Roda (Locride, Grèce). *D.E.A., Lille, Laboratoire de Géologie Dynamique.*
- 10) WOHRMANN S.F. von (1893). — Ueber die systematische Stellung der Trigoniden und die Abstammung der Nayaden. *Jahrb. k. K. Geol. Reichs.*, Wien, 43, p. 1-28.

#### EXPLICATION DES PLANCHES

##### Planche XVIII

*Atalantia trigonioides* nov. gen. nov. sp.

Fig. 1-3. — Exemplaire jeune, de petite taille. Gr. = 2,1.

1. - Côté droit, montrant la valve droite, et son ornementation de faibles stries concentriques, ainsi que, en arrière, à gauche de la figure, l'écusson limité par un pli.

2. - Côté droit, après ablation de la valve droite, montrant le moule interne, portant les alignements radiaires de muscles palléaux et, sous l'écusson, l'empreinte de l'adducteur postérieur, suivie près du bord postérieur de la coquille (au centre) par le rétracteur postérieur du pied. Vers l'avant, au-dessous et à droite du crochet, est visible (en blanc) l'apophyse myophore prolongeant la dent I.

3. - Vue postérieure montrant le moule interne sous l'écusson avec la saillie de l'adducteur postérieur coupé par une crête en forme de croissant.

Fig. 4. — Autre exemplaire jeune (Gr. = 1,9) montrant bien, après ablation de la valve droite, les cicatrices alignées radialement des muscles palléaux.

Fig. 5. — Autre exemplaire jeune. Gr. = 4,9. Moulis interne sur lequel sont particulièrement visibles la région antérieure avec l'apophyse myophore prolongeant la dent I et l'empreinte de l'adducteur antérieur.

Fig. 6. — Exemplaire de grande taille débarrassé de la partie postérieure de la valve gauche. Gr. = 1,6. On y observe bien l'empreinte de l'adducteur postérieur, coupé par une crête en forme de croissant comme celui de la figure 3. Type du genre et de l'espèce.

##### Planche XIX

*Atalantia trigonioides* nov. gen. nov. sp.

Fig. 1. — Exemplaire schizodontiforme, valve gauche. Gr. = 1,5.

Fig. 2-3. — Autre exemplaire schizodontiforme, valve gauche. Gr. = 1,4.

2. - Vue sur toute sa largeur, montrant bien l'écusson postérieur.

3. - Vue postérieure montrant l'écusson, avec sa crête sub-médiane.

Fig. 4. — Exemplaire myophoriforme [cf. *Myophoria kefersteini* (Münster)], valve gauche (Gr. = 1,9), montrant entre autres le caractère dégagé de la carène limitant l'écusson.

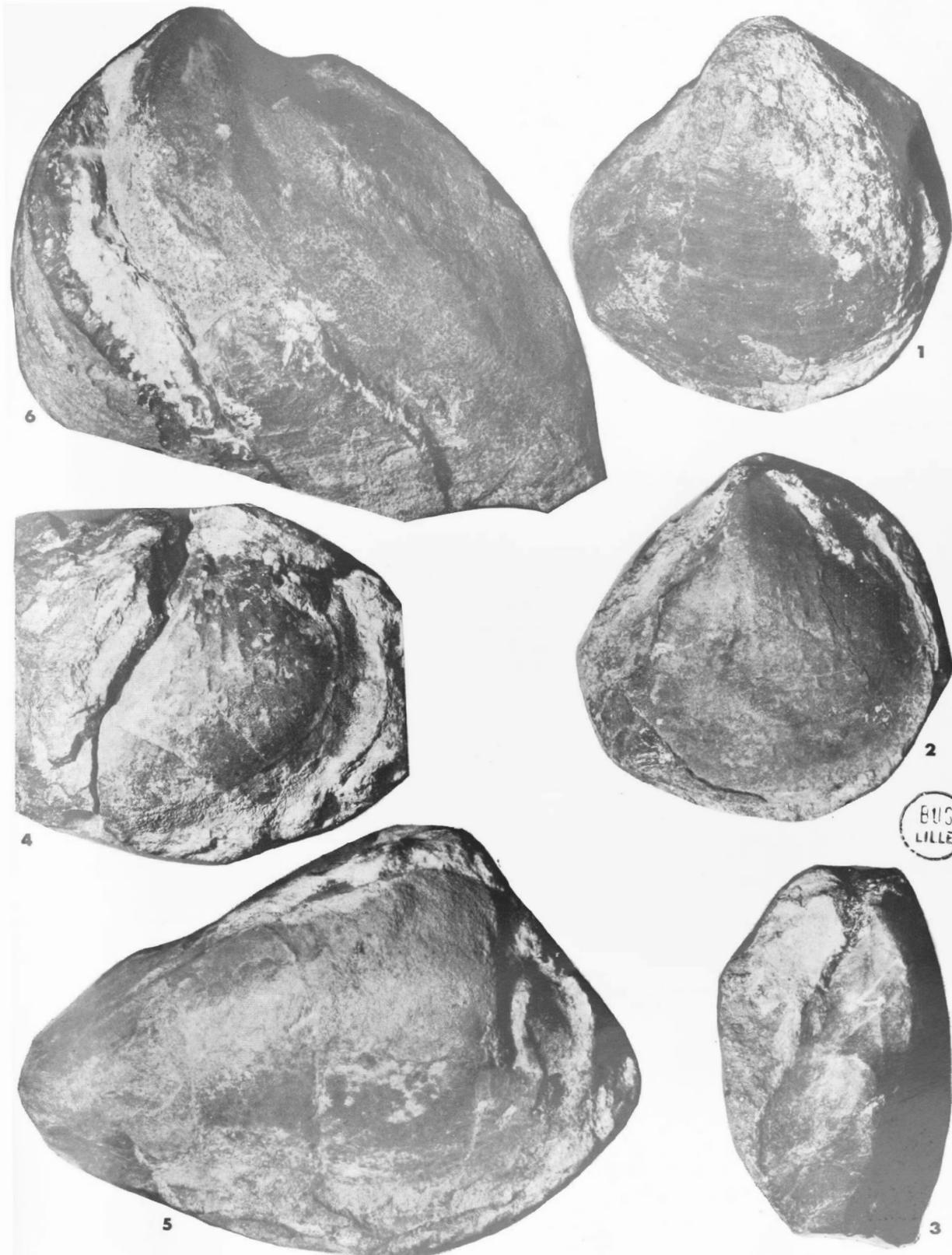
Fig. 5. — Exemplaire trigoniiforme (bivalve), valve gauche. Gr. = 1,5.

*Carinocardia atalantiensis* nov. gen. nov. sp.

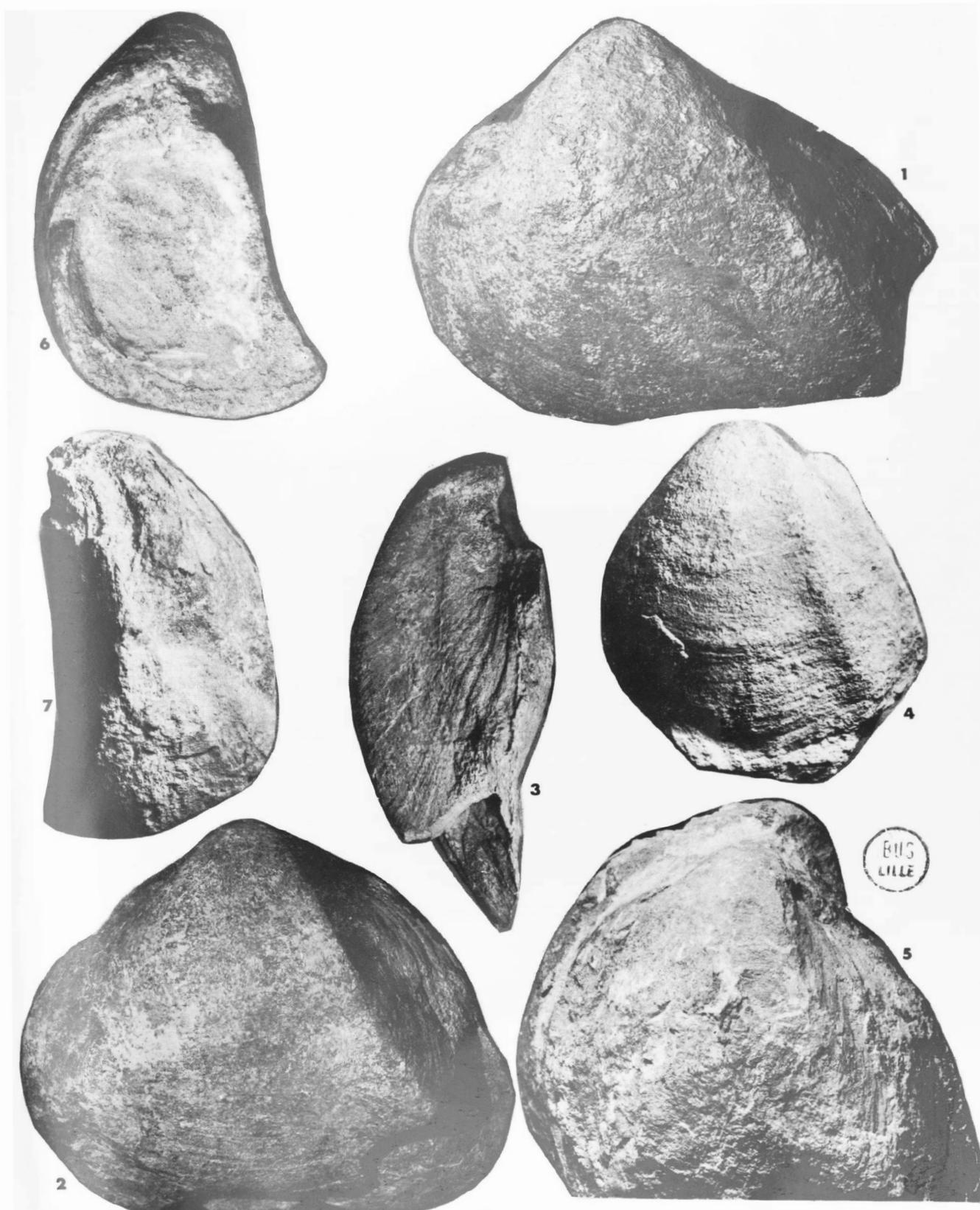
Fig. 6-7. — Valve droite. Gr. = 2.

6. - Vue du côté interne.

7. - Vue du côté externe.









Errata sur l'article intitulé dans le premier fascicule :

**Sur des “Combophyllum” (Tétracoralliaires)  
du Dévonien de Montalbán (Province de Teruel, Espagne)**

par Philippe MARIN et Yves PLUSQUELLEC

Dans ce titre (page 39), lire : Sur des *Combophyllum* (Tétracoralliaires)... au lieu de : Sur des “Combophyllum” (Tétracoralliaires)...

D'autre part, sur la figure 2 (page 41) l'astérisque \* porté en regard du niveau 3 de la coupe correspond au numéro 6 de la légende de cette figure (6 : niveau à *Combophyllum* cf. *leonense* Milne-Edwards & Haime et *Combophyllum ibericum* nov. sp.).



**EDITIONS DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

15, Quai Anatole-France — 75700 PARIS

C. C. P. PARIS 9061-11

Tél. : 555.26.70

---

COMITE FRANÇAIS DE STRATIGRAPHIE

---

**LES STRATOTYPES FRANÇAIS**

Volume II

**CONTRIBUTION  
A L'ÉTUDE DU SÉNONIEN  
EN AQUITAINE SEPTENTRIONALE**

**SES STRATOTYPES :  
CONIACIEN — SANTONIEN — CAMPANIEN**

par

Micheline SERONIE-VIVIEN

---

Ouvrage 21 x 27 - 196 pages - 3 tableaux dont 1 dépliant  
17 planches et 50 figures in-texte

**PRIX : 59,90 F.**

# Colloque sur les méthodes et tendances de la stratigraphie

ORSAY, Septembre 1970

MEMOIRE DU B.R.G.M., 2 volumes, 1050 pages

Prix de vente en France : **248,80 F.**

---

Ce colloque est dû à l'initiative du Comité Français de Stratigraphie. En constatant l'existence de profondes disparités dans les méthodes d'évaluation des temps géologiques, dans l'établissement des coupures stratigraphiques et dans l'utilisation des critères de corrélations lors des divers congrès de stratigraphie, le Comité a préconisé l'organisation d'une confrontation sur les méthodes et tendances nouvelles de la stratigraphie.

La nouveauté et l'opportunité de ce colloque ont été confirmées par le lancement récent, sous l'égide de l'UNESCO et de l'Union internationale des Sciences géologiques, du programme international de corrélations géologiques. Par cet ouvrage, la France a sans doute été le premier pays à apporter sa contribution à ce programme.

L'ensemble des articles (97 communications) peut être schématiquement divisé en deux :

- les méthodes biostratigraphiques basées sur l'évolution d'organismes vivants,
- les méthodes lithostratigraphiques, au sens large, qui reposent plus particulièrement sur certaines propriétés de quelques minéraux ou sur différents phénomènes de sédimentation.

Pour chaque chapitre, pour chaque méthode, un animateur présente une synthèse des travaux exposés.

Cet ouvrage fait ressortir le constant élargissement de la gamme des méthodes qui servent à bâtir la stratigraphie et l'effacement des barrières entre les spécialistes des différentes méthodes.

## MEMOIRES DE LA SOCIETE GEOLOGIQUE DU NORD

<b>Tome I :</b>	
Mémoire N° 1. - Ch. BARROIS, <i>Recherches sur le terrain crétacé de l'Angleterre et de l'Irlande</i> , 1876, 232 p. ....	200,00 F.
Mémoire N° 2. - P. FRAZER, <i>Géologie de la partie Sud-Est de la Pensylvanie</i> , 1882, 178 p. ....	150,00 F.
Mémoire N° 3. - R. ZEILLER, <i>Mémoire sur la flore houillère des Asturies</i> , 1882, 24 p. ....	20,00 F.
<b>Tome II.</b> — Ch. BARROIS, <i>Recherches sur les terrains anciens des Asturies et de la Galice</i> , 1882 ....	épuisé
<b>Tome III.</b> — Ch. BARROIS, <i>Faune du Calcaire d'Erbray</i> , 1889 .....	épuisé
<b>Tome IV :</b>	
Mémoire N° 1. - J. GOSSELET, <i>Etude sur les variations du Spirifer Verneuilli</i> , 1894, 63 p., 7 pl. ....	50,00 F.
Mémoire N° 2. - L. CAYEUX, <i>Contribution à l'étude micrographique des terrains sédimentaires</i> , 590 p., 10 pl. ....	épuisé
<b>Tome V.</b> — M. LERICHE, <i>Contribution à l'étude des Poissons fossiles du Nord de la France et des régions voisines</i> , 1906 .....	épuisé
<b>Tome VI :</b>	
Mémoire N° 1. - P. BERTRAND, <i>Etude du stipe de l'Adelophyton jutieri</i> B. Renault, 1907, 38 p., 4 pl. ....	50,00 F.
Mémoire N° 2. - J. GOSSELET, Ch. BARROIS, M. LERICHE, A. CREPIN, P. PRUVOST, G. DUBOIS, <i>Description de la faune siluro-dévonienne de Liévin</i> , 1912-1920. Fascicule 1 .....	épuisé
Fascicule 2, 230 p., 17 pl. ....	200,00 F.
Mémoire N° 3. - V. COMMONT, <i>Saint-Acheul et Montières : Notes de Géologie, de Paléontologie et de Préhistoire</i> , 1909, 68 p., 3 pl. ....	100,00 F.
<b>Tome VII :</b>	
Mémoire N° 1. - P. BERTRAND, <i>Etude des Stipes d'Asterochloena laxa</i> Stenzel, 1911, 72 p., 6 pl. ....	60,00 F.
Mémoire N° 2. - A. CARPENTIER, <i>Contribution à l'étude du Carbonifère du Nord de la France</i> , 1913 .....	épuisé
<b>Tome VIII :</b>	
Mémoire N° 1. - G. DUBOIS, <i>Recherches sur les terrains quaternaires du Nord de la France</i> , 1923 .....	épuisé
Mémoire N° 2. - Ed. IEROUX, <i>Le tunnel de l'Ave Maria. Observations géologiques et hydrologiques sur le plateau et la falaise au Sud de Boulogne-sur-Mer</i> , 1929, 50 p., 5 pl. ....	70,00 F.
<b>Tome IX :</b>	
Mémoire N° 1. - G. DUBAR, <i>Etude sur le Lias des Pyrénées françaises</i> , 1925, 332 p., 7 pl. ....	250,00 F.
Mémoire N° 2. - Dom Grégoire FOURNIER et P. PRUVOST, <i>Description des poissons élasmobranchés du marbre noir de Dénéé</i> , 1926, 23 p., 6 pl. ....	60,00 F.
<b>Tome X :</b>	
Mémoire N° 1. - A. CARPENTIER, <i>La flore wealdienne de Féron-Glageon (Nord)</i> , 1927 .....	épuisé
Mémoire N° 2. - J.W. LAVERDIERE, <i>Contribution à l'étude des terrains paléozoïques des Pyrénées occidentales</i> , 1931, 132 p., 8 pl. ....	100,00 F.
<b>Tome XI.</b> — A. DUPARQUE, <i>Structure microscopique des charbons du Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais</i> , 1934 .....	épuisé
<b>Tome XII.</b> — D. LEMAITRE, <i>Etude sur la Faune des Calcaires dévoniens du Bassin d'Ancenis</i> , 1934, 268 p., 18 pl. ....	200,00 F.
<b>Tome XIII.</b> — P. BRICHE, P. DANZE-CORSIN et J.P. LAVEINE, <i>Flore infraliasique du Boulonnais (Macro- et Microflore)</i> , 1963, 145 p., 11 pl. ....	150,00 F.
<b>Tome XIV.</b> — G. WATERLOT, <i>Les Gigantotrachés du Siluro-Dévonien de Liévin</i> , 1966, 23 p., 5 pl. ....	52,00 F.

## ESQUISSE GEOLOGIQUE DU NORD DE LA FRANCE

par J. GOSSELET

Fascicule I (Terrains primaires), Fascicule II (Terrains secondaires), Fascicule III (Terrains tertiaires) ....	épuisés
Fascicule IV (Terrains quaternaires) .....	16,00 F.
<i>Carte géologique du Département du Nord au 1/320 000<sup>e</sup></i> (par J. GOSSELET, M. LERICHE, H. DOUXAMI) .....	26,00 F.
<i>Ecorché géologique infra-mésozoïque</i> (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.) .....	25,00 F.

## SERIE DOCUMENTATION (Pochettes de 6 Diapositives avec notice)

Série I. — Paysages du Nord de la France au cours des temps géologiques .....	20,00 F.
Série II. — Aperçu sur les microfaciès de la craie .....	20,00 F.
Série III. — Les Nannofossiles calcaires de la craie .....	15,00 F.

Les membres 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.

## SOMMAIRE

Tome XCIII

2<sup>me</sup> trimestre

---

	Pages
J. MANIA. — Contribution à l'étude hydrogéologique des bassins versants de l'Artois. Application du calcul automatique .....	85
A. BONTE et P. DEBRABANT. — Etude géochimique de l'argile résiduelle de la craie .....	95
C. BROUSMICHE. — Révision des <i>Productellidae</i> (Brachiopodes) du Dévonien de Ferques (Boulonnais, France)	117
J. FERRIERE. — Données nouvelles sur le Crétacé supérieur de la zone pélagonienne en Thessalie méridionale orientale (bordure occidentale du Golfe de Volos, massifs du Chalkodonio et du Pelion) .....	137
A. BEUGNIES. — Contribution à l'étude du Famennien du bord Sud du synclinorium de Namur .....	147
G. TERMIER et J.J. VERRIEZ. — Les Bivalves carnien d'Atalanti (Locride, Grèce) .....	157