

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE GÉOLOGIE
APPLIQUÉE ET DE PROSPECTION MINIERE
Laboratoire de Géomécanique

UNIVERSITÉ DE NANCY I
U.E.R. SCIENCES DE LA TERRE
MÉTALLURGIE – CHIMIE MINÉRALE
Laboratoire de Sédimentologie

T H E S E

présentée devant
l'UNIVERSITÉ DE NANCY I
pour l'obtention du titre de
DOCTEUR DE SPÉCIALITÉ
(Sciences de la Terre - Mention Géologie)

par

Jacques ALLOUC

**CONTRIBUTION A L'ÉTUDE SÉDIMENTOLOGIQUE DU
PLIENSBACHIEN DE LA RÉGION DE NANCY
(Bordure orientale du Bassin parisien)**

soutenue publiquement le 8 décembre 1977 devant la Commission d'Examen

JURY :

MM.	J. HILLY	Président
	B. HAGUENAUER	Examineurs
	R. HOUPERT	
	J.-Ph. MANGIN	Invités
	A. MULLER	

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE GÉOLOGIE
APPLIQUÉE ET DE PROSPECTION MINIERE
Laboratoire de Géomécanique

UNIVERSITÉ DE NANCY I
U.E.R. SCIENCES DE LA TERRE
MÉTALLURGIE – CHIMIE MINÉRALE
Laboratoire de Sédimentologie

T H E S E

présentée devant
l'UNIVERSITÉ DE NANCY I

pour l'obtention du titre de
DOCTEUR DE SPÉCIALITÉ
(Sciences de la Terre - Mention Géologie)

par

J a c q u e s A L L O U C

**CONTRIBUTION A L'ÉTUDE SÉDIMENTOLOGIQUE DU
PLIENSCHACHIEN DE LA RÉGION DE NANCY
(Bordure orientale du Bassin parisien)**

soutenue publiquement le 8 décembre 1977 devant la Commission d'Examen

JURY :

MM.	J. HILLY	Président
	B. HAGUENAUER	Examineurs
	R. HOUPERT	
	J.-Ph. MANGIN	Invités
	A. MULLER	

A DANIELE, pour son aide efficace

A DAVID et CLAIRE, mes enfants, pour leur patience

A mes Parents

AVANT-PROPOS

Au terme de ce mémoire de thèse, ce m'est un très agréable devoir de remercier, en premier lieu, Monsieur le Professeur P. BLAZY, pour la confiance qu'il m'a accordée en m'acceptant comme Assistant à l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie Appliquée et de Prospection Minière qu'il dirige.

Avec Monsieur le Professeur J. HILLY, j'ai pu m'entretenir longuement, tant sur le terrain qu'au laboratoire, des problèmes que pose l'étude sédimentologique du Lias moyen de la région de Nancy.

C'est sous l'autorité de Monsieur le Professeur J. Ph. MANGIN, dans le Laboratoire de Géologie et de Sédimentologie de la Faculté des Sciences de Nice, que j'ai fait mes premières armes dans la recherche sédimentologique et acquis, grâce au sujet le Diplôme d'Etudes Supérieures qu'il m'a confié alors, les bases indispensables à la conduite de cette étude.

Ils ont bien voulu avec Messieurs B. HAGUENAUER (Université de Nancy 1), R. HOUPERT (E.N.S.G., Laboratoire de Géomécanique, Nancy), A. MULLER (Géologiques Institut, Aix-la-Chapelle) juger mon travail.

Je tiens à leur exprimer, ainsi qu'aux autres Membres du Jury, ma respectueuse gratitude.

Monsieur le Professeur B. SOUCHIER m'a accordé de grandes facilités d'accès au Laboratoire de Chimie du Centre de Pédologie Biologique qu'il dirige à Nancy.

Monsieur J.P. REHAULT, Directeur Administratif du Centre de Géodynamique sous-marine à Villefranche-sur-Mer m'a accueilli avec complaisance dans les locaux dont il a la responsabilité pour m'initier à la technique de la radiographie.

Monsieur R. HOUPERT a aplani pour moi plusieurs "problèmes d'intendance".

Je leur en suis à tous trois infiniment reconnaissant.

Je suis très redevable à Madame S. GUERIN-FRANJATTE (C.N.R.S.) d'avoir accepté de se charger de la détermination de la macrofaune récoltée. Ses conseils m'ont été très précieux lors de la rédaction du chapitre "Paléontologie" que, par ailleurs, malgré de nombreuses occupations, elle a bien voulu relire. Je ne saurais trop lui dire combien je suis sensible à sa marque d'intérêt.

Madame C. RUGET (C.N.R.S., Faculté Catholique de Lyon) travaille actuellement sur la microfaune recueillie. Ses premiers résultats m'ont fourni de très utiles renseignements.

Monsieur A. HARY, Professeur d'Enseignement moyen à Grevenmacher (Luxembourg), m'a guidé dans la difficile détermination des traces fossiles. Qu'il trouve ici l'expression de mes plus sincères remerciements.

Ma gratitude va également à Messieurs Y. CHAMPETIER, G. DAGALLIER, L. DEMASSIEUX (E.N.S.G.), G. EVEN (Université de Nancy 1), B. GUILLET et J. ROUILLER (Centre de Pédologie Biologique, Nancy) qui m'ont, avec cordialité, fait profiter de leur expérience. Les entretiens que j'ai pu avoir avec eux, ont toujours été très instructifs.

Monsieur D. JOURDANNET, Enseignant à l'Ecole des Géomètres de Nancy, m'a rendu un grand service en exécutant un nivellement dans la carrière de Jeandelaincourt. Je l'en remercie bien cordialement.

Ma Collègue M. HANZO a, avec diligence, effectué une grande série de dosage de phosphore. Ce fut, pour moi, une aide précieuse.

Je n'oublie pas non plus ce que je dois à Roland et Monique MONTANARI qui ont réalisé, avec gentillesse et compétence, les analyses chimiques par Fluorescence X.

Mes remerciements s'adressent aussi à toutes les personnes qui ont participé à la réalisation de ce travail : Mademoiselle A.GOETZ, Monsieur D. BONIL (Université de Nancy 1), Monsieur FAYE (C.R.R.), Monsieur SANDRIN (C.R.P.G.), Messieurs J. FLORENTIN, GEGOUT, A. MICHEL et M. ZIMMER (E.N.S.G.).

Mes Collègues M. DURAND, P.J. FAUVEL, D. GEISLER, M. HANZO, R. AL KHATIB, C. MARCHAL, C. PALAIN, M. SOUDANT, A. THOMAS, J.P. TISOT et J.P. TROALEN, ont toujours été pour moi des interlocuteurs éclairés avec qui j'ai eu de fructueux entretiens. Qu'ils soient assurés de la valeur en laquelle je tiens les commentaires, critiques et conseils dont ils m'ont fait bénéficier.

La réalisation matérielle de cet ouvrage a demandé le concours de Mesdemoiselles C. CUNY, F. CROSSE, F. SCHULTZ, Mesdames S. FERRARI, J. FRUHLING, C. RETOURNARD, Monsieur Y. LESTREIT. Je ne saurais oublier leur efficacité et leur affabilité.

Enfin cette étude n'aurait pu être entreprise sans les sondages aimablement fournis par le Centre de Géomécanique de l'E.N.S.G., par Monsieur BURTIN responsable de l'Enseignement du sondage dans la Section de Techniciens Supérieurs Géologues-Prospecteurs, ainsi que par R. AL KHATIB.

TABLE DES MATIERES

	Pages
<u>AVANT-PROPOS</u>	
<u>TABLE DES MATIERES</u>	
<u>TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX</u>	
 I - INTRODUCTION	
<u>BUT ET LIMITE DE L'ETUDE - SITUATION GEOGRAPHIQUE</u>	3
<u>BREF APERCU DES TRAVAUX PUBLIES SUR LE LIAS, EN PARTICULIER LE LIAS MOYEN DE LORRAINE</u>	3
<u>HISTORIQUE DES SUBDIVISIONS CHRONOSTRATIGRAPHIQUES, BIOSTRATIGRAPHIQUES ET LITHOSTRATIGRAPHIQUES DU LIAS MOYEN</u>	9
A - <u>Subdivisions chronostratigraphiques</u>	9
B - <u>Subdivisions biostratigraphiques</u>	10
C - <u>Subdivisions lithostratigraphiques</u>	10
<u>BREF APERCU SUR LA LITHOLOGIE DU PLIENSCHACHEN DE LA REGION DE NANCY</u>	10
A - <u>Carixien</u>	10
B - <u>Domérien</u>	10
 II - METHODOLOGIE	
<u>CONSERVATION ET PREPARATION DES ECHANTILLONS</u>	17
A - <u>Conservation</u>	17
B - <u>Sciage</u>	17
<u>LAMES MINCES</u>	18
<u>ANALYSE GRANULOMETRIQUE</u>	19
A - <u>Tamissage</u>	19
B - <u>Densimétrie</u>	19
C - <u>Dépouillement des données</u>	22

	Pages
<u>CALCIMETRIE</u>	26
<u>ANALYSES CHIMIQUES</u>	28
A - <u>Eléments majeurs et mineurs</u>	28
B - <u>Phosphore (P₂O₅), Chlore, Fluor</u>	28
C - <u>Carbone organique</u>	28
<u>ETUDE QUALITATIVE ET SEMI-QUANTITATIVE DES MINERAUX ARGILEUX PAR DIFFRACTION DES RAYONS X</u>	28
A - <u>Préparation des lames</u>	28
B - <u>Etude qualitative</u>	29
C - <u>Etude semi-quantitative</u>	30
<u>RADIOGRAPHIES</u>	31
<u>ANALYSE MICROCHIMIQUE QUALITATIVE ET COLORATION SELECTIVE</u>	32
A - <u>Analyse microchimique qualitative</u>	32
B - <u>Coloration sélective</u>	32
<u>PRELEVEMENTS POUR MICROFAUNE</u>	32
<u>CONCLUSION</u>	33
III - PETROLOGIE	
<u>TERMINOLOGIE</u>	39
A - <u>Terminologie stratonomique</u>	39
B - <u>Terminologie pétrographique</u>	39
<u>DONNEES PETROGRAPHIQUES, MINERALOGIQUES ET CHIMIQUES</u>	42
A - <u>Données macroscopiques et radiographiques</u>	42
B - <u>Données calcimétriques, granulométriques et examen microscopique</u>	47
C - <u>Données minéralogiques</u>	67

	Pages
D - <u>Données chimiques</u>	74
<u>CONCLUSION</u>	80
IV - PALEONTOLOGIE	
<u>INTRODUCTION</u>	91
<u>MACROFAUNE</u>	91
A - <u>Ammonites</u>	91
B - <u>Faunes associées</u>	93
<u>MICROFAUNE</u>	97
<u>TRACES FOSSILES</u>	98
<u>CONCLUSION</u>	103
V - ETUDE SEQUENTIELLE	
A - <u>Carixien</u>	107
B - " <u>Argiles à Amalthées</u> " <u>auct.</u>	111
C - " <u>Grès médioliasiques</u> " <u>auct.</u>	116
D - <u>Conclusion</u>	125
VI - ESSAI D'INTERPRETATION DE L'ENVIRONNEMENT SEDIMENTAIRE	
<u>LES ZONES D'APPORT : EMPLACEMENT, MORPHOLOGIE ET CLIMAT</u>	131
<u>LE BASSIN DE SEDIMENTATION</u>	133
<u>LE MILIEU DE SEDIMENTATION</u>	137
A - <u>Carixien</u>	137
B - " <u>Argiles à Amalthées</u> " <u>auct.</u>	138
C - " <u>Grès médioliasiques</u> " <u>auct.</u>	141

VII - CONCLUSION - RESUME

BIBLIOGRAPHIE 153

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

ANNEXE : ANALYSES PAR FLUORESCENCE X

PLANCHES HORS TEXTE

TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX

	Pages
Fig. 1. - Emplacement des sondages BONS 1 et 2, LUDR 1, LUDR 3, NAVI	6
Fig. 2. - Emplacement de la carrière de Jeandelaincourt	7
Fig. 3. - Comparaison entre les courbes cumulatives obtenues par densimétrie seule et par tamisage + densimétrie. Echantillon test 1	20
Fig. 4. - Comparaison entre les courbes et les paramètres granulométriques obtenus à partir de deux méthodes. Echantillon TS 2, 31,96 m	23
Fig. 5. - Comparaison entre les courbes et les paramètres granulométriques obtenus à partir de deux méthodes. Echantillon test 2	24
Fig. 6. - Courbes granulométriques cumulées des échantillons 32,84 m et 33,97 m. Sondage BONS 2	49
Fig. 7. - Courbes granulométriques cumulées des échantillons JEAN 3C ₁ ; 4e ; 5a ₁₋₁	55
Fig. 8. - Courbes granulométriques cumulées des échantillons LUDR 1, 12,07 m ; 19,65 m ; 5,79 m	60
Fig. 9. - Diffractogramme de l'échantillon BONS 2, 33,53 m	68
Fig. 10. - Diffractogramme de l'échantillon JEAN 1a	68
Fig. 11. - Diffractogramme de l'échantillon JEAN 3b ₂	68
Fig. 12. - Diffractogramme de l'échantillon JEAN 1a nod.	68
Fig. 13. - Diffractogramme de l'échantillon JEAN 3c ₂ nod.	71
Fig. 14. - Diffractogramme de l'échantillon JEAN 4b nod.	71
Fig. 15. - Diffractogramme de l'échantillon LUDR 1, 19,67 m	71
Fig. 16. - Diffractogramme de l'échantillon LUDR 1, 6,55 m	71
Fig. 17. - Diffractogramme de l'échantillon LUDR 1, 5,58 m	73
Fig. 18. - Diffractogramme de l'échantillon JEAN nod. 5i	73
Fig. 19. - Diffractogramme de l'échantillon JEAN nod. 5g	73
Fig. 20. - Diagramme granulométrique triangulaire : Sablons, Poudres, Argiles. Domérien (Carrière de Jeandelaincourt)	82

	Pages
Fig. 21. - Diagramme granulométrique triangulaire : Sablons, Poudres, Argiles. Carixien (sondage BONS 2), Domérien (sondages BONS 2 et LUDR 1)	83
Fig. 22. - Lithologie et bioturbation dans les calcaires carixiens	100
Fig. 23. - Place de la séquence-type carixienne par rapport à celle du Muschelkalk supérieur de Lorraine	110
Fig. 24. - Lithologie et structures sédimentaires des " <i>Grès médioliasiques</i> " auct. Sondage LUDR 1, 12,15 m - 12,00 m	122
Fig. 25. - Lithologie et structures sédimentaires des " <i>Grès médioliasiques</i> " auct. Sondage LUDR 1, 11,90 m - 11,68 m	123
Fig. 26. - Isopaques et lithofaciès du Pliensbachien	134
Fig. 27. - Isopaques du Carixien	135
Fig. 28. - Isopaques du Domérien	136
Fig. 29. - Coupe semi-schématique de la partie supérieure des " <i>Grès médioliasiques</i> " auct. visibles à Jeandelaincourt	142
Fig. 30. - Distribution des sédiments en fonction de leur pourcentage en sables, silts et argiles sur la plate-forme continentale de la partie centrale du Texas . .	146
Fig. 31. - Distribution des structures internes dans les sédiments de la plate-forme continentale de la partie centrale du Texas	147
Tabl. 1. - Subdivisions chronostratigraphiques et biostratigraphiques du Lias moyen selon différents auteurs . .	12
Tabl. 2. - Subdivisions lithostratigraphiques du Lias moyen et essai d'équivalence entre diverses désignations locales	13
Tabl. 3. - Termes et coupures granulométriques retenus (base GRABAU et BOURCART)	25
Tabl. 4. - Résultats comparés des teneurs en CaCO ₃ d'après trois méthodes de dosage	27
Tabl. 5. - Terminologie pétrographique et coupures introduites entre les pôles argileux et silteux d'une part, et les pôles terrigène et carbonaté d'autre part	40

	Pages
Tabl. 6. - Ammonites récoltées dans la carrière de Jeandelaincourt	92
Tabl. 7. - Séquence lithologique type carixienne	109
Tabl. 8. - Mégaséquence lithologique type des " <i>Argiles à</i> <i>Amalthées</i> " auct.	115
Tabl. 9. - Séquence lithologique type des " <i>Grès médioliasiques</i> " auct.	119
Tabl. 10. - Séquences lithologiques types du Carixien et du Domérien de la région de Nancy	125

I - INTRODUCTION

BUT ET LIMITE DE L'ETUDE - SITUATION GEOGRAPHIQUE

Ce travail porte sur l'étude sédimentologique, à partir de six sondages (dont quatre étudiés en détail) et d'une carrière, du Lias moyen (Carixien et Domérien) de la région de Nancy. Une reconstitution de l'environnement sédimentaire local à partir des données acquises est esquissée.

Les figures I et 2 localisent les positions des sondages et carrières étudiés ou cités dans le texte.

Sondages BONS 1 et BONS 2	= NANCY (Bonsecours)
Sondages LUDR 1 et LUDR 2	= LUDRES (Ht d'Englinée)
Sondage NAVI	= ART-SUR-MEURTHE (Fme St Phlin)
Carrière JEAN	= JEANDELAINCOURT (I)

BREF APERCU DES TRAVAUX PUBLIES SUR LE LIAS, EN PARTICULIER LE LIAS MOYEN

DE LORRAINE

Les premiers comptes-rendus précis sur les différentes assises lithologiques du Lias, et en particulier du Lias moyen de la région de Nancy, semblent remonter à BRACONNIER (1883).

Sans vouloir négliger les travaux de prédécesseurs comme SIMONS (1836-1837) ou MONNIER (1838) et surtout BENOIST (1868) qui ont reconnu un certain nombre de subdivisions dans les marnes domériennes grâce aux nodules, il semble en effet que BRACONNIER soit le premier à s'être intéressé vraiment de près à la nature des terrains de la région nancéienne.

On trouve dans son ouvrage "Description géologique et agronomique des terrains de Meurthe-et-Moselle" des coupes et des analyses précises. Sa carte géologique du département de Meurthe-et-Moselle fait le point des connaissances lithostratigraphiques acquises sur la région à cette époque.

C'est seulement une année plus tard (1884) que BLEICHER publie une note sur les formations jurassiques de Lorraine puis, en 1887 son "Guide du Géologue en Lorraine". Ces deux publications suivies en 1892 d'une note "sur le gisement et la structure des nodules phosphatés du Lias de Lorraine" apportent une importante contribution à la description des formations liasiques de l'Est de la France. Il y signale bon nombre de niveaux non reconnus jusqu'alors. Ses études micrographiques, la mise au point de méthodes de coloration sélective, lui confèrent également un rôle de précurseur dans le domaine de la Pétrographie sédimentaire.

En 1908, JOLY publie son étude sur le Jurassique inférieur et moyen de la bordure Nord-Est du Bassin de Paris. On y trouve une coupe assez précise du "Calcaire ocreux" auct. entre Laître-sous-Amance et Brin, ainsi qu'un levé des assises à *A. margaritatus* et *A. spinatus* de la carrière de JEANDELAINCOURT (54).

Puis paraissent les travaux de KLÜPFEL (1917-1918) qui font progresser d'une manière considérable les connaissances sur le Lias de

(I) Je remercie bien sincèrement la direction de G.M.E. JEANDELAINCOURT qui m'a accordé de grandes facilités d'accès dans la carrière.

Lorraine et d'où dérive d'ailleurs la notion de séquence klüpfelienne.

Les études de CORROY (1927 et 1928) sont uniquement d'ordre stratigraphique et paléontologique et n'apportent pas de nouvelle précision sur la lithologie.

En 1931, GERARD donne également une description des "*Calcaires ocreux*" auct. des environs de Nancy, mais son article traite principalement de paléontologie stratigraphique. Cependant, en 1938, dans son article sur le Charmouthien de Lorraine, il publie une coupe précise de la carrière de Jeandelaincourt (54).

Il faut mentionner ici le travail fondamental de BONTE (1941) sur le Jurassique de la bordure septentrionale du Bassin de Paris qui apporte des lumières nouvelles sur la paléogéographie de la mer liasique près de sa ligne de rivage.

Ensuite commencent les observations de MAUBEUGE. La bibliographie personnelle de cet auteur contient nombre de publications qui fournissent des indications importantes sur le Lias de la Lorraine, en particulier dans la synthèse qu'il publie en 1949 avec THEOBALD ainsi que dans son travail de thèse de 1955 où l'on trouve plusieurs coupes concernant les contacts Lotharingien-Carixien et Domérien-Toarcien. Les notices des cartes géologiques de la feuille Nancy et des feuilles contigües, ainsi qu'un certain nombre d'autres travaux plus récents (en particulier dans le colloque sur le Lias, 1961) apportent également des précisions intéressantes.

Entre les années 1950 et 1960, les observations de THEOBALD en Moselle, notamment dans la région de Thionville, puis à partir de 1960 au Sud des Vosges, permettent de mieux connaître la sédimentation liasique en fonction de la topographie ancienne du bassin sédimentaire.

Entre temps, quelques auteurs, entre autres SCHIRARDIN (1923), THIEBAULT (1928) précurseur des travaux de MILLOT, GUILLAUME (1941), GARDET (1946), MILLOT (1946-1948-1949), LUCIUS au Luxembourg (1948-1950-1951), LAUGIER (1954) précisaient tel ou tel aspect des différentes formations du Lias moyen.

En 1959, FOURMENTRAUX *et al.*, puis en 1961 POUJOL ainsi que LEFAVRAIS-RAYMOND et HORON, publient des études de synthèse (en particulier des cartes d'isopaques) réalisées à partir de forages de recherche pétrolière.

Puis c'est en 1964 que LAUGIER présente son mémoire sur le "Lias inférieur et moyen du Nord-Est de la France". On y trouve une étude pétrographique sur le "*Calcaire ocreux*" auct. et les unités lithologiques qui l'encadrent.

Vers la même époque, COUPARD fait la synthèse bibliographique des observations sur les nodules carbonatés du Lias de la région de Nancy (inédit).

En 1967, paraît "Etude du Lotharingien de la région type" contenant nombre d'analyses chimiques, non seulement sur le Lotharingien, mais également sur le Carixien et la base du Domérien. Cette même année apporte par ailleurs une nouvelle contribution des géologues pétroliers à la connaissance du Lias du Bassin de Paris (SERRA, 1967).



Fig. I - Emplacement des sondages BONS I et 2, LUDR I, LUDR 3, NAVI.

(D'après la feuille NANCY XXXIV-15 au 1/50 000e de l'Institut Géographique National).



Fig. 2 - Emplacement de la carrière de Jeandelaincourt.
(D'après la carte n° II au 1/100 000e de l'Institut Géographique National).

Enfin, en 1974, le travail de JOUANNEAU dans le cadre de leur utilisation en mécanique des sols, résume et synthétise sous forme de cartes d'isohypses les différentes informations obtenues jusqu'à ce jour, notamment à l'aide de fouilles et de sondages, sur le District urbain de Nancy.

HISTORIQUE DES SUBDIVISIONS CHRONOSTRATIGRAPHIQUES, BIOSTRATIGRAPHIQUES

ET LITHOSTRATIGRAPHIQUES DU LIAS MOYEN

A - Subdivisions chronostratigraphiques

Le Lias moyen constitue un point complexe de la nomenclature stratigraphique. Il a été successivement appelé Liasien par d'ORBIGNY (1849), Pliensbachien par OPEL (1856) et Charmouthien par MAYER-EYMAR (1864). En 1910, HAUG, après MUNIER-CHALMAS et de LAPPARENT, reprenait ce terme de Charmouthien pour l'ensemble du Lias moyen qu'il faisait d'ailleurs débiter à une zone d'Ammonite qui se trouve maintenant dans le sous-étage Lotharingien. HAUG conservait cependant le vocable Pliensbachien en lui conférant un sens plus restreint (voir tableau 1). Ces subdivisions au sens de HAUG furent adoptées en France par de nombreux auteurs et par la légende de la Carte Géologique au 1/80 000.

A la même époque, en Angleterre, BUCKMAN donne une extension chronostratigraphique réduite au Charmouthien tout en le rangeant dans le Lias inférieur ; tandis qu'en 1915, ROLLIER proposait ce nom pour désigner les zones à *A. margaritatus* et *A. spinatus*.

Il faut attendre 1960 (Colloque sur le Lias français, Chambéry) pour que soit recommandé, d'après le principe de priorité :

- d'une part de redonner au Pliensbachien son sens originel, c'est-à-dire celui de OPPEL,
- d'autre part, d'abandonner le terme de Charmouthien qui prête à confusion.

Le Pliensbachien de HAUG est alors appelé Carixien, nom qui avait été proposé par LANG dès 1913 et adopté par BONTE en 1941, tandis que la partie supérieure du Pliensbachien au sens actuel prend, à la suite des travaux de BONARELLI (1894), le nom de Domérien.

Ce sont ces subdivisions qui ont été retenues par le Colloque du Jurassique (1962) et le B.R.G.M. pour la notation de la carte géologique au 1/50 000.

Il faut encore noter que Carixien et Domérien ont rang de sous-étage pour le Groupe Français d'Etude du Jurassique (1971) et le B.R.G.M. (1975) alors qu'ils sont considérés en tant qu'étage par POMEROL (1975) qui tient donc le Pliensbachien pour un super-étage.

B - Subdivisions biostratigraphiques

Là encore, pendant longtemps, a régné une grande confusion surtout en ce qui concerne la limite inférieure de l'étage Pliensbachien, ceci étant dû au faciès "*Calcaire ocreux*" auct. qui peut se trouver à cheval sur les sous-étages Lotharingien et Carixien, de la zone à *E. raricostatum* à la zone à *D. armatum* des anciens auteurs. (Il pourrait même, en Haute-Marne, atteindre la zone à *P. davoei*, MAUBEUGE, 1955).

D'autre part, d'après LAUGIER (1971), le "*Calcaire ocreux*" auct. présenterait une disposition lenticulaire discontinue à différents niveaux de la partie supérieure du Lotharingien. Ajoutons également que les "*Marnes du Calcaire ocreux*" auct. qui séparent normalement le "*Calcaire ocreux*" auct. Lotharingien du "*Calcaire à P. davoei*" auct. Carixien n'existent pas toujours. Enfin, la zone à *D. armatum* (qui est maintenant supprimée) a été placée, selon les auteurs, soit dans le Lias inférieur soit dans le Lias moyen. On comprend, dans ces conditions, que les coupures soient difficiles à établir.

Le tableau 1 présente les subdivisions chronostratigraphiques et biostratigraphiques du Lias moyen selon différents auteurs.

C - Subdivisions lithostratigraphiques

En plus des grandes coupures précédemment signalées, il existe une terminologie locale fondée sur la lithologie et les faciès particuliers, parfois plus ou moins sporadiques. Le tableau 2 en fait un résumé assez complet. Les termes soulignés correspondent à ceux qui sont employés dans le texte. Lorsque la division lithologique ne s'applique pas à la Lorraine, le lieu où elle est employée est précisé.

BREF APERCU SUR LA LITHOLOGIE DU PLIENSBACHIEN DE LA REGION DE NANCY

A - Carixien

Dans la région de Nancy, le Carixien se présente au-dessus des "*Calcaires ocreux*" auct. sous forme d'une unité composée de calcaire argileux (lithofaciès largement dominant) et de marnes très carbonatées.

Un mince niveau de marne d'ordre décimétrique la sépare quelquefois du "*Calcaire ocreux*" auct. Cette formation renferme de nombreux rostrés de Bélemnites, ce qui lui vaut son appellation lithostratigraphique ancienne de "*Calcaire à Bélemnites*" auct.

D'après JOUANNEAU (1974) la puissance de l'assise carixienne est comprise, dans la région de Nancy, entre 1,50 m et 2,00 m.

B - Domérien

1 - "Argiles à Amalthées" auct.

Elles sont composées d'argilites à *A. stokesi* (SOW.) puis à

A. margaritatus MONTF., plus ou moins enrichies en silts (quartz - micas) et légèrement carbonatées (3 à 10 % de CaCO_3).

Sur affleurement suffisamment frais, mais soumis quelques temps à l'action des agents météoriques, ces argilites peuvent se débiter en plaquettes grossières de 1 cm à 5 cm d'épaisseur (photographie 1). La partie supérieure de l'assise est particulièrement riche en nodules ellipsoïdaux souvent riches en sidérose, parfois à fissures internes minéralisées (septaria), d'où le nom de "*Marnes à ovoïdes*" auct. également donné à cette formation.

Dans un périmètre de 20 km autour de Nancy, l'épaisseur des "*Argiles à Amalthées*" auct. est comprise entre 80 m (à l'ouest) et 60 m (à l'est).

2 - "*Grès médioliasiques*" auct.

Des siltites argileuses parfois riches en carbonates, voire des marnes silteuses, correspondant sensiblement à la zone à *P. spinatum*, font suite aux "*Argiles à Amalthées*" auct.

Alors que la partie inférieure est peu différenciée, le tiers supérieur est fréquemment fossilifère et riche en gros nodules métriques de calcaire silteux ; de même, le litage, bien que parfois irrégulier, y est mieux marqué.

On trouve souvent dans toute la formation, de petits nodules ovoïdes phosphatés, et des concrétions extrêmement fossilifères de 10 cm à 50 cm, de forme plus ou moins irrégulière, également fréquemment phosphatées.

Près de Nancy, la puissance est voisine de 15 m.

En appendice, nous donnons ici quelques épaisseurs recueillies dans la bibliographie et qui concernent uniquement la Lorraine.

. Carixien

Dans le Vermois : 2,60 m
Richardménil (Mauvais lieu) : 1,80 m à 2,00 m
Champenoux : 1,50 m à 1,60 m
Laître-sous-Amance : 1,50 m
Forêt de Champenoux : 1,10 m
Sondage du stratotype du Lotharingien : 1,10 m ?

. Domérien

"*Argiles à Amalthées*" auct.
Metz : 100 m
Nancy : 65 m environ
Delme : 20 - 25 m
"*Grès médioliasiques*" auct.
Metz : 15 m
Nancy : 15 m
Delme : 8 m

. Pliensbachien (Carixien + Domérien)

Metz : 110 - 120 m
Nancy : 80 m
Delme : 30 m

Etage	Sous-étage	A. D'ORBIGNY 1850 W.J. ARKELL 1956 (in P.F. BUROLLET 1957)	H. JOLY 1908* G. CORROY 1927.	E. HAUG 1910 (in P.F. BUROLLET 1957)	A. BONTE 1941	P.L. MAUBEUGE 1955 Région Belgo-Luxem- bourgeoise exclue	GROUPE FRANCAIS D'ETUDE DU JURASSIQUE 1971
PLIENSCHACHEN (A. OPPEL)	DOMERIEN (G. BONARELLI 1894) = CHARMOUTHEN (sens L. ROLLIER)	<u>P. spinatum</u>	<u>A spinatus</u> *	<u>A. spinatus</u>	<u>A. spinatus</u>	<u>P. spinatum</u>	<u>P. spinatum</u>
		<u>A. margaritatus</u>	<u>A. margaritatus</u> *	<u>A. margaritatus</u>	<u>A. margaritatus</u>	<u>A. margaritatus</u>	<u>A. margaritatus</u> <u>A. stokesi</u>
	CARIXIEN (W. LANG 1913) = PLIENSCHACHEN (sens E. HAUG) = CHARMOUTHEN (sens S.S. BUCKMAN)	<u>P. davoei</u>	<u>D. Davoei</u> *	<u>D. davoei</u>	<u>D. Davoei</u>	<u>P. Davoei</u> , <u>O. sp. Div.</u>	<u>P. davoei</u>
		<u>T. ibex</u>				<u>A. Maugenesti</u> <u>A. Valdani</u> <u>T. Ibex</u> <u>B. pettos</u> <u>B. centaurum</u> <u>U. Jamesoni</u> <u>P. Sp. Div.</u> <u>P. Taylora</u> <u>E. miles</u>	<u>T. ibex</u> <u>U. jamesoni</u>
		<u>U. jamesoni</u> dont <u>armatum</u> beds de OPPEL ?	<u>P. Jamesoni</u> ● <u>D. armatum</u> *	<u>P. jamesoni</u> <u>D. armatum</u>	<u>P. Jamesoni</u> - <u>P. ibex</u>		

Tabl. I - Subdivisions chronostratigraphiques et biostratigraphiques du Lias moyen selon différents auteurs.

- Il n'y a pas toujours correspondance exacte entre les lignes.
- La présence ou l'absence de majuscule au nom d'espèce a été respectée.

<u>Grès médioliasiques</u> (J. LEVALLOIS 1862)	= Grès d'Agincourt (J. LEVALLOIS 1862) = Couches de Xocourt (L. Van WERVECKE 1901) = Grès de Dippach (L. Van WERVECKE 1887 ?) = Macigno d'Aubange (A. DUMONT 1852) Belgique - Luxembourg = Banc de Roc (<u>pro-parte</u>) (A. de CAUMONT 1828) Normandie
<u>Argiles à Amalthées</u> (P.L. MAUBEUGE 1955)	= Marnes à ovoïdes (J. LEVALLOIS 1852) = Marnes à Amalthées = Macigno de Messancy (V. DORMAL 1894) Belgique - Luxembourg
<u>Calcaire à P. davoei</u> (O. TERQUEM-G. BERTHELIN, 1875)	= Calcaire à Bélemnites (V. SIMON 1836) (<u>pro-parte</u>) = Schistes d'Ethe (J.J. d'OMALIUS d'HALLOY 1854) Luxembourg (<u>pro-parte</u>) = Fleckenkalk (<u>in</u> P.L. MAUBEUGE 1955)
<u>Marnes à Zeilleria numismalis</u> (J.A. STUBER 1893)	= Marne sableuse de Hondelange (<u>pro-parte</u>) (G. DEWALQUE 1857) = Marnes à <u>Waldheimia numismalis</u> (J.A. STUBER 1893) = Marnes de Zinswiller (L. Van WERVECKE 1901) Alsace

Lacunes régionales fréquentes. Manquent dans la région de Nancy (P.L. MAUBEUGE 1955)

Tabl. 2 - Subdivisions lithostratigraphiques du Lias moyen et essai d'équivalence entre diverses désignations locales.

Les termes utilisés dans le texte sont soulignés en tiretés.

II - METHODOLOGIE

CONSERVATION ET PREPARATION DES ECHANTILLONS

A - Conservation

L'expérience montre que la technique la plus simple pour conserver les échantillons de nature argileuse est de les emballer successivement dans du papier aluminium et dans un papier genre cellophane vendu dans le commerce à des fins alimentaires. La jointure au niveau de l'emballage extérieur est obturée par du ruban adhésif ce qui permet, en outre, de porter facilement les renseignements nécessaires.

Une tentative a été faite avec de la paraffine et du brai mou. Ces deux méthodes valables en laboratoire pour de petits échantillons, ne sont pratiques ni sur le terrain (chauffage), ni pour de gros échantillons. D'autre part, avec la paraffine, au bout d'un certain temps, l'enduit autour du papier aluminium s'effrite et la protection contre la dessiccation n'est plus efficace.

La méthode retenue donne la possibilité de conditionner très facilement les échantillons sur le terrain et permet :

- de faire des calculs de teneur en eau échelonnés sur quelques semaines,
- d'avoir une dessiccation lente et ménagée qui préserve l'intégrité du matériau surtout si celui-ci présente un plan de délitage bien marqué.

B - Sciage

Afin de conserver au moins une partie des carottes de sondage comme témoin, il a fallu envisager le sciage de celles-ci dans le sens longitudinal.

Deux méthodes ont été retenues :

- lorsque le matériau argileux est suffisamment proche de sa teneur en eau initiale, celui-ci est scié à la scie diamantée sous un mince filet d'eau. De cette manière, la lame ne chauffe pas et la surface de coupe lavée rapidement est de bonne qualité. Il faut ensuite entourer d'une bâche plastique, les échantillons coupés de cette façon, pour éviter une baisse trop rapide de la teneur en eau, laquelle provoque une fracturation du matériau argileux;

- lorsque, au contraire, la teneur en eau initiale a baissé d'au moins 30 à 40 %, le sciage est effectué à sec avec une lame spéciale. Ce procédé n'est pas trop brutal puisqu'il permet de scier des plaques d'argilite de 1,5 cm d'épaisseur ; cependant, il provoque beaucoup de poussière et il est nécessaire de prévoir un système d'aspiration de celle-ci ou de scier en plein air.

Remarque : les carottes très fracturées à l'origine sont, au préalable, entourées de plâtre de Paris dans un moule spécialement construit à cet effet.

L'échantillon ainsi préparé doit être ensuite lavé car le brossage ou le grattage sont inefficaces ou ne font que détériorer la surface à examiner.

Pour ce faire, la surface est rincée rapidement à l'eau normale légèrement sous pression et séchée immédiatement au séchoir à cheveux. Il ne faut en aucun cas utiliser l'air comprimé à haute pression qui provoque des irrégularités de la surface ramollie par l'eau, ce qui rend impossible toute observation ultérieure.

LAMES MINCES

Les lames minces, dans les matériaux argileux, ne peuvent être préparées suivant les méthodes classiques. Elles nécessitent une induration préalable aux opérations de meulage et de polissage qui ne manqueraient pas de produire des arrachements importants si aucune précaution spéciale n'était prise. Par ailleurs, un chauffage trop important est susceptible d'introduire de nombreux artefacts.

Les "sucres" sont taillés à sec pour éviter, autant que possible, d'introduire des dérangements trop importants dans la microstructure. Ils sont donc à leur teneur en eau naturelle du moment et tout le problème consiste à remplacer cette eau, dans un matériau très peu perméable, par un produit suffisamment fluide à l'origine pour imprégner le "sucre" sur une épaisseur suffisante, mais capable de durcir par la suite.

Ce problème a été résolu à l'Ecole Supérieure de Géologie et au Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques à Nancy par la méthode suivante : les échantillons sont soumis à un séchage modéré, mais de longue durée, puis imprégnés par un mélange vernis-diluant dans la proportion I/I (vernis BOLLORE F 1800 - diluant BOLLORE F 1809).

Le sucre est mis ensuite à "cuire" de façon ménagée. L'opération est répétée plusieurs fois jusqu'à l'obtention d'une carapace en surface. La face retenue pour la confection de la lame est ensuite dressée et collée à l'Araldite (et non au Like-Side pour éviter un chauffage supplémentaire) sur la lame porte-objet.

Le reste des opérations se déroule comme pour une lame mince normale. L'abrasif doit être fin.

Cette méthode d'induration au vernis présente de nombreux avantages : rapidité, imprégnation suffisamment complète autorisant le sciage et le polissage à l'eau, induration forte et permanente, suppression des problèmes de collage fréquents avec les résines, économie, pas ou peu d'artefacts.

Ce procédé ayant donné satisfaction aucune autre méthode n'a été essayée.

Néanmoins, une amélioration pourrait être apportée au stade de l'imprégnation en effectuant celle-ci sous pression, après avoir soumis l'échantillon à un vide suffisant.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

A - Tamissage

Après décarbonatation, l'analyse granulométrique sur les "insolubles" a été effectuée dans certains cas, notamment pour les "*Grès médioliasiques*" auct., par tamissage sous l'eau entre 125 μ et 44 μ . Il n'a pas posé de problèmes particuliers si ce n'est au niveau du raccordement de la courbe obtenue par tamissage avec celle issue de la densimétrie. Ceci est maintenant un problème classique et pour pallier cet inconvénient, les graphes ainsi obtenus ont été comparés avec ceux que donnent des densimétries effectuées sur la totalité des insolubles. La figure 3 en donne un exemple.

Les différences ne sont pas très accusées et ne modifient pas sensiblement les valeurs des paramètres statistiques de la courbe granulométrique.

Le tamissage mécanique entre 125 μ et 44 μ est justifié à nos yeux par la possibilité d'avoir ainsi un début de courbe granulométrique relativement exact, ce qui n'est pas toujours le cas avec la densimétrie. On peut également, par cet artifice, procéder à un examen visuel des refus sans faire un double prélèvement. Le nombre de manipulations et les prises d'essais s'en trouvent ainsi réduites.

B - Densimétrie

Nous avons retenu la méthode MERIAUX (1953) qui permet, si le nombre de mesures est suffisant, de tracer une courbe granulométrique continue et nous l'avons appliquée, soit à la roche totale si celle-ci ne contient pas d'éléments supérieurs à 63 μ , soit à la fraction inférieure à 44 μ dans le cas contraire.

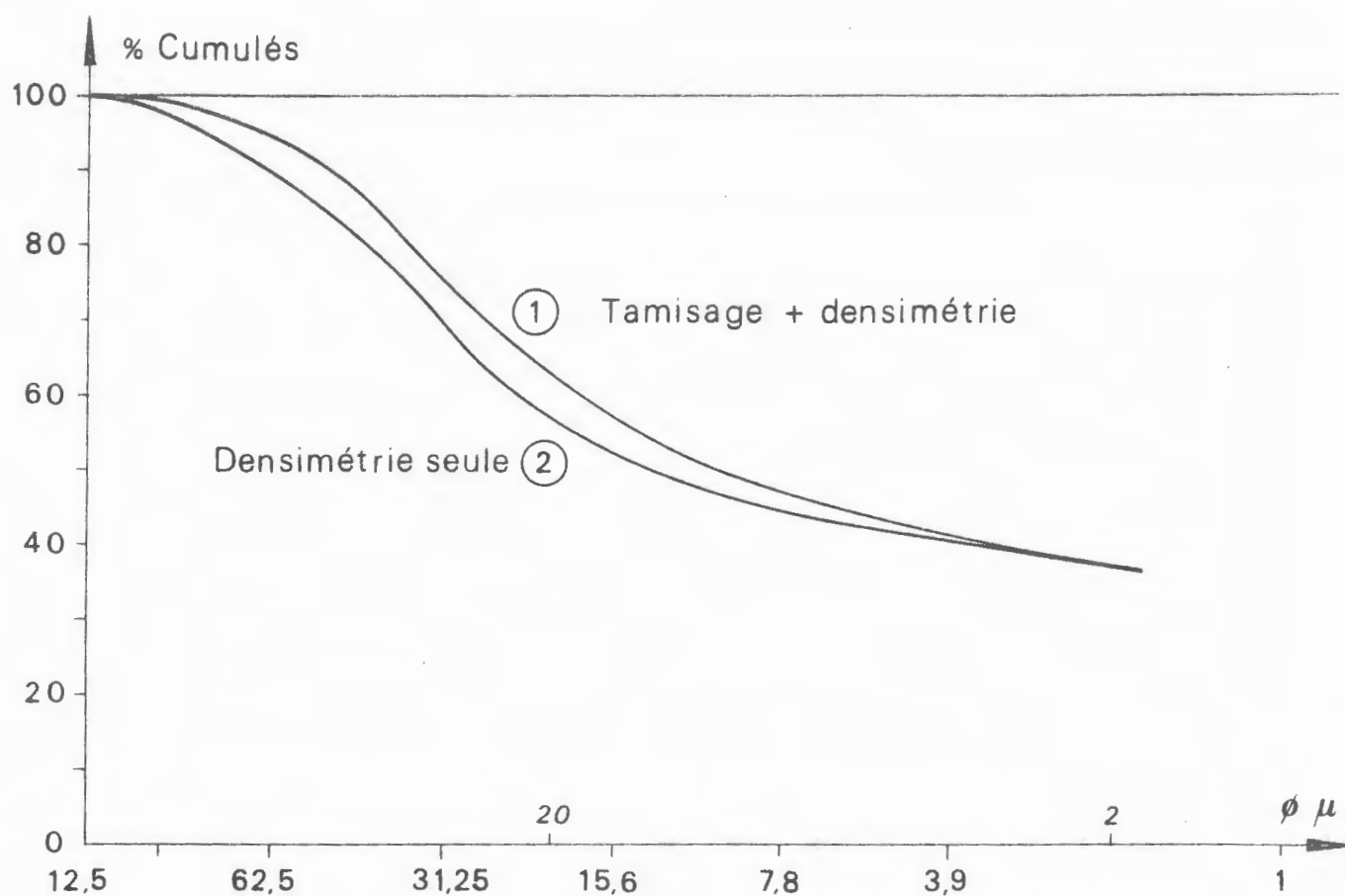
A la suite des travaux de ROUILLER, BURTIN et SOUCHIER (1972) (Centre de Pédologie Biologique de Nancy), les résines cationiques ont été préférées à l'héxametaphosphate de sodium pour provoquer la dispersion.

Sans vouloir entrer dans la théorie des propriétés générales des résines (DEWERDT, 1965), ni dans l'étude du comportement des suspensions argileuses vis-à-vis de différents agents dispersants (Van OLPHEN, 1965 et ROUILLER, BURTIN et SOUCHIER, 1972), indiquons à la suite de ces auteurs les principaux avantages de résines échangeuses d'ions pour la dispersion des argiles.

- . La prise d'essai peut-être faite sur une argilite indurée non cassée préalablement (pas de création artificielle de fines).

- . Dissolution au moins partielle des ciments amorphes ou organiques ce qui garantit une bonne dispersion.

- . Obtention de suspensions argileuses stables, ce qui n'est pas le cas avec l'héxametaphosphate de sodium lorsque le milieu où s'effectue la sédimentation est riche en ions flocculants (par exemple Ca^{++}) ou en sesquioxydes amorphes (niveaux altérés). De plus, au-delà d'un certain seuil de concentration, l'héxametaphosphate de sodium exerce une action flocculante partielle.



Tamisage + densimétrie

Sablons 37 %
 Poudres 26 %
 $< 2 \mu$ 37 %
 Médiane 10 μ
 Q3 31 μ
 Q1 /
 $> 63 \mu$ 6 %
 Silts 56 %
 P.B. 20

Densimétrie seule

Sablons 42 %
 Poudres 19 %
 $< 2 \mu$ 39 %
 Médiane 13 μ
 Q3 36 μ
 Q1 /
 $> 63 \mu$ 10 %
 Silts 53 %
 P.B. 22

Fig. 3 - Comparaison entre les courbes cumulatives obtenues par densimétrie seule et par tamisage + densimétrie.- Echantillon test I.

. Suppression du fond salin susceptible de s'adsorber sur les argiles ce qui fausse le pourcentage pondéral en éléments fins ; ceci supprime par la même occasion la correction du défloculant, (mode opératoire du LCPC, 1965).

. Possibilité de réaliser la sédimentométrie de marnes, voire de calcaires argileux, sans attaque brutale préalable par HCl ce qui permet de réutiliser les particules dispersées pour des analyses ultérieures. De même, le gypse se dissout lentement.

. Récupération possible des éléments solubilisables pour dosage après désorption et régénération des résines.

a) Technique d'emploi des résines

Les résines, $R-Na^+$ à la différence des résines $R-H^+$, ne peuvent échanger que le carbonate de calcium colloïdal appelé "*calcaire actif*" par les Pédologues. D'où deux protocoles :

+ *Matériau contenant moins de 10 % de $CaCO_3$*

. Faire une prise d'essai de 15 à 20 g du matériau sur lequel on détermine également la teneur en eau W et le pourcentage de $CaCO_3$.

. Mettre la prise d'essai avec 100 ml de résine cationique $R-Na^+$ et 500 ml d'eau déminéralisée.

. Agiter pendant une nuit à l'agitateur rotatif.

. Tamiser à 200 μ . On recueille ainsi la résine pour la régénérer.

. Ajuster la quantité d'eau dans la colonne de sédimentation à 1 litre.

+ *Matériau contenant plus de 10 % de $CaCO_3$*

. Faire une prise d'essai un peu plus importante, 20 à 25 g environ, sur laquelle on détermine également W et le pourcentage de $CaCO_3$.

. Mettre la prise d'essai avec 100 à 200 ml de résines cationiques $R-H^+$ suivant le pourcentage de $CaCO_3$ et 300 ml d'eau déminéralisée dans un récipient *non fermé* (à cause du dégagement de CO_2).

. Laisser la réaction se poursuivre jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de dégagement de CO_2 . Agiter à la main de temps en temps.

. Tamiser à 200 μ pour récupérer les résines et les régénérer.

. Refaire un échange par $R-Na^+$ comme précédemment pour obtenir la dispersion.

b) Mesures proprement dites

Nous avons déjà eu l'occasion d'indiquer la marche à suivre et les précautions à prendre (ALLOUC, 1969).

c) Calculs

Dans le cas présent, le calcul du pourcentage p des éléments de diamètre équivalent inférieur à un diamètre donné a été calculé non à l'aide d'abaques mais directement à partir de la formule suivante :

$$p = \frac{V}{W} \times \frac{\gamma_s}{\gamma_s - 1} \times \frac{R_1}{10}$$

Mode opératoire du LCPC (1965)

V = volume de suspension

W = poids de matériau *sec* et sans CaCO₃

γ_s = masse volumique moyenne des particules. Pour celle-ci, il a été tenu compte de la composition minéralogique reconnue notamment par R.X.

γ_s = 2,60 pour les silts-argileux riches en quartz

γ_s = 2,50 pour les argilites . d'après BERTHOIS (1975)

illite 2,12 à 2,66 g/cm³

kaolinite 2,4 à 2,64 g/cm³

. d'après GILLOT (1968)

beaucoup d'argiles du Mésozoïque ont une densité voisine de 2,0 g/cm³

R₁ = lecture corrigée

La figure 4 permet de comparer les courbes obtenues par densimétrie selon le principe MERIAUX avec celles que donnent le Sedigraph 500, appareil qui mesure le taux de sédimentation des particules en suspension par le truchement d'un faisceau très fin de rayons X, (voir également la fig. 5).

La correspondance entre les deux graphes, très satisfaisante dans le premier cas (TS₂ 31,96) l'est moins dans le second (Ech. test 2) où les écarts atteignent 8 à 10 % dans les grandes dimensions. Les diamètres maxima sont également différents. Cependant, un contrôle sur lame mince *confirme la justesse, au moins approximative, du début de la courbe obtenue par densimétrie.*

En manière de conclusion sur la méthode d'analyse granulométrique par densimétrie, nous voudrions faire ici les remarques suivantes :

. Dans nombre de cas, il est nécessaire "d'amorcer" la courbe granulométrique par un tamisage ou un examen sur lame mince avec un oculaire micrométrique car c'est toujours le début du graphe qui est le plus imprécis.

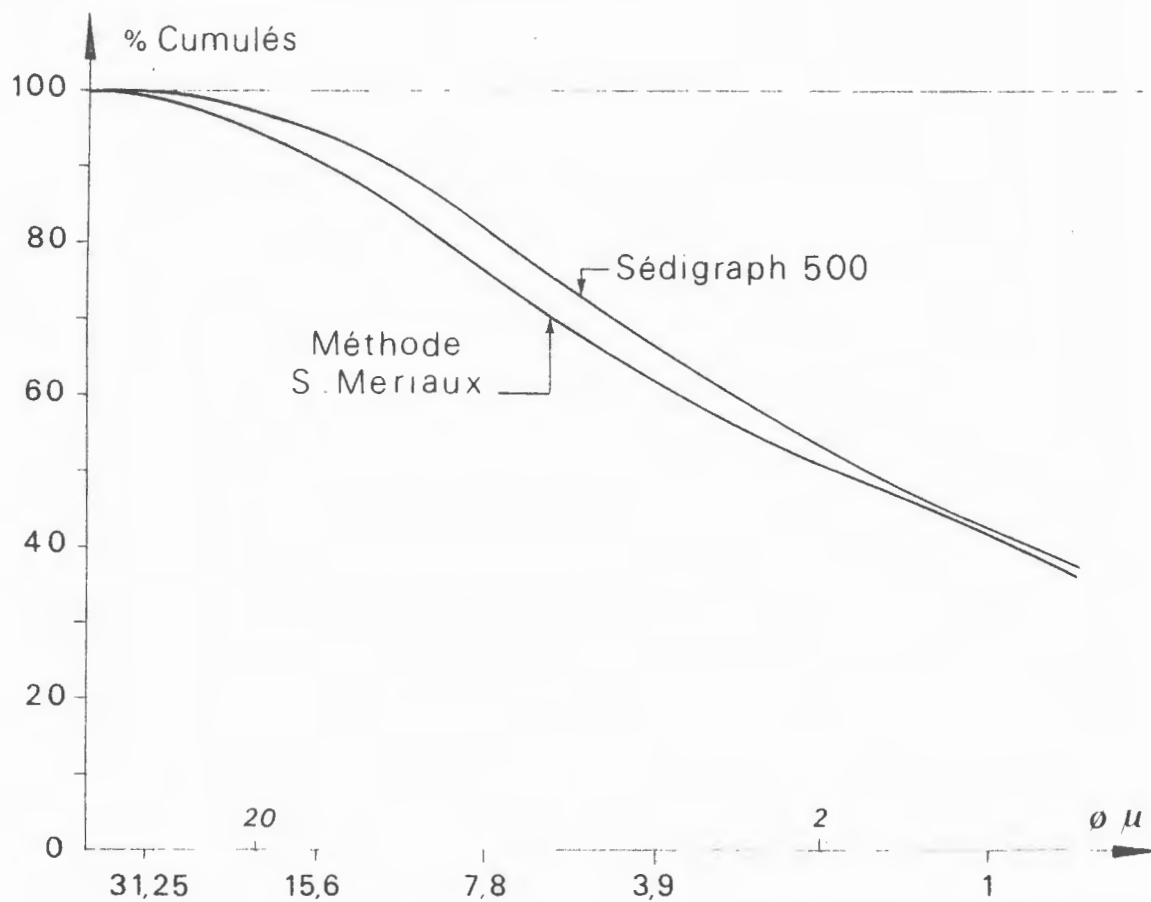
. La courbe obtenue par densimétrie est sensiblement parallèle à celle obtenue par une autre méthode dans sa partie moyenne. Donc, si le début de la courbe est lui-même bien connu, la méthode est relativement *fiable*.

. Les pourcentages de particules inférieures à 1 μ sont vraisemblablement nettement surestimés puisque l'excès est supérieur à celui donné par le Sedigraph 500 (ce dernier est de l'ordre de 5 à 20 %) ; (fig. 4 et 5). Il est bien connu, en effet, que en deçà de 1 μ , les mouvements browniens l'emportent largement sur les effets de la gravité et faussent la sédimentation.

. Malgré les précautions citées plus avant, l'analyse granulométrique par densimétrie reste entachée d'un certain nombre d'impondérables et est moins précise que la méthode à la pipette de Robinson. Elle a néanmoins le gros avantage de donner une courbe cumulative et non des coupures granulométriques seulement ; de plus, elle est rapide.

C - Dépouillement des données

La classification granulométrique de GRABAU pour les roches à grain moyen ou fin (arénites, lutites) bien qu'un peu arbitraire (SHEPARD, 1964), a l'avantage d'utiliser des coupures granulométriques fonction des mailles de tamis. La classe des lutites peut être subdivisée en silts d'une



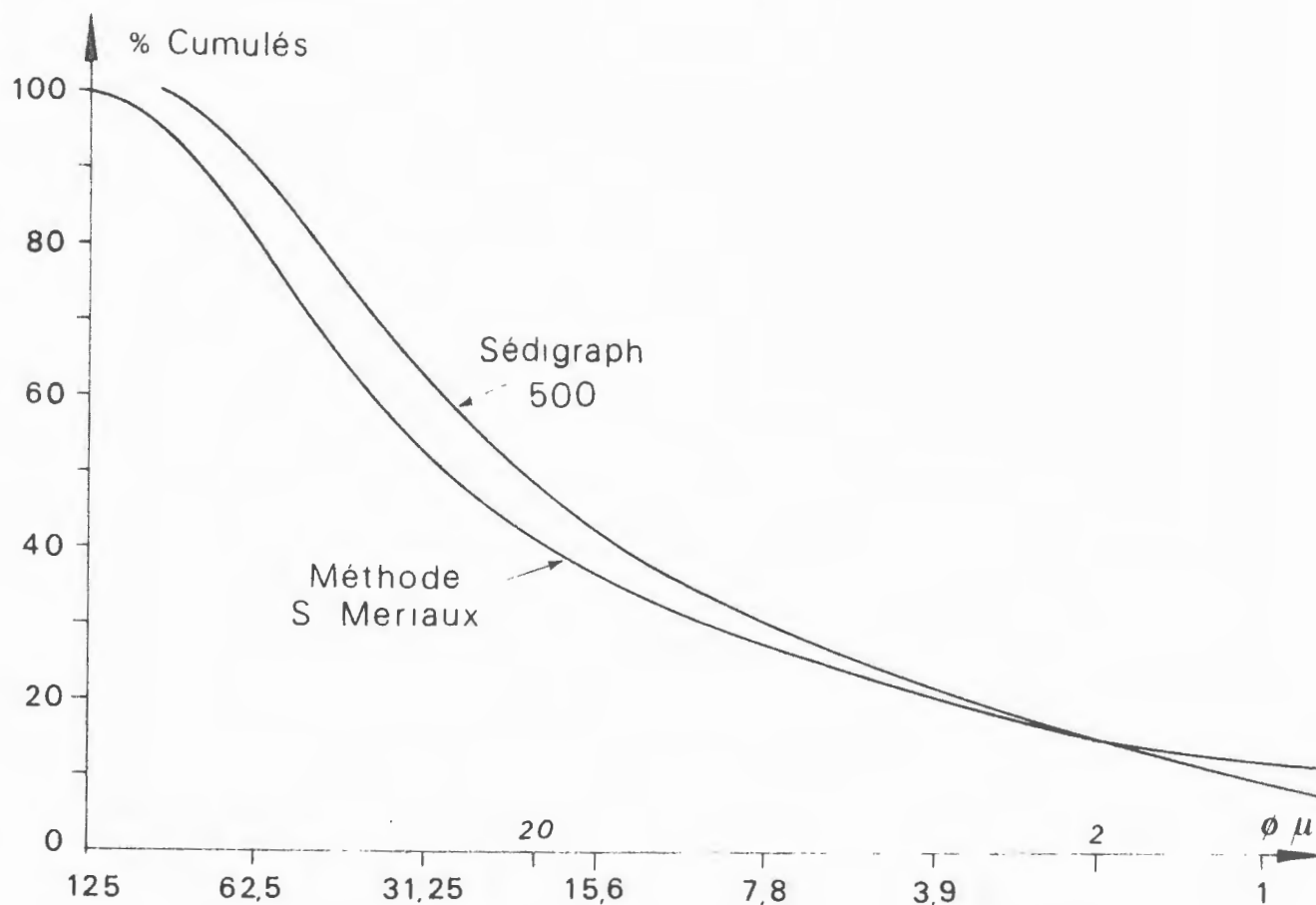
Méthode S. MERIAUX

Sablons 6 %
 Poudres 43,5 %
 < 2 μ 50,5 %
 Médiane 1,85 μ
 Q3 84 μ
 Q1 /
 > 63 μ 0 %
 P.B. 19

SEDIGRAPH 500

Sablons 3 %
 Poudres 45,5 %
 < 2 μ 51,5 %
 Médiane 1,70 μ
 Q3 59 μ
 Q1 /
 > 63 μ 0 %
 P.B. 18

Fig. 4 - Comparaison entre les courbes et les paramètres granulométriques obtenus à partir de deux méthodes.- Echantillon TS 2, 31,96 m.



Méthode S. MERIAUX

Sablons 58 %
 Poudres 27 %
 < 2 μ 15 %
 Médiane 29 μ
 Q3 56 μ
 Q1 6 μ
 > 63 μ 18,50 %
 P.B. 42

SEDIGRAPH 500

Sablons 50,5 %
 Poudres 33,5 %
 < 2 μ 16 %
 Médiane 20,5 μ
 Q3 43 μ
 Q1 5 μ
 > 63 μ 10 %
 P.B. 39

Fig. 5 - Comparaison entre les courbes et les paramètres granulométriques obtenus à partir de deux méthodes.- Echantillon test 2.

part et argiles d'autre part, la limite se situant à 2μ (I).

Les termes équivalents concernant les roches consolidées, notamment : arénite, lutite, siltite, argilite, constituent une terminologie d'emploi aisé dans notre cas. C'est la raison pour laquelle nous avons retenu cette classification.

2 000 μ	63 μ	2 μ	0 μ
ARENITES	LUTITES		
	Silts	Argiles	

Tabl. 3 - Termes et coupures granulométriques retenus. (base GRABAU)

Par ailleurs, en particulier lorsque les dimensions des grains restent comprises dans les limites imparties aux argiles et aux silts, il nous a paru utile d'introduire les termes de la classification de BOURCART (1941). La coupure à 20μ permet de séparer deux populations granulométriques, les sablons et les poudres, pour lesquelles les propriétés physico-chimiques, comme la réponse aux conditions hydrodynamiques sont différentes. Enfin, pour les classes granulométriques nécessaires à cette étude, elle est très proche de la classification pragmatique du LCPC. Les seuls aménagements apportés y sont la coupure à 2μ et le nom d'argiles consacrées par l'usage.

BOURCART	L.C.P.C.	Coupures et noms retenus
100 μ - 20 μ Sablons	200 μ - 20 μ Sable fin	100 μ - 20 μ Sablons
20 μ - 1 μ Poudres	20 μ - 2 μ Limons	20 μ - 2 μ Poudres
< 1 μ Précolloïdes et Colloïdes	< 2 μ Argiles	< 2 μ Argiles

Tabl. 3 bis - Coupures granulométriques et terminologie employée (base BOURCART). Comparaison avec deux autres classifications.

(I) D'après MILLOT (1964) :

"La classification internationale réserve au sein des lutites ($< 64\mu$) le nom de silt à la fraction comprise entre 64μ et 4μ ." Nous retenons cependant comme SCOLARI, LILLE et GIOT (1973) et G. LUCAS, CROS et LANG (1976), la limite inférieure de 2μ qui permet d'éviter le hiatus entre les argiles ($< 2\mu$) et les silts .

Des paramètres de TRASK, seul le troisième quartile et la médiane ont pu être calculés dans tous les cas. Le premier quartile et en conséquence le sorting S_o , de par la finesse des matériaux étudiés, n'ont pas toujours pu être obtenus. C'est la raison pour laquelle S_o a été remplacé par l'indice de classement de BIETLOT (1940). Pour le calculer, on mesure la différence de pourcentage $Y_1 - Y_2$ qui existe entre un grain de diamètre $Md\sqrt{x}$ (Md = médiane, x = raison géométrique), et un grain de diamètre $Md/\sqrt{x}$.

$$C = Y_1 - Y_2$$

L'indice de classement C est d'autant meilleur que le nombre trouvé est plus grand.

Comme le signale BERTHOIS (1975), ce mode de calcul est plus souple que celui de TRASK puisque l'on peut choisir x comme l'on veut pourvu que les proportions soient respectées de chaque côté de la médiane Md .

Les paramètres de BIETLOT sont calculés ici avec $x = 4$.

. Les essais d'interprétation des résultats granulométriques ont été menés principalement à partir des courbes cumulatives brutes et du faciès qu'elles présentent selon les idées de RIVIERE (1951-1952).

En effet, après un certain nombre d'essais avec d'autres méthodes, en particulier celle de PASSEGA (1957), modifiée par ALLEN *et al.* (1970), (cinquième percentile au lieu du premier centile trop sujet à caution dans notre cas), nous pensons comme VANDENBERGHE (1975), en ce qui concerne nos sédiments fins, que les courbes cumulatives simples restent le fondement principal de l'analyse granulométrique.

CALCIMETRIE

Elle a été réalisée principalement à l'aide du Calcimètre Bernard et de l'appareil Carmograph 8 du Centre de Pédologie Biologique de Nancy. Un certain nombre de contrôles ont pu être effectués par ailleurs grâce aux résultats des analyses sur roche totale par Fluorescence X, ainsi que par comparaison avec la méthode dite "*de perte de poids après attaque à HCl*".

Le tableau 4 présente quelques valeurs données par trois méthodes sur un même échantillon.

Les écarts entre les pourcentages donnés par le Calcimètre Bernard et les autres méthodes excèdent exceptionnellement 5 % et sont le plus souvent de l'ordre de 1 à 3 %. On peut néanmoins remarquer qu'il a tendance à sous-estimer légèrement les faibles valeurs. Si l'on tient compte de l'extrême simplicité d'emploi de cet appareil et de la rapidité de sa mise en oeuvre, on peut considérer qu'il est tout-à-fait satisfaisant pour les analyses courantes ou les grandes séries de mesures.

Echantillons	Calcimètre BERNARD	Carmograph 8	Fluorescence X	Classes
JEAN				
Ia	5,97	5,92	6,82	Faibles valeurs
3a ₂	1,66	1,58	2,21	
3b ₂	1,44	1,83	2,39	
4e ²	4,33	3,75	5,45	
TS ₂				
31,30	5,55	7,91	6,03	

JEAN				
Ig	9,27	9,17	10,75	Valeurs moyennes
2b	15,24	13,25	9,93*	
5a _{I-2}	10,40	14,75	13,40	
5c	12,57	12,46	13,05	
5d	33,58	31,00	33,32	* écart de 5,31 % avec la valeur donnée par le calcimètre Bernard

JEAN nodules				
Ia	54,03	53,00	59,77*	Fortes valeurs
4b	69,63	67,00	71,89	
TS ₂				
34,22	70,80	71,97	70,53	* écart de 5,74 % avec la valeur donnée par le calcimètre Bernard
34,47	88,30	90,67	87,20	
34,77	86,25	86,09	85,52	

JEAN nodules				Echantillons particuliers
3a ₂	(A)	72,93*	72,88*	(A) riche en FeCO ₃
5a ₃	(B)	25,78	25,42	(B) riche en P ₂ O ₅
				* exprimé en % FeCO ₃

Tabl.4 - Résultats comparés des teneurs en CaCO₃ d'après trois méthodes de dosage.

(Les valeurs brutes, issues du calcul, sont exprimées ici ; mais seul le chiffre des unités, par excès ou par défaut, est pris normalement en compte dans l'expression des résultats).

ANALYSES CHIMIQUES

A - Eléments majeurs et mineurs

Les analyses des éléments majeurs SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 total, CaO , MgO , K_2O et d'un certain nombre d'éléments mineurs TiO_2 , MnO , Na_2O ont été réalisées par Fluorescence X au Laboratoire commun des Sciences de la Terre de l'Université de Nancy I (MONTANARI).

B - Phosphore (P_2O_5), Chlore, Fluor

. P_2O_5 est dosé par colorimétrie du complexe phospho-molybdique après élimination de la matière organique par calcination et transformation de tout le fer en nitrate ferreux incolore pour éviter les interférences (laboratoire de Géologie sédimentaire et structurale, HANZO).

. Les valeurs de Cl et F dans les nodules phosphatés proviennent de dosages effectués par le laboratoire de chimie du Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques de Nancy (C.N.R.S.).

C - Carbone organique

Le pourcentage en carbone organique est obtenu par différence entre le carbone total et le carbone minéral (Carmograph 8, Centre de Pédologie Biologique, Nancy).

La voie humide (méthode Anne) est à rejeter lorsque l'échantillon à analyser renferme des composés réducteurs capables de prélever une partie de l'oxygène du bichromate de potassium (1).

Dans le mode d'analyse par voie sèche (Carmograph 8), seul le CO_2 libéré par calcination ou attaque à HCl est dosé par variation de conductivité d'une solution de soude. De plus, des pièges (laine d'argent, perhydrite) éliminent certains gaz (Cl_2 , SO_2) susceptibles de causer une erreur dans le dosage.

ETUDE QUALITATIVE ET SEMI-QUANTITATIVE DES MINERAUX ARGILEUX PAR DIFFRACTION

DES RAYONS X

A - Préparation des lames

Plusieurs modes de préparation des échantillons et des lames ont été entrepris simultanément.

(1) Communication personnelle de Monsieur F. ROUILLER, Centre de Pédologie Biologique, Nancy.

Méthode 1

L'échantillon est traité selon le protocole classique du Laboratoire de Sédimentologie de la Faculté des Sciences de Nancy 1 : attaque ménagée par HCl après broyage grossier, lavage à l'eau déminéralisée par centrifugation. Les insolubles obtenus sont ensuite déposés sur trois lames différentes soit par pipetage (agrégats orientés), soit par tartinage. L'une de ces lames reste "nature", la deuxième est traitée au glycérol, la troisième est chauffée à 490°.

Méthode 2

. Une prise de 5 g grossièrement broyée est placée avec 50 cm³ de résine cationique H⁺ en milieu aqueux jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de dégagement de CO₂.

. Tamiser à 200μ pour récupérer les résines qui sont à régénérer.

. Le tamisat, bien homogénéisé, est mis en contact pendant 8 heures avec une solution saturée de MgCl₂, (une agitation permanente est nécessaire).

. Laver à la centrifugeuse par H₂O déminéralisée 2 à 3 fois chaque part.

. Tartiner les culots après les avoir bien homogénéisés sur lame scotchée, préparer 3 lames d'argiles saturées Mg.

. Laisser sécher à l'air, retirer le scotch.

Cette deuxième méthode a l'avantage d'être moins agressive vis à vis des argiles que la première car le pH ne descend jamais au-dessous de 2,5, or il est bien connu que l'attaque acide endommage la chlorite et détériore fréquemment d'autres minéraux (CHAMLEY, 1969).

Remarque : Pour beaucoup de déterminations, une saturation des minéraux des argiles par un cation donné se fixant en position interfoliaire à la place de cations variables par leur rayon ionique, leur charge et leur état d'hydratation (en particulier de H⁺ résultant de l'attaque acide), apporte des avantages appréciables. La saturation par Mg⁺⁺, en particulier, n'amène pas de changement par rapport au diffractogramme que donne une argile "nature". En revanche, au moment du glycérolage, la couche d'eau de solvation du cation Mg⁺⁺ (cation hydraté) est remplacée facilement par le glycérol et le gonflement est meilleur ; il est d'autre part toujours le même pour un même type d'argile. Cet échange cationique permet également sur lame glycérolée de différencier les interstratifiés de type illite-montmorillonite (pic à 17 à 18 Å) et illite-vermiculite (pic à 14 Å), (BROWN, 1961).

B - Etude qualitative

Elle a été menée conjointement à partir des données de LUCAS, CAMEZ et MILLOT (1959), THOREZ et Van LECKWIJCK (1967), THIRY (1974), et de la mise au point collective du centre de sédimentologie et géochimie de surface de Strasbourg (1975).

Par ailleurs, à la suite de la publication de MULLER, PARTING et THOREZ (1973), et de divers travaux consacrés à ce sujet (KLINGEBIEL et LATOUCHE, 1962) ; (DUNOYER DE SEGONZAC, FERRERO et KUBLER, 1968) ; (TRAUTH,

LUCAS et SOMMER, 1968) ; (ESQUEVIN, 1969) ; (CHAMLEY, 1969-1971); il nous a paru intéressant de calculer les valeurs de deux paramètres traduisant, d'une part l'état cristallin et d'autre part, la composition cristallo-chimique de l'illite.

D'après THOREZ *in* MULLER, PARTING et THOREZ (1973) :

. "L'indice d'aigu Ia (hauteur à mi-hauteur du pic à 10 Å sur l'échantillon nature, TRAUTH, LUCAS et SOMMER, 1968) permet une distinction entre illite à pic aigu (A), à pic large (L), et illites ouvertes (O).

. Le rapport d'intensité (002)/(001) suivant la méthode proposée par ESQUEVIN (1969) permet, en première approximation et en dehors de toute analyse chimique, de fixer la composition de la couche octaédrique suivant les valeurs du rapport $Al_2O_3/FeO + MgO$. Les différentes "fourchettes" des valeurs établissent cette composition : $> 0,4$: illite alumineuse à composition de muscovite ; $0,3 - 0,4$: illite à composition de phengite ; $0,15 - 0,3$: illite à composition d'un mélange de muscovite biotite ; $< 0,15$: illite très pauvre en alumine, à composition de biotite. Ce rapport d'intensité A est calculé en fonction des hauteurs des pics.

Les auteurs cités ci-avant ont montré qu'une corrélation relativement étroite pouvait exister entre les valeurs de ces paramètres et les vicissitudes de la sédimentation marine et/ou de la diagénèse.

C - Etude semi-quantitative

De nombreux facteurs peuvent influencer et modifier les résultats d'une analyse quantitative par diffractométrie X : granulométrie, cristallinité, orientations préférentielles, (l'orientation des minéraux argileux augmente l'intensité des raies (001) et diminue celle des raies (0k0) et (hk0) ; la désorientation provoque l'effet inverse (KAZI, 1975)), effets de matrice (par son coefficient d'absorption et sa cristallisation : FLEURENCE et LOISEL, 1969).

Malgré ces difficultés, il est possible, si l'on travaille dans des conditions bien définies et identiques, d'évaluer semi-quantitativement les variations des quantités relatives des différentes phases cristallines dans un mélange à partir d'un diffractogramme X.

Plusieurs principes d'estimation relative ont été proposés par divers auteurs. Signalons en particulier celui de BISCAYE (1965) qui se fonde sur l'aire des pics des argiles glycérolées et attribue à cette aire un coefficient variable selon le minéral (celui à 10 Å de l'illite pris comme référence est égal à 1).

Néanmoins, d'après HARLAN, (*in* SCAFE et KUNZE, 1970) et ces auteurs eux-mêmes, les résultats fournis par la hauteur des pics seraient dans bien des cas comparables à ceux donnés par l'aire des pics à condition de les affecter également d'un coefficient variable selon les minéraux. SCAFE et KUNZE (1970) citant BRADLEY retiennent les valeurs suivantes très proches de celles de WEAVER (1958) (sauf pour la chlorite) et de BISCAYE (1965).

Sur échantillon glycérolé :

- . pic à $10 \text{ \AA}$ de l'illite x 1 (référence)
- . pic à $17 \text{ \AA}$ de la montmorillonite x 0,25
- . pic à $14 \text{ \AA}$ de la chlorite x 0,33 (WEAVER (1958) donne x 1, mais l'application de ce facteur de pondération donne des valeurs très différentes des méthodes ci-après mentionnées)
- . pic à $7 \text{ \AA}$ de la kaolinite x 0,40

Remarque : Le pic à $7 \text{ \AA}$ correspond sensiblement à la fois à la kaolinite et à la chlorite. Pour estimer la part qui revient à la kaolinite, le "pourcentage" de chlorite obtenu à partir du pic à $14 \text{ \AA}$ est soustrait de la somme kaolinite-chlorite calculée sur le pic à $7 \text{ \AA}$ (SCAFE, KUNZE, 1970). Cette technique donne des résultats en bon accord avec ceux obtenus après traitement à l'hydrazine. BISCAYE (1964-1965), VENKATARAMATHNAM et RYAN (1971), CHAMLEY (1969) proposent, quant à eux, de se fonder sur le doublet kaolinite-chlorite à $3,5 \text{ \AA}$. C'est la méthode de SCAFE et KUNZE (1970) qui a été retenue en mesurant toutefois, non pas des hauteurs, mais des aires de pics assimilées à des triangles selon le protocole préconisé par CHAMLEY (1969).

La somme des fréquences des composants argileux est conventionnellement choisie égale à 100 *mais en aucun cas les nombres obtenus ne correspondent à des valeurs absolues*. De toute manière, seules les variations des rapports minéralogiques kaolinite/illite, (chlorite/illite) x 3 et (chlorite/kaolinite) x 3 seront discutés. (1) (2).

RADIOGRAPHIES

Sans vouloir entrer dans le détail du calcul du temps de pose nécessaire pour obtenir des clichés avec le noircissement voulu, on peut retenir simplement que ce dernier dépend :

- . de la distance source-échantillon,
- . de l'épaisseur de l'échantillon et de sa nature,
- . des caractéristiques du film (avec ou sans écran Pb),
- . de la tension appliquée à la source de rayons X (pour un débit donné) et de la nature de la fenêtre. (BALTEAUX informations ; 1967, BOUMA, 1969 ; BOURON-ROUGE, 1972).

(1) Le coefficient multiplicateur 3 a uniquement un but pratique. Il rend plus lisible la colonne d'analyse concernant les argiles.

(2) La part revenant à la muscovite dans le pic à $10 \text{ \AA}$ a été négligée.

En fait, pour les échantillons plus ou moins hétérogènes et d'épaisseur variable (mais à faces planes et parallèles) radiographiés pour ce travail, la tension appliquée à la source de rayons x et le temps de pose ont été déterminés de façon plus ou moins empirique.

Pour l'appareil Baltopost BL 100/5 à fenêtre béryllium (Station de Géodynamique Sous-Marine, Villefranche-sur-Mer) et un débit de 20 m A, nous avons retenu les valeurs suivantes :

- . argilites et marnes silteuses du Domérien
65 kv - 1 mn 15 s pour 1,5 cm d'épaisseur
- . calcaire argileux du Carixien
70 kv - 2 mn pour 1 cm d'épaisseur

Les clichés sont pris sur film Agfa-Gevaert, 40 x 10, Structurix D7 PDW avec écran au plomb Agfa-Gevaert Structurix D7 + Pb puis développés par révélateur Kodak L x 24 et fixateur Kodak AL 24.

Pour l'interprétation des radiographies, les travaux des auteurs suivants ont été consultés : HAMBLIN (1962), CALVERT et VEEVERS (1962), BOUMA (1964-1965), KLINGEBIEL, RECHINIAC et VIGNEAUX (1967), BOURON-BOUGE (1972).

Le principe en est le suivant : plus le coefficient d'absorption massique μK du minéral est élevé, plus il apparaît clair sur le négatif.

$$\mu K = \mu^*K / \varphi K$$

- μ^*K , coefficient d'absorption linéaire de l'élément et donné par des tables pour différentes longueurs d'onde,
- φK , est la densité de l'élément.

Ainsi, sur le *positif*, si une lamine riche en quartz apparaît grise, un lit riche en calcaire est gris foncé ; un terrier pyriteux apparaît presque noir ou noir tandis que, en principe, un lit argileux présente une teinte gris clair.

Malheureusement, ainsi que le signalent KLINGEBIEL *et al.* (1967), et l'expérience nous l'a confirmé pour les radiographies de carottes des "*Grès médioliasiques*" *auct.*, les niveaux argileux ne se comportent de cette manière vis-à-vis de rayons X qu'en dessous d'une teneur en Fe_2O_3 inférieure à 2 ou 3 %. Au-delà, la teinte grisée obtenue est plus soutenue que pour les lits gréseux, voire calcaires.

Remarque : Une nouvelle technique apparaît actuellement : la microradiographie. L'échelle obtenue, intermédiaire entre celle de l'oeil nu et celle du microscope électronique, (BOURON-BOUGE, 1972), serait d'un grand avantage pour l'étude des argilites et des shales.

ANALYSE MICROCHIMIQUE QUALITATIVE ET COLORATION SELECTIVE

A - Analyse microchimique qualitative

Nous avons employé cette technique peu usitée, mais pourtant très simple, (STEINMETZ, 1937 ; PARFENOFF *et al.*, 1970) en utilisant la propriété qu'ont certains réactifs de donner des colorations ou des précipités de couleur et de forme cristalline *spécifiques* avec les ions ou produits recherchés. Les réactions, très sensibles, se font sur de très petites quantités de produits à analyser placés sur une lame porte-objet et sont observées au microscope.

$\text{PO}_4^{=}$, $\text{SO}_4^{=}$, Cu^{++} ont été caractérisés de cette manière d'après le mode opératoire proposé par STEINMETZ (1937).

Remarque : La présence de fer masque plus ou moins la réaction spécifique du cuivre avec le réactif de Montequi recommandé par PARFENOFF *et al.* (1970).

B - Coloration sélective

- Différenciation calcite, calcite ferrifère, sidérose

Le ferricyanide de potassium forme un pigment bleu avec le fer éventuellement contenu dans les carbonates (FRIEDMAN, 1959 ; MORRAS, 1975).

L'intensité de la coloration obtenue, le "bleu de Turnbull", serait proportionnelle à la quantité de fer présent et, par combinaison avec la coloration spécifique obtenue à l'aide d'une solution acide d'alizarine rouge, permettrait de différencier calcite, calcite ferrifère, sidérose (MORRAS, 1975).

Les manipulations sont en principe effectuées sur lame mince non couvertes mais nous les avons plutôt utilisées sur section sciée.

- Essai de coloration sélective de minéraux argileux

Comme le préconise MAILLARD (1965), nous avons tenté de faire une étude discriminative à l'oeil nu, sur poudre, de minéraux argileux à l'aide du test du para-amino-phénol en milieu acide.

Les couleurs sont malheureusement plus ou moins masquées par la teinte des minéraux argileux eux-mêmes et les réactions annexes avec les "impuretés" présentes dans l'argilite.

PRELEVEMENTS POUR ETUDE DE LA MICROFAUNE

Pour la série d'apparence macroscopique homogène que constituent les "*Argiles à Amalthées*" *auct.* du Domérien, les prélèvements (300 g) sont effectués selon un intervalle constant de 50 cm. Mais comme il arrive souvent

que dans ce type de formation des zones riches en microfaune alternent avec des niveaux pratiquement azoïques (CHAMBRE SYNDICALE..., 1968) ou que cette microfaune se localise préférentiellement dans des espèces de "nids" (communication personnelle de Mme C. RUGET), nous avons échantillonné chaque fois que l'état du sondage le permettait tout le long des 25 cm sous-jacents à la cote choisie comme référence.

Le "cortex" des carottes constitué soit de cuttings provenant de l'outil de forage, soit d'éléments retombés, sont éliminés par meulage et le tour de la carotte elle-même est usé ou gratté sur quelques millimètres.

Pour les formations où les différenciations lithologiques sont nettes, le prélèvement est fait niveau par niveau en éliminant toutefois les faciès trop indurés pour lesquels la microfaune est étudiée sur lame mince.

Remarque : Il faut cependant noter que d'après MAGNE et DUFAURE (1964), il est possible d'extraire la microfaune des marnes très carbonatées en traitant les échantillons concassés pendant 5 à 7 mn dans un mélange contenant 3 parties de H_2O_2 pour 1 partie de HF.

Sur le terrain, les prélèvements (500 g) sont effectués selon une ligne verticale en suivant le même principe mais, de plus, chaque couche a donné lieu également à un échantillonnage latéral sur une même horizontale.

CONCLUSION

Au terme de ce chapitre consacré à la méthodologie mise en oeuvre pour l'étude sur sondage des sédiments d'abord difficile que sont les argilites silteuses et siltites argileuses, il apparaît que la façon la plus pragmatique et la plus rapide d'enchaîner les différentes opérations et les analyses, est la suivante :

- emballer les échantillons frais dans une enveloppe suffisamment étanche ; elle évite une dessiccation trop rapide et, de plus, maintient l'échantillon lors du sciage,
- scier soit à l'eau, soit à sec, suivant la teneur en eau du matériau, en préparant des plaques longitudinales de 1 à 1,5 cm d'épaisseur,
- radiographier les plaques ainsi obtenues,
- faire le log,
- en fonction des observations antérieures préparer les échantillons pour les lames minces, les analyses physiques, les analyses chimiques, les lavages sur tamis (microfaune, etc...).

Cette façon de procéder est, bien entendu, incompatible avec la mise en oeuvre d'essais de mécanique des sols (boîte de cisaillement, presse triaxiale, oedomètre) où la carotte doit être gardée intacte. Cependant, il est toujours possible de faire quelques prélèvements préalables pour ces essais aux endroits voulus, lorsque l'on a procédé à un premier examen du sondage à l'oeil nu.

Les analyses physiques (granulométrie, sédimentométrie, etc...) et chimiques simples (calcimétrie, matière organique, etc...) peuvent être conduites selon deux schémas de travail :

- . étude fine sur un petit nombre de prises d'essais rigoureusement choisies,

- . analyse rapide sur un grand nombre d'échantillons avec contrôle par des moyens plus fins de la validité de la méthode et du degré de confiance que l'on peut lui accorder.

Nous avons préféré cette deuxième solution étant donné le grand nombre d'échantillons à traiter, ne réservant les études fines que pour les cas particuliers.

Beaucoup de résultats, ceux de sédimentométries, et principalement ceux des estimations semi-quantitatives sur les minéraux argileux, valent surtout par les comparaisons qu'ils permettent d'établir ; les quantifications relatives des minéraux argileux ne correspondent en aucun cas à des valeurs absolues.

En conséquence, il est indispensable, une fois l'étalonnage fait, d'opérer de manière aussi reproductible que possible afin que tous les résultats soient comparables. Il est bon également de prévoir des séries d'analyses peu fractionnées. Cette manière de procéder est d'ailleurs la plus rapide (ALLOUC, 1969).

III - PETROLOGIE

TERMINOLOGIE

A - Terminologie stratonomique

Les termes relatifs à la stratification sont pris dans l'acception donnée par la Chambre Syndicale des Pétroliers (1966). Cependant, "niveau" et "horizon" sont parfois employés comme synonymes d'unité. Ils n'ont pas de sens particulier et désignent simplement une portion d'épaisseur non définie de lit, de couche, voire de formation.

B - Terminologie pétrographique

La description des formations plienschichtiennes requiert l'emploi de termes plus ou moins usités ou pris dans des acceptions différentes selon les auteurs. Il apparaît donc nécessaire d'en faire un rapide commentaire et de préciser le sens qui leur est dévolu.

Il a déjà été fait mention dans le chapitre Méthodologie de la classification retenue et des noms employés pour les différentes tranches granulométriques.

Pour les données pétrographiques, nous avons adopté la classification et les termes figurant dans le tableau ci-après. Ils sont inspirés d'une part de l'Institut Français du Pétrole pour les coupures basées sur les teneurs en CaCO_3 (in BERTRAND, 1969) et d'autre part des propositions de G. MILLOT (1964) pour la dénomination des roches détritiques fines consolidées entrant dans la classe des lutites.

Une argilite est une lutite essentiellement constituée de minéraux de petite taille ($< 2\mu$) et de nature essentiellement phylliteuse.

Au contraire, pour nous, une siltite est une lutite contenant plus de 50 % d'éléments entrant dans la classe des silts (I).

Pour les roches à silts dominants et contenant au moins 40 % d'argiles (mais cette limite n'est pas absolue), nous avons retenu le terme de silto-argilite. Il correspond dans nos sédiments à des lithofaciès encore relativement proches de celui des argilites de la zone à *A. margaritatus*.

(I) D'après G. MILLOT (1964), cette dénomination a un sens minéralogique sous-jacent. "Si bien que parler de silt, de siltite ou de silstone évoque non seulement les grandes tailles de la catégorie des lutites ou, si l'on veut, les tailles supérieures à celles des argiles, mais également la nature pétrographique très silteuse". (op. cit.).

L'adjonction de l'adjectif "arénitique" au terme siltite argileuse intervient lorsque le pourcentage d'éléments compris entre 2μ et 63μ excède 10 % (1).

		0	5	35	50	65	95	100 % CaCO ₃
argiles ($< 2\mu$) dominantes		argilite	argilite calcaire	marne A	marne B	calcaire argileux	calcaire	
		argilite silteuse	argilite silteuse calcaire	----	----	----	----	(2)
éléments $> 2\mu$ (silts & arénites) dominants	argil. $\geq 40\%$	silto - argilite	silto - argilite calcaire	----	----	----	----	
	$< 40\%$ $< 10\%$ arénites	siltite argileuse	siltite argileuse calcaire	siltite marneuse	marne silteuse	calcaire silto - argileux	----	
	$\geq 10\%$ arénites	siltite argilo - arénitique	siltite argilo - arénitique calcaire	----	----	----	----	

Tabl.5 - Terminologie pétrographique et coupures introduites entre les pôles argileux et silteux d'une part, et les pôles terrigène et carbonaté d'autre part.

---- Terme lithologique non rencontré dans le Pliensbachien de la région de Nancy.

(1) Cette valeur est valable uniquement dans notre cas. Elle permet d'introduire une hiérarchie à l'intérieur des siltites argileuses et correspond, pour les roches étudiées, à un aspect légèrement plus "microgréseux".

(2) Les lithofaciès domériens contiennent au moins 40 % de silts.

Remarques : - Un shale est une argilite finement litée (TOURTELOT, 1960 in "Essai de nomenclature des roches sédimentaires", Chambre Syndicale ..., 1961, MILLOT, 1964). Le litage correspond à des microséquences le plus souvent à deux ou trois termes (PALAIN, 1975).

Ce microlitage sédimentaire n'est pas nettement discernable en lame mince dans la formation des "*Argiles à Amalthées*" auct. étudiée ici, bien que la roche ait parfois, en affleurement, une nette tendance au débit en feuillets. Aussi, alors que pour certains auteurs un shale désigne également, d'une manière générale, une roche à grain fin (Chambre Syndicale..., 1961), nous avons préféré garder le terme "*argilite*".

- Le vocable de macigno est parfois employé pour exprimer la nature pétrographique des "*Grès médioliasiques*" auct. Il désigne pour les anciens auteurs cités par L. CAYEUX (1929) un grès argilo-calcaire. L. CAYEUX (1929) résume ainsi sa propre opinion sur ce point de terminologie : "au fond, le macigno tel qu'il vient d'être décrit, est une roche à caractères mixtes, servant de trait d'union entre la mollasse (grès à ciment calcaire) et le grès argileux, qui, lui aussi, réserve une place importante au quartz secondaire".

Ce terme plus ou moins obsolète en France n'a pas été retenu. De plus, un macigno contient généralement un pourcentage appréciable de feldspaths, ce qui n'est pas le cas des roches étudiées.

Par ailleurs, afin d'établir des différenciations dans les roches essentiellement carbonatées (plus de 65 % de CaCO_3), nous nous sommes inspirés, après examen au microscope, de la classification descriptive utilisée au groupe ELF-AQUITAINE (1975) (base Folk, 1959). Toutefois, la définition granulométrique de la micrite ($< 5\mu$), microspathite (1) (5μ à 20μ), spathite (1) ($> 20\mu$) est empruntée à CHILINGAR, BISSEL et WOLF (1967).

Aux termes de la classification de FOLK (1959) modifiée comme il est indiqué ci-dessus, nous adjoignons une dénomination texturale issue des principes et coupures exposés par DUNHAM (1962).

Exemple : Biomicrospathite $\overline{W}$ ($\overline{W}$ pour Wackstone)

(1) Comme le notent CASTAING et GEISLER (1972) in "Contribution à l'étude sédimentologique du Bajocien de la région de Nancy", le terme de spathite proposé par G. LUCAS doit être préféré à celui de sparite de FOLK car, la calcite est caractérisée en français par la racine germanique "Spath".

DONNEES PETROGRAPHIQUES, MINERALOGIQUES ET CHIMIQUES

Les données acquises au cours de cette étude sont présentées d'une manière thématique afin d'en dégager, s'il y a lieu, une évolution temporelle.

L'étude de chaque paramètre pétrologique est abordée dans l'ordre des subdivisions chronostratigraphiques ou lithostratigraphiques du Pliensbachien.

Le Carixien est limité empiriquement, par comparaison avec le sondage de Laneuveville-devant-Nancy, au sommet du "*Calcaire à P. davoet*" auct. (MOUTERDE et LAUGIER, 1967) c'est-à-dire, dans le sondage BONS 2, d'après la courbe calcimétrique, à la cote 32,19 m. La couche marneuse de 25 cm environ qui surmonte directement le "*Calcaire ocreux*" auct. a, pour la même raison, été rapportée au Lotharingien (*ibid.* p. 25).

La limite inférieure des "*Grès médioliasiques*" auct. est placée à la première apparition de *Pleuroceras spinatum* (BRUGUIERE).

A - Données macroscopiques et radiographiques

Les planches hors texte 1-1, 2, 3-1, 4-1, 5-1, donnent l'ensemble des observations macroscopiques effectuées sur les sondages et la carrière de Jeandelaincourt.

1 - Carixien

(Sondage BONS 2 et TOMB 2) (pl. 1-1, 2)

Dans les deux sondages étudiés, le Carixien apparaît, au-dessus du "*Calcaire ocreux*" auct., comme un complexe de 1,80 m environ de puissance formé de deux couches de calcaire argileux gris clair (respectivement 0,85 m pour l'unité inférieure et 0,25 m pour l'unité supérieure), alternant avec deux couches de marnes indurées de couleur gris foncé, de 0,30 m à 0,40 m d'épaisseur. Ces lithofaciès sont très bioturbés et riches en rostrés de Bélemnites - d'où le nom de "*Calcaire à Bélemnites*" auct. parfois donné à cette formation.

La couche calcaire supérieure peut présenter des passées horizontales, plus ou moins diffuses, de couleur rouille, et des alternances de lits clairs et gris foncé d'ordre centimétrique (sondage TOMB 2). Dans le sondage NAVI non étudié en détail, certains rostrés de Bélemnites de cette strate sont entourés par un manchon irrégulier d'algues calcaires. (1)

A l'oeil nu, ou à la loupe de terrain, on distingue dans l'ensemble de la formation carixienne, de nombreux éléments organogènes de taille millimétrique à inframillimétrique.

L'examen des clichés radiographiques malgré le manque de contraste dû à la nature essentiellement carbonatée des échantillons permet également de mettre en évidence l'importance de la bioturbation.

(1) Ce manchon rappelle les structures oncolithiques mais aucune lamination n'est visible en lame mince. Peut-être s'agit-il de pseudoncolithes ? (DAHANAYAKE, CHAMPETIER, HILLY, 1976).

2 - "Argiles à Amalthées" auct.

(Sondage BONS 2 - carrière de Jeandelaincourt) + sondages
BONS 1 (I) (pl. 1-1, 3-1)

La base de cette formation puissante d'une soixantaine de mètres dans la région de Nancy se singularise par l'abondance de phosphates en passées diffuses ou en amas modulaires à bords flous. Au-dessus de cet "horizon" de l'ordre du mètre, les argilites des "Argiles à Amalthées" auct. apparaissent comme un ensemble de couleur gris foncé, relativement homogène, où une observation attentive permet néanmoins de déceler des passées légèrement plus riches en éléments biogènes et en bioturbations (sondages BONS 1 et BONS 2).

La moitié supérieure de la formation est plus différenciée et, à Jeandelaincourt, une lithostratigraphie sommaire peut se dégager de la nature, de la forme, de la taille, et de l'abondance des nodules.

Ce point particulier de géologie locale a été mentionné par de nombreux auteurs, en particulier JOLY (1907), GERARD et TETRY (1938), MAUBEUGE (1955-1961), JOUANNEAU (1974), * Van WERVEKE (1901), KLUPFEL (1918).

Les nodules se répartissent en effet (ALLOUC et HANZO, 1977) en un certain nombre d'unités dont la planche 3-2 donne la répartition et les caractéristiques principales. Elles peuvent être regroupées au sein de deux grandes familles :

- nodules ovoïdes calcaires ou sidéritiques d'ordre centimétrique,

- nodules mamelonnés calcaires d'ordre décimétrique ou métrique.

Ce dernier type présente fréquemment des traces fossiles du type *Thalassinoides*.

Il est, à Jeandelaincourt, associé avec de nombreux terriers et à la partie supérieure de l'unité où apparaissent ces grands nodules mamelonnés, les bioclastes sont nombreux ; on peut même trouver de véritables biocalcirudites. Les "nodules" présentent alors la particularité d'être repris en surface par une bioturbation, voire des perforations de lithophages.

En dehors de ces deux grandes familles de nodules, quelques autres concrétions sont très différentes. Les nodules du niveau JEAN Ic, en particulier, sont très plats et développés latéralement (5 cm de haut pour plusieurs mètres d'extension). Ils montrent (photographie 2) une base enrichie en articles d'Encrines, le plus souvent non en connexion anatomique, et en coquilles de Bivalves.

La transition avec les faciès des "Grès médioliasiques" auct. plus silteux se fait par un ensemble à granulométrie un peu plus grossière, mal défini stratigraphiquement, dont la puissance totale est voisine de 5 m.

(1) Non étudié en détail. Il fait suite, dans l'ordre stratigraphique, au sondage BONS 2. L'ensemble concerne à peu près la moitié inférieure des "Argiles à Amalthées" auct.

A Jeandelaincourt, quelques figures sédimentaires très floues soulignées par des articles de Crinoïdes, du type rides ou chenaux, ainsi que des cordons de nodules phosphatés très fossilifères à surface irrégulière y apparaissent. Nous ne savons si cette observation peut être étendue latéralement.

Il faut noter enfin l'abondance de débris de lignite et de jayet, parfois de grande taille, signalés non seulement à la base de la carrière (non visible maintenant) (JOLY, 1908), mais également - quoique concentrée préférentiellement à certains niveaux - dans toute la formation des "Argiles à Amalthées" auct. (MAUBEUGE, 1946-1955).

Le même auteur (*ibid.*) a également trouvé à 4,50 m sous les "Grès médioliasiques" auct. une petite passée à structure "cone-in-cone" d'allure irrégulière et d'extension limitée (dont un échantillon figure au musée de l'E.N.S.G.).

L'examen radiographique pratiquement en continu des sondages BONS 1 et BONS 2 fait apparaître une assez grande uniformité du matériau argileux. Les clichés mettent en évidence une bioturbation pratiquement monospécifique mais relativement abondante de type particulier en longs tubes pyriteux de très petit diamètre et de direction irrégulière (*) (photographie 3).

A certains niveaux, corrélativement à une bioturbation très développée, apparaissent de nombreux articles d'encrines (photographie 4).

3 - "Grès médioliasiques" auct.

(Carrière de Jeandelaincourt, sondages LUDR 1 et LUDR 3) (Pl. 3-1, 4-1, 5-1)

. Carrière de Jeandelaincourt

Au-dessus des "Argiles à Amalthées" auct. et en "continuité" avec elles, les "Grès médioliasiques" auct. sont constitués par une alternance plus ou moins marquée de siltites argileuses calcaires, de richesse en CaCO_3 et d'induration variables.

La base, si l'on excepte un lit irrégulier d'aspect lumachellique, est peu différenciée. Lorsque l'on monte dans la formation, les bancs marno-silteux, en liaison avec l'accroissement de leur teneur en CaCO_3 sont mieux individualisés. La photographie 5 en donne un exemple.

La partie supérieure est ^{très} fossilifère. La faune benthique (Lamellibranches et Brachiopodes, Crinoïdes) ou nectonique (Bélemnites surtout) se dispose préférentiellement en assemblages de différents types :

- lits discontinus très riches en valves et fragments de coquilles donnant une apparence de rides ou de chenaux dans certains cas (photographie 6). De nombreux rostrés de Bélemnites orientés N 100°E à N 130°E participent à la formation de ces lits,

- accumulations plus ou moins nodulaires de coquilles très

(*) Elle est éventuellement à rattacher au type *Chondrites* (communication personnelle de Monsieur A. HARY).

pélomorphosées qui peuvent passer latéralement au type précédent (photographie 7),

- concentrations à contour grossièrement ovoïde ou lingoïde à l'intérieur de nodules ou bancs nodulaires. Ces accumulations sont formées principalement de valves de Lamellibranches et d'articles d'Encrines irrégulièrement orientés (photographies 8 et 9), ou par une population abondante et monospécifique de Brachiopodes de taille à peu près identique et dispersés un peu en tous sens (photographie 10). Les "nids" de Brachiopodes peuvent passer latéralement à des accumulations de valves entières ou en fragments (photographie 11).

Toute la partie visible de la zone à *P. spinatum*, sauf la couche notée GM < 1 est néanmoins assez fossilifère comme en témoignent la fréquence de la macrofaune et des pistes fossiles. Il faut noter en particulier la présence de nombreux Lamellibranches endobiontes en GM11. Les débris phytogènes de 1 cm à 10 cm environ sont relativement abondants.

En dehors de ces structures localisées préférentiellement dans la partie haute de la carrière (laquelle doit se trouver à 4 ou 5 m sous les "*Schistes cartons*" auct.), on trouve également, à la base comme à la partie supérieure des "*Grès médioliasiques*" auct. (1), des nodules grossièrement ovoïdes très fossilifères et phosphatés. Ceux du sommet sont taraudés.

Sont également fréquents, quelle que soit la lithologie, des nodules ovoïdes phosphatés de 2 à 3 cm à intérieur foncé renfermant très fréquemment des restes de Crustacés. Ils peuvent être engagés dans les grands nodules calcaires fossilifères (photographie 12) ce qui prouve leur antériorité par rapport à ces derniers.

Notons enfin que la couche GM > 1 comme la partie sommitale de plusieurs des interstrates silto-argileuses supérieures, sont parsemées de taches et concrétions limoniteuses centimétriques.

. Sondages LUDR 1 et LUDR 3

Ceux-ci montrent, au-dessus de faciès assez semblables à ceux des "*Argiles à Amalthées*" auct., une alternance constituée :

- de lits de siltite argileuse calcaire grise à débit feuilleté et grosses taches pyriteuses ovales à auréole rouille (pistes du type *Planolites*),

- de lits de siltite argileuse très calcaire (ou marneuse), massive, de couleur gris foncé, à taches noires diffuses, en général assez bioturbés (ichnogénre *Chondrites*). Des laminations du type "*Flachlinsenschichten*" de REINECK et WUNDERLICH (1968) (in REINECK et SINGH, 1975, p. 98) ou "*Evenly laminated sand*" (ibid., p. 105) irrégulièrement disposées, mais toujours horizontales, sont associées à ce lithofaciès. Ces figures

(1) Ils apparaissent même à 1 m en dessous de la base fixée pour les "*Grès médioliasiques*" auct.

sédimentaires d'origine physique qui se rattachent au groupe du "Lenticular bedding" (*ibid.*, p. 97-98) seraient dues, d'après les modèles actuels, à l'apparition dans un milieu relativement calme, favorable au dépôt des argiles, de lit de silts ségrégés par l'action des vagues ou des courants (*ibid.*, p. 105, 106 et 107). BOGARDI (1965) et GUY *et al.* (1966), (*in* REINECK et SINGH, 1975, p. 106) précisent que la vitesse de la masse liquide tractrice doit être inférieure à la vitesse critique d'apparition des rides.

Au-dessus de ces alternances à deux termes, prend place une sédimentation plus variée contenant en particulier :

- des concentrations ou des lits irréguliers de valves et grands fragments coquilliers,
- des structures sédimentaires rappelant, en section verticale, la morphologie de microrides, voire de microchenaux dans certains cas (REINECK et SINGH, 1975, p. 91), (REINECK, EVANS et TERWINDT *in* GINSBURG, 1975),
- des structures sédimentaires de bioturbation (principalement de type *Chondrites*) très abondantes à certains niveaux.

Parfois, (sondage LUDR 1, cote 12,12 m) des lits clairs d'ordre millimétrique constitués surtout de silts quartzeux et de calcite alternent avec des lits riches en argiles et en micas. Cette figure de granoclassement est liée par certains auteurs (REINECK et SINGH, 1972) à l'action des vagues de tempête soulevant par turbulence des nuages de sédiments sur le fond.

Dans la partie supérieure des "Grès médioliasiques" *auct.*, ainsi que cela a déjà été noté à propos de la carrière de Jeandelaincourt, on retrouve des faciès cités ci-avant avec toutefois une plus grande abondance de concentration de valves et bioclastes. Des calcaires silteux et marnes silteuses gris clair (qui correspondent vraisemblablement aux grands nodules mentionnés à propos de la carrière de Jeandelaincourt) apparaissent également. Les terriers deviennent dans l'ensemble plus grands et adoptent une position très oblique ou subverticale.

Les deux sondages LUDR 1 et LUDR 3 se terminent sous les "Schistes carton" *auct.*, par des calcaires et marnes peu silteux mais riches en rostrés de Bélemnites, bioclastes ou coquilles entières.

Cette dernière unité est limitée à sa base par une surface de discontinuité qui, dans le sondage LUDR 1 rappelle les "mud-cracks" (fentes verticales très allongées, en forme de V très pointu, remplies par le matériel sus-jacent (REINECK et SINGH, 1975, p. 50)).

Sur les radiographies de carottes, la base des "Grès médioliasiques" *auct.* présente le même aspect que les argilites des "Argiles à Amalthées" *auct.*. La bioturbation ainsi que la faune (en particulier les articles de Crinoïdes) peuvent être localement abondantes (photographie 13).

Au-dessus - cotes 19,70 m à 12,50 m - les alternances de lits plus ou moins fissiles à *Planolites* (a) et plus ou moins massifs à *Chondrites* et taches noires diffuses (b) font apparaître les caractères suivants :

a) même aspect général que les argilites des "*Argiles à Amalthées*", cependant les plans de fissilité sont nettement plus ondulés (photographie 14),

b) structure nettement plus massive avec apparition intermittente de microstratifications obliques ou très ondulées (microrides ?) parfois associées à d'assez nombreux articles d'*Encrines* dispersés au sein de la roche.

La photographie 15 montre bien la différence qui existe à cet égard entre les lithofaciès a (partie inférieure du cliché) et b (partie supérieure).

Des cotes sondeur 12,50 m à 7,00 m, on retrouve sur les radiographies, les microfigures sédimentaires reconnues lors de l'examen macroscopique. Les niveaux très bioturbés présentent une curieuse structure "oeillée" (CHAMBRE SYNDICALE..., 1966, p. 29) bien visible sur la photographie 16. Les argilites silteuses à bioturbations vermiculées ont disparu.

De la cote 7,00 m jusqu'à 6,00 m, le faciès radiographique change (photographies 17 et 18). Les types de bioturbations reconnus précédemment ont presque disparu. En revanche, apparaissent de très nombreuses taches pyriteuses de taille millimétrique ou centimétrique qui peuvent disparaître brusquement par endroits comme s'il y avait eu remaniement ou érosion (partie supérieure des photographies 17 et 18).

L'unité tout-à-fait sommitale du sondage entre les cotes 6,00 m et 5,58 m sous le faciès "*Schistes carton*" est encore plus riche en pyrite qui se localise suivant des lits plus ou moins diffus. Une partie au moins de cette pyrite épigénise des terriers (photographie 19).

L'ouvrage de REINECK et SINGH (1975) présente p. 495 des photographies de sections verticales de sédiments prélevés dans les zones protégées d'environnements sédimentaires normalement agités. Ces photographies ne sont pas sans rappeler l'aspect des clichés de cette partie sommitale des "*Grès médioliasiques*" auct.

B - Données calcimétriques, granulométriques et examen microscopique

L'analyse, tant granulométrique que calcimétrique, et l'examen détaillé d'un certain nombre d'échantillons, permettent de caractériser les différents faciès carbonatés, argilo-silteux et silto-argileux du Pliensbachien de la région de Nancy.

De par la finesse des éléments détritiques terrigènes des roches du Domérien, notamment des quartz, une partie d'entre eux échappe à l'estimation quantitative globale par examen microscopique. En effet, l'appréciation du pourcentage est effectuée à faible grossissement par comparaison avec des chartes visuelles. Seuls les quartz supérieurs à 15 ou 20 μ sont pris en compte. C'est ce qui explique la faiblesse des pourcentages déterminés eu égard à la terminologie pétrographique employée qui, pour sa part, dérive des mesures de laboratoire (granulométrie et calcimétrie).

Ces pourcentages déduits de l'examen microscopique permettent néanmoins des comparaisons d'un macrofaciès à l'autre.

L'indication de la teneur en CaCO_3 pour tous les lithofaciès, ainsi que celles en arénites, silts et argiles rapportées au terrigène seul pour les roches à matériel argileux et silteux dominant, justifient le nom donné au terme lithologique.

1 - Carixien

(Sondage BONS 2, Pl. 1-2)

1.1 - Calcimétrie

La mesure de la teneur en CaCO_3 sur un grand nombre d'échantillons met en évidence trois aspects importants de la lithologie des calcaires et marnes carixiens.

- La formation carixienne se compose de trois unités lithologiques :

- . une marne contenant de 55 à 60 % de CaCO_3 ,
- . un calcaire argileux à 65 % de CaCO_3 ,
- . un calcaire argileux à 80 % de CaCO_3 .

- Hormis les deux couches de marnes qui présentent entre elles un écart de 10 %, les teneurs en CaCO_3 sont remarquablement constantes à l'intérieur de chacun des types définis ci-dessus. Nous ne trouvons pas la lente décroissance signalée par SAUPE (1967) depuis les "*Calcaires ocreux*" *auct.* jusqu'aux argilites silteuses calcaires de la zone à *A. margaritatus*.

- Dans quelques cas (cotes 33,12 m, 33,63 m), la courbe calcimétrique décroît brusquement. Ce brutal "décrochement" a sans doute une origine primaire mais elle pourrait être exagérée, d'après HALLAM (1964) et SELLWOOD (1970, p. 502), par migration diagénétique de calcaire en fonction du gradient de CaCO_3 .

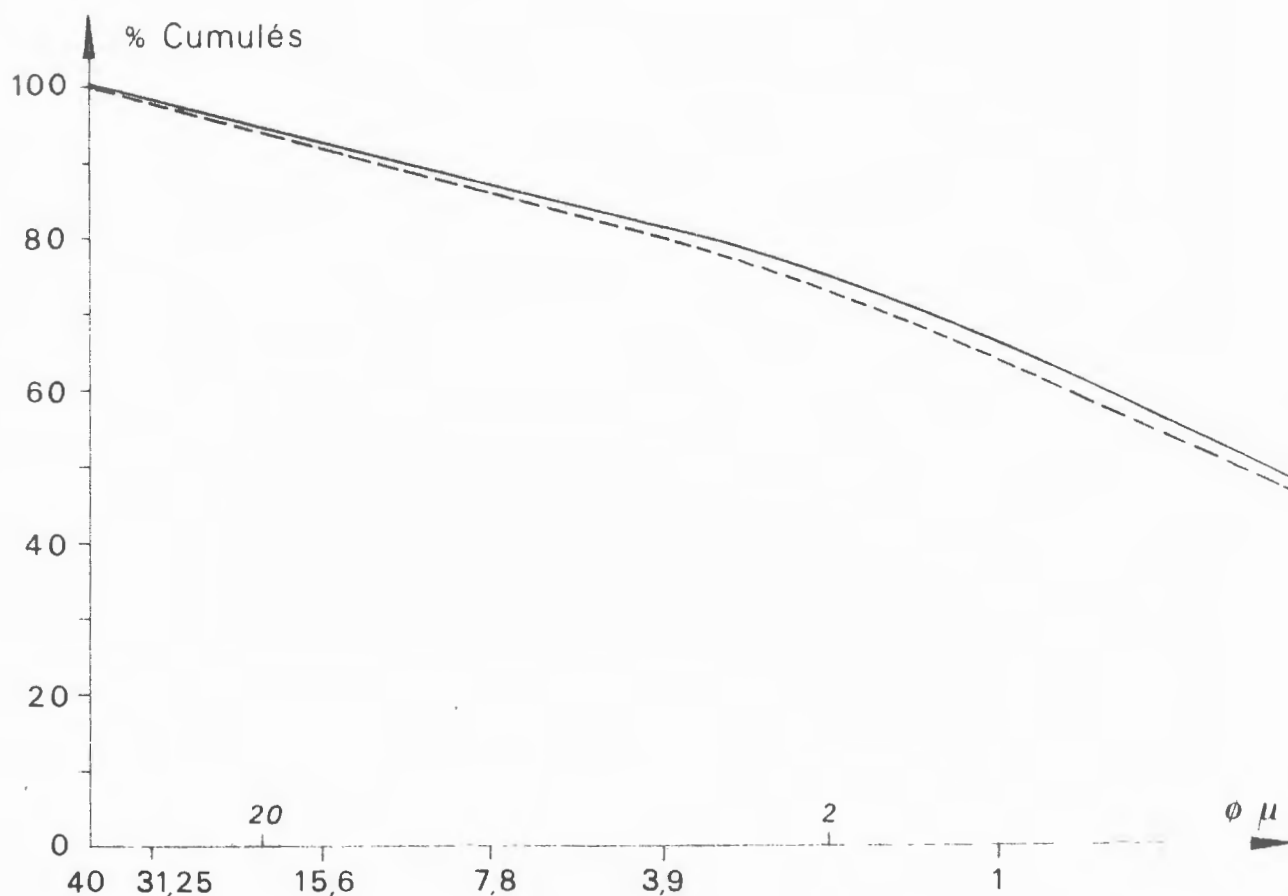
Pour d'autres lits au contraire, il est possible que l'ubiquité de la bioturbation (facteur primordial de la diagénèse) ait "oblitéré" ce contraste.

1.2 - Granulométrie

Le détritique terrigène des calcaires n'a pas été étudié.

Les courbes granulométriques effectuées sur les couches marneuses (fig. 6) et les résultats des analyses figurant sur la Pl. 1-2, mettent en évidence la finesse du détritique extra-bassin.

Les pourcentages de sablons et de silts sont faibles, respectivement 5 % à 25 %, tandis que celui des argiles est élevé (75 %). Il n'y a pas de mode nettement apparent, la médiane se situe vers $0,3\mu$. Le classement est moyen, compris entre 15 et 20.



32,84		33,97	
Sablons	5 %	Sablons	7 %
Poudres	20 %	Poudres	21 %
< 2 μ	75 %	< 2 μ	72 %
Médiane #	0,34 μ	Médiane #	0,40 μ
Q3	2 μ	Q3	2,4 μ
> 63 μ	0 %	> 63 μ	0 %
Silts	25 %	Silts	28 %
P.B.	18*	P.B.	20*

* P.B. se rapporte ici, de part sa définition, uniquement aux particules < 2 μ.

Fig. 6 - Courbes granulométriques cumulées des échantillons 32,84 m — et 33,97 m ---
Sondage BONS 2.

La pente de la courbe de fréquence cumulée est assez régulière mais, toutefois, légèrement plus accentuée en-dessous de 4μ .

D'après les travaux de RIVIERE (1952-1960), son allure tend vers un faciès mixte à la fois logarithmique et hyperbolique.

1.3 - Examen microscopique ⁽¹⁾

En fonction des données précédentes, en particulier de la teneur en CaCO_3 , et de l'examen microscopique (pourcentage de bioclastes, classement, texture selon DUNHAM), quatre lithofaciès ont pu être différenciés.

I - Biomicrospathite P

(Sondage BONS 2, cote 33,35 m - Lame 32₂) (photographie 20)

CaCO_3 : 82 %

Parmi les éléments figurés le quartz, de mode voisin de 40μ , et les micas sont très peu abondants (< 1 %).

Les bioclastes bien classés et subarrondis dans l'ensemble, couvrent 60 à 70 % de la surface de la lame. Ils sont jointifs. Le grain moyen est voisin de 300μ . Le classement est assez bon et les traces d'usure, en particulier sur les articles de Crinoïdes, sont fréquentes.

Les éléments biogènes sont de même nature que dans le faciès "marnes à bioclastes" pour lequel la détermination des principaux éléments organogènes est donnée. Les proportions des différents groupes zoologiques sont à peu près identiques. Les Ostracodes, rares, sont à valves séparées.

Le ciment de granulométrie localement peu différente de 20μ est formé de microspathite ou de pseudospathite. L'effet inhibiteur des impuretés argileuses (20 %) sur la croissance des cristaux est possible de même que celle de la matière organique (les effets de la bioturbation sont bien visibles) (BERNER, 1971, p. 71).

La lame 32₂ met en évidence la nature érosive du contact entre ce faciès et le suivant (biomicrospathite W.) (photographie 20).

Remarque : Par légère baisse du pourcentage de bioclastes, on peut arriver à une "Biomicrospathite W-P" que nous considérons comme sédimentologiquement à peu près identique.

(1) Les numéros attribués aux lithofaciès correspondent à leur emplacement dans la séquence type carixienne.

II - Biomicrospathite W

(Sondage BONS 2, cote 33,15 m - Lame 31) (photographie 21)

CaCO₃ : 78 %

Ce microfaciès est différent du précédent par le pourcentage de bioclastes (20 à 30 %) et leur taille plus petite en moyenne (200μ), mais leur composition est identique.

Le classement est moyen. Les indices de bioturbation ne sont pas négligeables.

Le ciment est nettement microspathitique.

Il est à noter que la lame 23₂ (microfaciès équivalent du sommet du Carixien) comporte un fragment d'Algue calcaire (à rattacher aux Solénopores ?)⁽¹⁾

III - Biomicrospathite argileuse Wa

(Sondage BONS 2, cote 33,55 m - Lame 32₃) (Photographie 22)

CaCO₃ : 66 %

La parenté d'aspect avec le type précédent est assez marquée en ce qui concerne le pourcentage et la taille des éléments (150μ à 200μ). La nature des bioclastes est identique. Le classement est moyen.

De nombreux débris organogènes, dans l'ensemble subarrondis à subanguleux, en particulier les fragments d'Echinodermes, paraissent présenter des indices de dissolution (subsolution ?).

La présence de coquilles longues et peu épaisses indique un milieu de turbulence modérée.

Le ciment est à tendance microspathitique mais la teinte générale de la lame est plus foncée que précédemment à cause de la teneur plus élevée en matrice argileuse.

L'aspect "nébuleux" de la lame traduit l'efficacité de la bioturbation.

IV - Marnes à bioclastes

(Sondage BONS 2, cote 33,05 m) Lame 28₁) (photographie 23)

CaCO₃ : 54 %

Sur un fond microcristallin carbonaté, mais brunâtre en lumière naturelle à cause d'un pourcentage conséquent de gangue, se détachent 30 à

(1) Communication personnelle de Monsieur Y. CHAMPETIER

40 % de bioclastes subarrondis à subanguleux. Ce pourcentage peut atteindre localement 60 - 70 %. Comme pour le terme précédent, la structure d'ensemble plus ou moins "nébuleuse" témoigne de l'importance de la bioturbation.

Le grain moyen est estimé à 100μ - 150μ . Le classement est mauvais : la fourchette granulométrique des éléments biogènes s'étale entre 10μ et 600μ .

Peut être faut-il voir là, en liaison avec le façonnement subarrondi à subanguleux des bioclastes, un témoignage de l'intense activité de prédateurs et de limnivores (WOBBER, 1968, p. 19-20).

Certaines valves peuvent atteindre $2\ 000\mu$ de long pour 60μ d'épaisseur, ce qui indique un milieu peu agité.

Quartz de grain moyen voisin de 30μ et micas sont très peu abondants (< 1 %).

Parmi les éléments biogènes, en fragments ou non, on peut reconnaître principalement :

- des Echinodermes (dominants) : articles de Crinoïdes (abondants), débris de tests et radioles d'Echinides (communs), spicules d'Holothurides ;
- des Lamellibranches (abondants) ;

A côté des organismes appartenant à ces deux phyla, on observe aussi :

- des tubes d'Annélides ;
- des Brachiopodes ;
- des rostrs de Bélemnites dont certains portent des traces de perforation ;
- des carapaces de Crustacés (phosphatées) ;
- une microfaune constituée de Foraminifères et Ostracodes. Ces derniers sont plus nombreux que dans les faciès plus calcaires et les valves ne sont, en général, pas séparées.

Des silicifications secondaires (calcédoine) en relation avec la bioturbation sont visibles par endroits dans la gangue.

2 - "Argiles à Amalthées" auct.

(Sondage BONS 2, carrière de Jeandelaincourt, Pl. 1-2 et 3-2)

2.1.- *Calcimétrie*

Malgré une certaine uniformité d'ensemble confirmée par le sondage BONS 1 qui assure grossièrement la jonction stratigraphique entre le sondage BONS 2 et la carrière de Jeandelaincourt, il est possible de différencier les "Argiles à Amalthées" auct. en un certain nombre d'unités qui se comportent comme des entités au point de vue de la teneur en CaCO_3 :

- depuis la partie inférieure des "*Argiles à Amalthées*" auct. (où se place une décroissance marquée de la courbe de CaCO_3 , en 1 m environ) jusqu'au début de la formation visible à Jeandelaincourt, la teneur en CaCO_3 , après une lente décroissance, se maintient aux environs de 5 % ;

- de la base de la carrière de Jeandelaincourt jusqu'à la fin de la première unité à nodules mamelonnés, le pourcentage fluctue entre 4 et 12 % avec une légère dérive vers les valeurs les plus élevées dans le sens ascendant. Le maximum est atteint au niveau JEAN Ig où les nodules sont repris par la bioturbation et associés à de nombreux bioclastes ;

- après un retour à des valeurs inférieures à 5 %, la présence des nodules sidéritiques coïncide avec des quantités de CaCO_3 très faibles (1,5 à 3 %) ;

- les teneurs remontent progressivement jusqu'à 8 % avec l'apparition des nodules mamelonnés à *Thalassinoides* et arrivent à leur maximum au niveau 4e caractérisé par des nodules taraudés associés à de nombreux bioclastes ;

- au-dessus, jusqu'aux "*Grès médioliasiques*" auct., on enregistre une nouvelle dérive vers les valeurs plus élevées ;

Il faut remarquer que la courbe calcimétrique que l'on pourrait tracer, semble légèrement asymétrique : la croissance paraît légèrement plus progressive que la décroissance (JEAN Ig à 2a, 4e à 4f).

En surimposition à ce schéma d'ensemble, il convient de noter quelques lits irréguliers, minces, mais très carbonatés (JEAN Ib et 4c) et surtout l'apparition épisodique de maxima autres que ceux signalés ci-dessus (JEAN Ic et 1e, éventuellement 2b).

Ces "ventres" de l'enregistrement calcimétrique sont le fait des sédiments les plus riches en fragments de coquilles, lesquels sont très vraisemblablement responsables des variations observées. Cette hypothèse est corroborée par les petites variations traduites par la courbe calcimétrique à la base des "*Argiles à Amalthées*" auct. (tabl. 1-1 et 1-2).

Les nodules mettent également en évidence deux faits intéressants :

- ils sont d'autant plus riches en carbonates que l'encaissant du nodule est plus pauvre. Ce phénomène, qui sera retrouvé à propos du phosphore, est bien visible avec les analyses afférentes à la partie inférieure de la carrière.

- les nodules sidéritiques apparaissent dans les niveaux les plus démunis de CaCO_3 .

2.2 - Granulométrie

La différence avec la granulométrie du détritique des marnes du Carixien est nettement marquée dès la base des "*Argiles à Amalthées*" auct. (Pl. 1-2).

Le tableau 2 met en évidence, malgré un certain nombre de variations périodiques, une relative homogénéité du spectre granulométrique (pl. 1-2 et 3-2). Seuls se distinguent à ce point de vue, quelques "horizons particuliers" comme la partie médiane de JEAN Id, Ic et 4e et les couches de

passage aux "*Grès médioliasiques*" auct.

Les argiles représentent 50 % à 60 % de la roche décarbonatée et les sablons 3 % à 12 %. Le reste est formé de poudres. Il faut noter à cet égard le parallélisme assez remarquable qui existe entre la courbe que l'on peut tracer en joignant les extrémités des échelles graphiques des pourcentages de sablons et d'argiles. L'ensemble argiles + poudres semble former une entité granulométrique dans les conditions de sédimentation qui sont celles de cette partie du Domérien.

Ce n'est qu'à l'approche des "*Grès médioliasiques*" auct. que l'intervalle correspondant aux poudres se rétrécit.

Par ailleurs, les silts constituent 40 à 54 % de l'insoluble ce qui classe ce matériau dans les argilites silteuses ou les silto-argilites (calcaires si le pourcentage de CaCO_3 dépasse 5 %).

Les éléments de la taille des arénites n'apparaissent qu'avec les termes de transition vers les "*Grès médioliasiques*" auct.

Trois "faciès granulométriques" ressortent de l'analyse des courbes cumulatives. (fig. 7)

a) La courbe cumulée de l'échantillon JEAN 3C₁ est convexe vers le haut dans les sablons et les poudres, légèrement concave vers le haut dans les argiles à partir de 4 - 5 μ .

Sablons et poudres jusque vers 4-5 μ présentent donc un faciès intermédiaire entre le "faciès logarithmique" et le "faciès hyperbolique" de RIVIERE (1952).

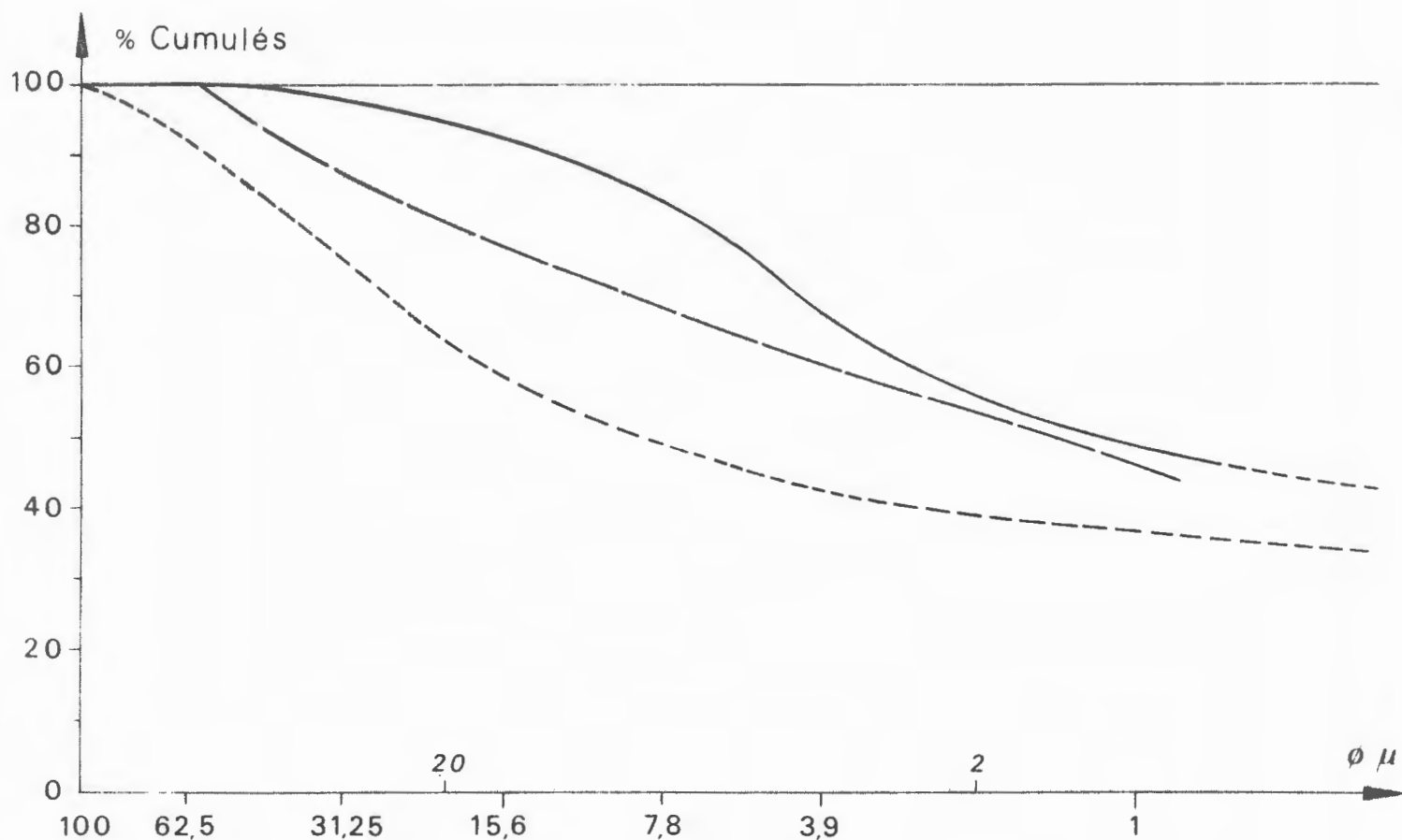
b) Le graphe relatif à l'échantillon JEAN 4e est différent, nettement plus proche du "faciès logarithmique" (toutefois légèrement concave vers le haut), ce qui indique une tendance vers le "faciès parabolique"; ses paramètres statistiques sont ceux d'un matériau légèrement plus grossier.

c) La courbe de fréquences cumulées de l'échantillon JEAN 5a₁₋₁ concave vers le haut tend vers le "faciès parabolique".

Les courbes cumulatives a et b traduisent une répartition plus ou moins unimodale de la population granulométrique. Le point d'inflexion se situe le plus souvent vers 4 μ (fig. 8), mais les niveaux particuliers signalés ci-dessus montrent un déplacement du mode vers 6 ou 7 μ .

Le mode toujours placé à gauche de la médiane, donc du côté des grains les plus grossiers, exprime l'asymétrie positive de la courbe de fréquence. Le classement est donc plus sélectif pour les grands diamètres que pour les petites dimensions.

Dans la zone de passage aux "*Grès médioliasiques*" auct. (courbe c), le mode atteint 25 μ et un léger "ados" au-dessus de 5 μ témoigne de l'existence d'un deuxième maximum de la courbe de fréquence (fig. 7). Cette bimodalité traduit la présence de deux familles granulométriques dans la composition du matériau.



<u>3c_I</u>		<u>4e</u>		<u>5a_{I-I}</u>	
Sablons	5 %	Sablons	19,5 %	Sablons	26 %
Poudres	39 %	Poudres	26,5 %	Poudres	25 %
< 2 μ	56 %	< 2 μ	54 %	< 2 μ	39 %
Médiane	1,1 μ	Médiane	1,4 μ	Médiane	8 μ
Q3	5,2 μ	Q3	13 μ	Q3	31 μ
> 63 μ	0 %	> 63 μ	0 %	> 63 μ	7 %
Silts	44 %	Silts	46 %	Silts	54 %
P.B.	12	P.B.	15	P.B.	16

Fig. 7 - Courbes granulométriques cumulées des échantillons JEAN, 3c_I (20,20 m) — , 4e (26,40 m) — — — , 5a_{I-I} (29,00 m) - - - - -.

2.3 - Examen microscopique (1)

Grâce aux données précédemment acquises, et en fonction de la classification adoptée, on peut reconnaître au sein des sédiments des "Argiles à Amalthées" *aut.* trois lithofaciès. Deux sont décrits en détail (argilite silteuse et argilite silteuse calcaire), le troisième sera étudié avec les "Grès médioliasiques" *aut.* où le microfaciès nous paraît plus caractéristique.

Un résumé des principaux caractères microscopiques des nodules de cette formation sera donné *in fine*.

7) Argilite silteuse calcaire

(Carrière de Jeandelaincourt, cote 7,50 m - lame 2-1) (photographie 24)

Silts : 45 % ; Argiles : 55 % ; CaCO_3 : 10 %

Sur un fond presque uniquement constitué de minéraux très fins, en particulier d'argiles, dont l'orientation, identique à celle des micas, ressort en lumière polarisée analysée, on peut noter la présence de 1 % à 3 % environ de grains de quartz anguleux. La taille du grain moyen est de 35μ , le grain maximum atteint 50μ .

Les micas de 30μ à 40μ en moyenne, parfois difficiles à distinguer des autres phyllosilicates, couvrent 1 à 2 % de la surface de la lame. Bien qu'irrégulièrement répartis, ils sont disposés parallèlement à la surface de stratification.

A ces détritiques terrigènes sont associés environ 3 à 5 % de fragments biogènes de 60 à 70μ en moyenne, subanguleux à subarrondis, à contours plus ou moins flous. Ils peuvent atteindre 250μ . L'appartenance à tel ou tel groupe zoologique est difficile à déterminer, sauf pour ceux - les plus nombreux - qui présentent une nette extinction échinodermique.

2 à 3 % de corpuscules noirâtres allongés à circulaires de 20μ à 50μ parsèment le fond argileux. La nature pyriteuse de quelques uns d'entre eux peut être mise en évidence, mais ce n'est pas la majorité. Il peut s'agir également, pour une partie au moins, de débris phytogènes.

Par endroits, la matrice argileuse apparaît carbonatée.

Remarque : Il est possible qu'une certaine rythmicité d'amplitude égale à 2 ou 3 mm bien que peut nette, caractérise ce microfaciès. Elle serait constituée par une alternance de lits plus riches en allochèmes et éventuellement en quartz, et de lits plus riches en micas.

8) Argilite silteuse

(Sondage BONS 2, cote 27,75 m - lame n° 3) (photographie 25)

(1) Je tiens à remercier mon Collègue J.P. TROALEN qui m'a permis d'examiner ses lames.

Les numéros attribués aux lithofaciès correspondent à leur emplacement dans la séquence type domérienne.

Silts : 40 % ; Argiles : 60 % ; CaCO_3 : 3 %

Ce microfaciès montre quelques différences avec le précédent.

Les quartz sont moins abondants : 1 %. La taille du grain moyen est un peu plus petite, voisine de 25μ , elle ne dépasse pas 35μ .

La dissimilitude provient principalement des allochèmes. Ils sont nettement moins bien représentés (seulement 1 %) et leur dimension reste en général comprise entre 30μ et 50μ . Ils sont subanguleux à subarrondis.

3 % de granules foncés de même apparence que ceux du faciès 7, mais moins bien classés (5μ à 100μ), se répartissent au hasard sur le fond argileux.

Remarque : Selon de concept de maturité texturale appliqué aux roches détritiques à grain fin (FOLK, 1951, p. 129), il s'agit ici d'une argilite *submature* à *mature* impliquant un bon tri du stock côtier fournisseur en particules fines.

a) Nodule de calcaire argileux ovoïde

(Carrière de Jeandelaincourt - Lame JEAN nod IC₂) (photographie 26)

Au microscope, il s'agit d'une micrite argileuse à micas et quartz très rares. Quelques allochèmes - surtout des articles d'Encrines avec des Lamellibranches - et des Foraminifères sont présents, mais ils représentent moins de 1 %. Il faut noter également la présence de taches phosphatées et de grandes pelotes de même nature que le nodule dans un terrier à ciment sidéritique confectionné lorsque le nodule était à l'état plastique (halo de déformation) (RHOADS, p. 400 *in* CRIMES et HARPER, 1970 ; RHOADS, p. 153 *in* FREY, 1975). On peut donc en déduire une origine au plus syndiagénétique de ce nodule.

b) Nodule sidéritique ovoïde

(Carrière de Jeandelaincourt - Lame JEAN nod 3b)

Si l'on excepte la nature sidéritique du ciment micritique et la très faible abondance d'allochèmes, l'examen microscopique ne révèle pas beaucoup de différence avec les nodules décrits ci-dessus.

Les fissures minéralisées montrent la localisation aux épontés des minéraux opaques, le reste étant rempli de spathite.

Parfois (lame JEAN 3c₂), on peut également observer dans les fissures :

- de très beaux cristaux automorphes de sidérose pris dans le ciment spathitique ;

- de la barytine, en grands cristaux plus ou moins parallèles ou légèrement radiés, partant d'une éponte ou remplissant complètement la fente minéralisée.

c) "Nodule" de calcaire argileux mamelonné (*Thalassinoides*)

(Carrière de Jeandelaincourt - Lame JEAN nod 4b₁) (photographie 27)

Se détachant du fond micritique, on compte 3 % de quartz de 25 μ à 30 μ en moyenne et un pourcentage identique de petits bioclastes émoussés de 50 μ à 100 μ . Les indices de bioturbation, épigénisés en pyrite ou non, peuvent être assez nombreux par endroits (Lame JEAN nod 4b₂).

Les "nodules" à perforation de lithophages (Lame JEAN nod 4e) ont très sensiblement le même microfaciès.

3 - "Grès médioliasiques" auct.

(Carrière de Jeandelaincourt, sondages LUDR 1 - LUDR 3, pl. 3-2, 4-2 et 5-2)

3.1 - *Calcimétrie*

Les sondages LUDR 1 et LUDR 3 étudiés en détail font ressortir, au-dessus d'une "ligne de base" comprise entre 3 et 5 % dans la partie inférieure et 7 à 10 % dans la partie supérieure, la présence épisodique de décrochements de la courbe des carbonates. L'allure de ces dérives peut être classée dans l'un des quatre groupes suivants :

a) très prononcée et brutale à la base avec une nette asymétrie. La teneur en CaCO₃ atteint 25 %, voire 35 %.

Exemple : LUDR 1 15,00 m à 14,66 m ; 13,50 m à 13,25 m
LUDR 3 14,25 m à 13,75 m ; 12,75 m à 12,25 m

Les lithofaciès correspondants sont les lits les plus carbonatés et à taches noires diffuses de la partie médiane des "*Grès médioliasiques*" auct.

b) peu prononcée mais relativement brutale à la base, la dissymétrie apparaît encore. Le pourcentage de CaCO₃ devient sensiblement égal à 10 %.

Exemple : LUDR 1 18,00 m à 17,50 m ; 16,25 m à 16,00 m
LUDR 3 17,25 m à 16,50 m

Ce sont les courbes calcimétriques des lits les plus indurés à taches noires diffuses de la base des "*Grès médioliasiques*" auct.

c) peu prononcée et relativement progressive. La proportion de CaCO₃ dépasse légèrement 20 %.

Exemple : LUDR 1 12,12 m à 11,75 m
LUDR 3 10,50 m à 10,32 m

Ce type de courbe calcimétrique est lié à la présence de structures sédimentaires, en particulier de microrides.

d) prononcée, mais le décrochement de base ne s'assortit pas d'une asymétrie de la courbe comme dans les deux cas précédents a) et b). Le pourcentage maximum de CaCO₃ est voisin de 65 - 70 %.

Exemple : LUDR 1 7,50 m à 6,50 m
LUDR 3 10,25 m à 9,75 m

Ces caractères semblent être ceux des nodules de la partie supérieure des "*Grès médioliasiques*" *auct.* (visibles par ailleurs dans la carrière de Jeandelaincourt).

3.2 - Granulométrie

Sur l'ensemble du sondage, de bas en haut, le pourcentage de sablons augmente de 21 % à 62 % tandis que celui des argiles reste compris entre 40 % et 18 %. Les poudres représentent 45 % à 21 %.

Le rapport valeur maximale/valeur minimale est donc de 3 pour les sablons (facteur dominant des dérives granulométriques), tandis qu'il n'est que de 2 pour les argiles et poudres.

Ces fluctuations ne doivent toutefois pas cacher les faibles variations d'ensemble de la granulométrie. En effet, les silts restent toujours dominants. La teneur en arénite excède rarement 17 % et ne dépasse pas 20 %.

La médiane et le coefficient de classement (paramètre de BIETLOT) traduisent (hormis la partie tout à fait supérieure particulière), une dérive générale vers des sédiments un peu plus grossiers (médiane allant de $5,6\mu$ à 28μ) et un peu mieux classés dans l'ensemble (encore que ceci ne soit pas très net car le matériau est toujours assez hétérométrique).

La figure 8 fournit un échantillonnage de deux types de courbes granulométriques des "*Grès médioliasiques*" *auct.*. Nous y avons adjoint le graphe obtenu à partir du terrigène des marnes à bioclastes de la partie supérieure du sondage LUDR 1 (Toarcien ?).

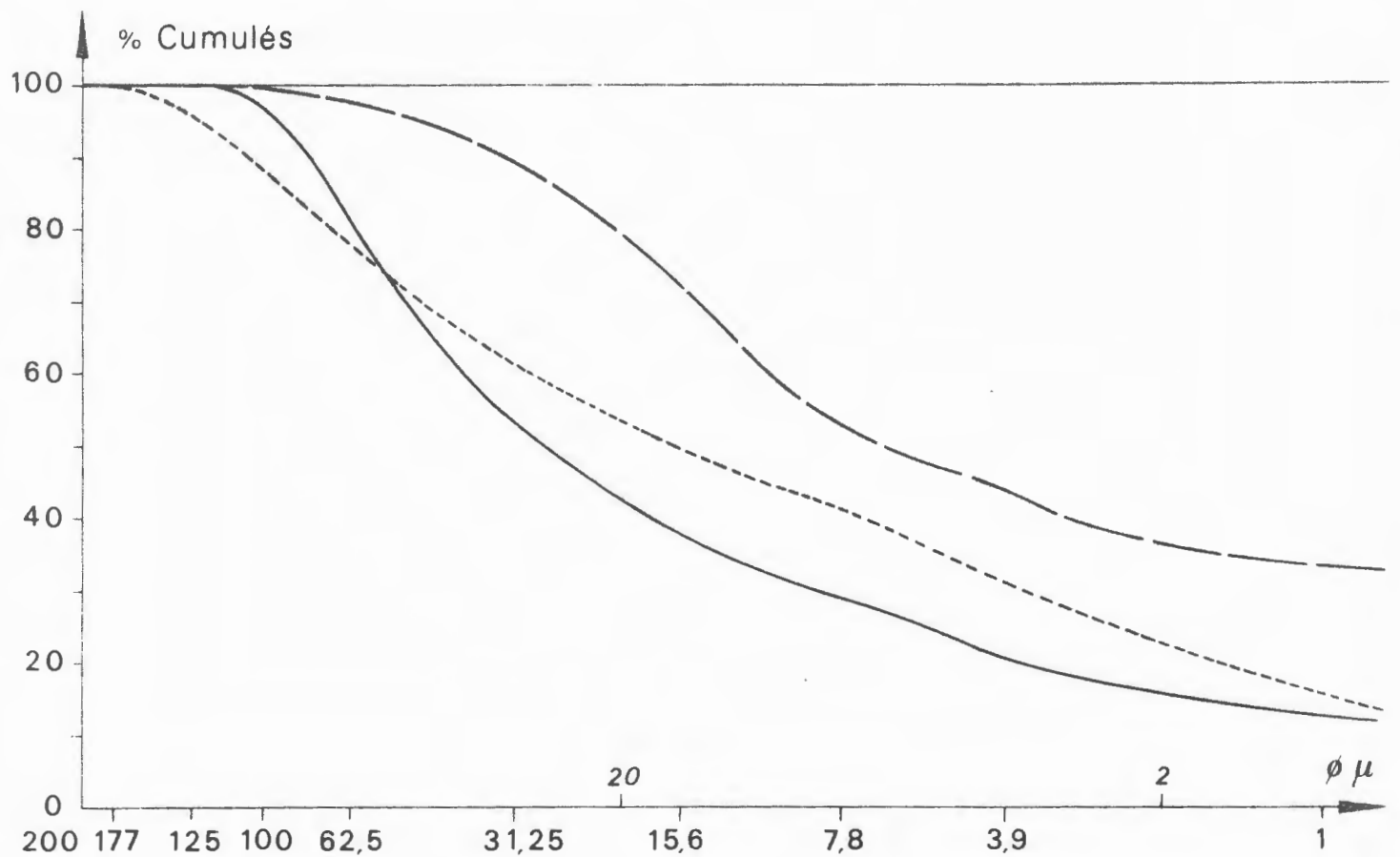
a) La famille la plus fréquente, au moins à la base des "*Grès médioliasiques*" *auct.*, présente un "ados" dans les sablons et les poudres et une légère concavité vers le haut dans les argiles, le point d'inflexion principal se situant dans les poudres vers 15μ (LUDR 1, 19,65 m). Ce faciès granulométrique est en fait peu différent de celui de l'échantillon JEAN 3c₁ déjà analysé antérieurement. Néanmoins, ce type mixte acquiert ici un aspect "parabolique".

b) D'autres courbes sont à caractères franchement "parabolique" et le classement dans les sablons est prononcé (LUDR 1, 12,07 m). Le point d'inflexion se déplace dans les sablons, vers 30 ou 40μ .

Il faut noter pour ces deux faciès granulométriques qu'un deuxième point d'inflexion peut se dégager, vers 4 ou 5μ , de la forme de la courbe de fréquence cumulée. Il représente l'équivalent atténué du mode de la population granulométrique reconnu dans les "*Argiles à Amalthées*" *auct.* La courbe granulométrique est donc bimodale et traduit ainsi une dualité dans la mise en place des sédiments.

L'asymétrie du spectre granulométrique (mode principal à gauche de la médiane) souligne la plus grande sélectivité du classement pour les éléments de dimension supérieure à la médiane.

c) La troisième famille illustrée par la courbe de l'échantillon (LUDR 1, 5,79 m) est proche du "faciès logarithmique" avec une légère convexité vers le haut dans les sablons.



12,07	
Sablons	58 %
Poudres	26 %
< 2 μ	16 %
Médiane	28 μ
Q3	59 μ
Q1	6 μ
> 63 μ	19 %
Silts	65 %
P.B.	38

19,65	
Sablons	21 %
Poudres	44 %
< 2 μ	40 %
Médiane	56 μ
Q3	17,5 μ
Q1	/
> 63 μ	2 %
Silts	60 %
P.B.	32

5,79	
Sablons	46 %
Poudres	29 %
< 2 μ	25 %
Médiane	15 μ
Q3	55 μ
Q1	2,35 μ
> 63 μ	21 %
Silts	54 %
P.B.	21

Fig. 8 - Courbes granulométriques cumulées des échantillons LUDR I, 12,07 m ———, 19,65 m ————, 5,79 m - - - - -.

C'est le faciès granulométrique de la partie sommitale du sondage LUDR 1 au-dessus de la cote 6,00 m (Toarcien ?).

Schématiquement, de la base du sondage LUDR 1 jusqu'à la cote 12 m, le type a est prépondérant ; au-dessus, le type b devient dominant. Toutefois, cette dérive subit de nombreuses fluctuations en fonction de la lithologie. Les courbes granulométriques sont en général intermédiaires entre les deux exemples a et b étudiés ci-dessus.

Au-dessus de 6 m, on passe au type c.

3.3 - Examen microscopique ⁽¹⁾

La combinaison des teneurs en CaCO_3 et des pourcentages respectifs en sablons, poudres et argiles calculés sur le détritique terrigène, ainsi que l'éventuelle présence de valves et fragments de coquilles, conduisent à distinguer sept grands types de lithofaciès. Ils sont classés dans l'ordre décroissant du pourcentage en arénites et silts.

Des termes lithologiques de caractéristiques intermédiaires assurent le passage continu d'un lithofaciès à l'autre.

Deux autres faciès appartenant à la partie tout à fait supérieure du sondage LUDR 1, (Toarcien ?), ont été décrits ⁽²⁾.

1) Siltite argilo-arénitique coquillière

(Lame LUDR 1 26_I, cote 8,05 m) (photographie 28)

Arénites : 19 % ; Silts : 65 % ; Argiles : 16 % ; CaCO_3 : 20 % (sans coquille)

Les quartz, de mode voisin de 50μ ou 60μ , anguleux à subanguleux, avoisinent 25 à 30 %. Le grain maximum dépasse 100μ . Les micas sont peu nombreux, inférieurs à 1 %.

Les bioclastes plutôt subarrondis - 80μ à 200μ - représentent 5 %.

A côté de ceux-ci, on observe de grandes valves, soit plus ou moins entières mais déformées, soit cassées, de Brachiopodes et de Lamellibranches qui, avec quelques grosses entroques (2 à 3 mm), constituent 7 à 10 % de la surface de la lame.

Le ciment calcaire est dans l'ensemble microspathitique mais de la pseudospathite est visible par endroits.

Parfois, des pelotes phosphatées (lame LUDR 1 20, cote 7,30 m) ou un ciment phosphaté isotrope (Jeandelaincourt - Lame GM 12) sont

(1) Les numéros attribués aux lithofaciès correspondent à leur emplacement dans la séquence type domérienne.

(2) Des lithofaciès de caractéristiques intermédiaires entre celles des deux termes lithologiques décrits existent, mais cette partie du sondage n'a pas fait l'objet d'une étude détaillée.

associées à ce lithofaciès.

Si l'on ne tient compte que du détritique terrigène, ce terme, selon les idées développées par FOLK (1951) sur le degré de maturité texturale, est submature à légèrement mature.

2) Siltite argilo-arénitique calcaire

(Lame LUDR 1 16₄, cote 6,60 m) (photographie 29)

Arénites : 17 % ; Silts : 66 % ; Argiles : 17 % ; CaCO₃ : 13 %

Le quartz, de mode proche de 50 μ , anguleux représente environ 25 à 30 %. Le grain maximum atteint 100 μ .

Les micas (1 à 2 %) de dimension voisine de 100 μ sont plus ou moins bien orientés.

5 à 7 % de bioclastes, en général de la taille des silts grossiers ou des arénites fines, subarrondis dans l'ensemble, parsèment le fond de la lame.

Le ciment est microspathitique, parfois pseudospathitique dans des zones localisées.

3) (a) Calcaire silto-argileux

(Lame LUDR 1 18, cote 7,12 m) (photographie 30)

Arénites : 9 % ; Silts : 70 % ; Argiles : 21 % ; CaCO₃ : 67 %

Ce faciès, le plus calcaire de ceux rencontrés dans les "*Grès médioliasiques*" *auct.*, se trouve très généralement associé avec les siltites argilo-arénitiques coquillières.

Outre le fond calcitique (pseudospathite), on compte : 10 % de quartz de 40 μ à 50 μ en moyenne, subanguleux à anguleux, bien classés (le grain maximum est de 90 μ), très peu de micas (> 1 %), des grains de collophanite assez fréquents, de rares plagioclases et éventuellement quelques minéraux lourds (zircon, tourmaline).

Les bioclastes (50 μ à 100 μ en moyenne) posent un difficile problème d'évaluation par rapport aux cristaux de spathite. Néanmoins, on peut estimer leur fréquence à 5 % ou 7 %. Il faut remarquer qu'ici, la taille des détritiques organogènes est de l'ordre de grandeur de celle des grains de quartz, ce qui plaide en faveur d'une origine allochtone de ceux-ci (HALLAM, 1960, p. 18).

Remarques : - Le ciment est ici à tendance pseudospathitique affirmée par endroits, en liaison avec le faible pourcentage de matrice argileuse (BAUSCH, 1968 ; WIEDER et YAALON, 1974), bien que certains auteurs soient d'un avis opposé (HALLAM, 1960, p. 7). Peut-être faut-il prendre en considération une notion de seuil quantitatif en deçà et au-delà duquel chacun des deux processus devient respectivement prépondérant (MURAVYOV, 1970).

- Dans certains cas (Lame LUDR 1,42₃, cote 12,17 m), le pourcentage en quartz peut atteindre 20 - 25 %. Il s'agit de lits très

particuliers ou les rythmes - quartz + spathtite à la base, argiles + micas au sommet - sont très marqués. Ce sont des microclastogradites au sens de MANGIN (1975).

3) (b) Marne silteuse

(Lame LUDR 1 47, cote 13,38) (photographie 31)

Arénites : 7 % ; Silts : 70 % ; Argiles : 23 % ; CaCO_3 : 37 %

Ce faciès moins carbonaté que le précédent fait néanmoins ressortir une certaine parenté d'aspect avec lui. Toutefois, les quartz sont un peu plus abondants (15 %) et les micas un peu moins rares (environ 1 %). La muscovite est dominante.

On peut déterminer en outre des débris phosphatés (assez bien représentés) et quelques grains de feldspaths (oligoclase - andésine ?).

Les bioclastes, plutôt subarrondis, à contours flous, bien classés, difficiles à distinguer du ciment microspathitique à pseudospathitique, de dimension ordinairement comprise entre 50 μ et 100 μ , couvrent à peu près 5 à 7 % de la surface de la lame.

Une partie importante des carbonates de ces marnes semble donc d'origine chimique. La porosité inter-granulaire, le stock originel, l'effet de nucléation (BERNER, 1971, p. 107) ont pu par ailleurs, au moment de la diagénèse, favoriser la formation, voire la ségrégation préférentielle des carbonates appartenant au ciment.

4) Siltite marneuse (ou argileuse très calcaire)

(Lame LUDR 1 60, cote 14,83 m) (photographie 32)

Arénites : 5 % ; Silts : 65 % ; Argiles : 30 % ; CaCO_3 : 22 %

- Quartz : 15 %, grain moyen: 35 μ - 40 μ , grain maximum : 80 μ - 90 μ ; subanguleux à subarrondis, assez bien classés ;

- Micas : 1 %, à peine plus abondants que dans le faciès 3 (b) précédent. La muscovite est nettement dominante ;

Allochèmes : 3 à 5 % environ, subarrondis plutôt que subanguleux, assez bien classés, le plus généralement compris entre 50 μ et 100 μ .

Les grains de phosphates sont moyennement abondants et les silicifications secondaires peu fréquentes. On peut noter également la présence de quelques grains de glauconite de 60 μ environ et de minéraux lourds de 10 μ à 20 μ .

Les taches noires diffuses qui parsèment ce faciès, sont constituées de pyrite. Le ciment est à tendance microspathitique affirmée, et passe à la pseudospathite par endroits (bioturbation).

Les traces de remaniement d'origine organique sont assez abondantes.

5) Siltite argileuse calcaire

(Lame LUDR 1 59₂, cote 16,60 m) (photographie 33)

Arénites : 4 % ; Silts : 61 % ; Argiles : 35 % ; CaCO₃ : 12 %

Le microfaciès de ce terme ne diffère pas sensiblement du précédent par le pourcentage de quartz, mais ils sont légèrement plus petits dans l'ensemble, et les micas sont plus abondants :

- quartz : 15 % ; mode voisin de 30 μ ou 35 μ , grain maximum 80 μ , anguleux à subanguleux. Le fort grossissement fait ressortir des indices possibles de corrosion ;

- micas : 3 % ; 70 μ à 200 μ ; orientés dans l'ensemble parallèlement à la surface de stratification ;

- muscovite dominante, avec chlorite et un peu de biotite.

Les autres éléments figurés ont des tailles et des pourcentages similaires à ceux du faciès précédent.

Quelques très rares feldspaths maclés albite (oligoclase-andésine ?) et minéraux lourds (zircon en particulier) sont discernables dans la lame mince.

Les phénomènes de silicification secondaire (calcédoine microcristalline), très localisés et vraisemblablement en relation avec la bioturbation, sont assez fréquents.

La calcite, micritique à microspathitique, apparaît très bien à l'intérieur de la porosité intergranulaire.

Les contacts quartz-micas mettent en évidence la déformation des phyllosilicates lors du tassement.

Les indices de bioturbation sont assez communs.

La légère diminution de la taille des grains et au contraire l'augmentation du pourcentage de micas et de matrice argileuse, ainsi qu'un classement un peu moins bon, indiquent un niveau d'énergie un peu plus faible pour ce faciès que pour le précédent.

6) Silto-argilite calcaire

(Lame LUDR 1, 71_I, cote 18,80 m) (photographie 34)

Arénites : 4 % ; Silts : 55 % ; Argiles : 41 % ; CaCO₃ : 17 %

Les minéraux argileux, orientés parallèlement à la surface de stratification, forment toujours le constituant principal.

Les pourcentages des éléments reconnus sont les suivants :

- quartz : 7 % à 10 % ; mode compris entre 30 μ et 35 μ , grain maximum 90 μ , subanguleux à anguleux ;

- micas : 2 % ; dimension comprise entre 60 μ et 200 μ ; muscovite dominante, biotite, chlorite ; ils sont orientés parallèlement à la

stratification ;

- allochèmes : 3 à 4 %, localisés préférentiellement avec les quartz, subarrondis à subanguleux, à contour plus ou moins flou (sub-solution ?). Ce sont principalement des débris d'Echinodermes et de Lamellibranches de dimension comprise entre 100 μ et 250 μ .

Quelques grains de collophanite sont également visibles de même que 2 % de grains opaques irréguliers.

Biomicrospathite P

(Lame LU DR 1 12, cote 5,87 m) (photographie 35)

CaCO₃ : 63 %

Ce microfaciès rappelle celui observé dans le Carixien :

- quartz : 2 à 3 % ; grain moyen : 60 μ à 70 μ , grain maximum 125 μ ;
- micas : 1 %, voisins de 150 μ ;
- bioclastes : 50 à 55 %, 50 μ à 800 μ avec un mode situé vers 250 μ .

On peut y reconnaître une grande abondance d'articles d'Encrines et de fragments de Lamellibranches associés à quelques débris d'Echinides, Brachiopodes, Gastéropodes et tubes d'Annélides. Tous ces bioclastes, orientés en tous sens, sont plutôt subanguleux. Le classement est assez médiocre.

Quelques phénomènes de silicification secondaire parsèment le fond constitué par une matrice argileuse associée en proportions variables à un ciment soit micritique dans les zones les plus bioturbées, microspathitique à pseudospathitique ailleurs (la pseudospathite apparaît dans les plages les plus riches en bioclastes).

La pyrite est très abondante, en petits cristaux à section presque carrée ou en amas.

Les indices de bioturbation sont fréquents.

Marne à bioclastes

(Lame LU DR 1 10, cote 5,75 m)

CaCO₃ : 37 %

Comme le précédent, ce microfaciès a une certaine parenté d'aspect avec son équivalent carixien.

- quartz : 2 à 3 % ; grain moyen : 50 μ - 60 μ , grain maximum : 125 μ ;
- bioclastes : 10 %, 35 μ à 800 μ ; la moyenne est comprise entre 250 μ et 300 μ ; ils sont plus ou moins cassés, subanguleux. Les groupes zoologiques présents sont identiques à ceux reconnus dans le faciès "biomicrospathite P".

La matrice argileuse abondante laisse néanmoins transparaître par endroit, un ciment calcaire micritique.

Pyrite et phénomènes de silicification se retrouvent aussi dans cette lame.

La bioturbation abondante est cause de l'orientation désordonnée des éléments.

L'abondance de pyrite, la morphologie anguleuse des bioclastes, l'absence de maturité texturale (FOLK, 1951) placent l'environnement sédimentaire de ce faciès dans les niveaux d'assez faible énergie.

a) Nodule ovoïde phosphaté

(lame LUDR 1 48_T, cote 13,85 m) (photographie 36)

Sur un fond brunâtre en lumière naturelle et éteint en lumière polarisée analysée, (collophanite), se détachent quartz et micas suivant des proportions identiques à celles de l'encaissant : respectivement 10 - 15 % et 3 %.

Il faut noter dans ces nodules : premièrement l'abondance de la bioturbation, en particulier vers le centre, ou celle-ci a repoussé les éléments figurés ; deuxièmement, la plus grande quantité de phosphates au centre qu'à la périphérie, un peu comme si la phosphatisation était centrifuge.

Les micas n'adoptent pas de disposition préférentielle et en particulier ne sont pas, sur le pourtour, parallèles aux bords du nodule.

Quelques rares bioclastes (plutôt vers le centre) avoisinent les terriers centraux.

Des fragments de téguments de Crustacés sont très fréquemment associés à ces nodules.

b) Nodule très fossilifère phosphaté

(Carrière de Jeandelaincourt, Lame JEAN nod 5g) (photographie 37)

Le quartz est présent, mais en proportion plus faible que dans l'encaissant (2 % à 3 % en moins), en revanche, la taille est identique : grain moyen proche de 30 μ . Les micas sont très peu abondants.

Les fossiles, 7 à 10 % en surface, sont de grande taille (0,5 à 1,5 cm) et orientés en tous sens. Ils sont constitués principalement d'articles d'Encrines non en connection anatomique, de valves de Lamellibranches et de Brachiopodes.

La répartition des phosphates n'est pas homogène. La teneur en P₂O₅ semble plus élevée soit à l'intérieur des coquilles entières, soit dans les zones cloisonnées par des valves assez rapprochées, comme si la tendance au confinement avait favorisé la phosphatisation.

Le phosphate apparaît comme une imprégnation de la matrice argileuse ou sous forme de cristaux irréguliers de 15 μ à 25 μ .

Le ciment carbonaté peut se présenter sous forme de grandes plages microspathitiques à pseudospathitiques diffuses et irrégulièrement réparties sur le fond de la lame.

C - Données minéralogiques

Les minéraux lourds n'ont pas été étudiés. Dans ce chapitre, il est traité essentiellement des minéraux des argiles.

1 - Carixien

(Sondage BONS 2) (Pl. 1-2)

1.1 - Glaucosite

La glaucosite est représentée dans la couche marneuse intermédiaire (32,78 m à 33,12 m) sous forme de grains grossièrement ovoïdes de la taille des silts grossiers. Son pourcentage représente moins de 1 % de la roche décarbonatée.

Sa localisation à un seul lit, qui par ailleurs est extrêmement bioturbée, laisse supposer une origine authigène (épigénie de coprolithes ?).

1.2 - Minéraux argileux ⁽¹⁾

Les diffractogrammes des marnes et calcaires argileux permettent de reconnaître un assemblage minéral constitué d'illite dominant, de kaolinite, de chlorite dont les réflexions (001) et (003) paraissent de faible intensité par rapport au pic (002) et vraisemblablement plus ou moins dégradée, d'interstratifiés irréguliers formant une bosse ou une descente irrégulière entre 10 Å et 14 Å (Ech. BONS 2, 33,50 m, fig. 9).

Les illites sont larges à ouvertes et le rapport $I(002)/I(001)$, interprète cristallographique de $Al_2O_3/(FeO + MgO)$ est compris entre 0,18 et 0,33. Les illites ont donc, dans leur ensemble, une composition de muscovite-biotite (ESQUEVIN, 1969 ; THOREZ et BOURGUIGNON, 1973).

D'après les clés d'identification en routine, des édifices interstratifiés [10 - 14 M] et [14 C - 14 V], [14 C - 14 M] (THOREZ et BOURGUIGNON, 1973), les argiles des marnes et calcaires carixiens renfermeraient surtout des interstratifiés irréguliers voisins de ceux définis par la formule $I + 10 - [10 - 14 M]$ ⁽²⁾, c'est-à-dire à garniture interfoliaire potassique encore proche de celle de l'illite (état de dégradation peu avancée) associée à des édifices C - [14 C - 14 M], voire C - [14 C - 14 V] (la vermiculite dioctaédrique peut en effet s'interstratifier dans le réseau ; JACKSON, 1963 *in* THOREZ et BOURGUIGNON, 1973).

(1) Les diffractogrammes sont réalisés sur la fraction détritique terrigène totale.

(2) Nomenclature THOREZ et VAN LECKWIJCK (1967).

DIFFRACTOGRAMMES

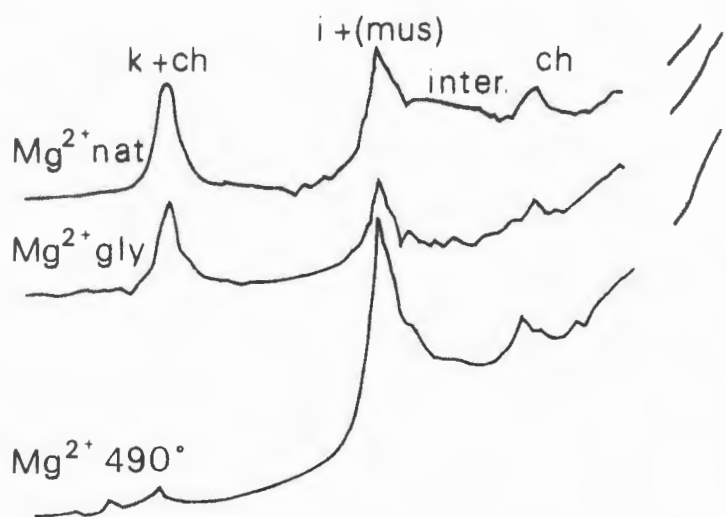


Fig. 9 - BONS 2, 33,53 m Fe 2×10^4 .

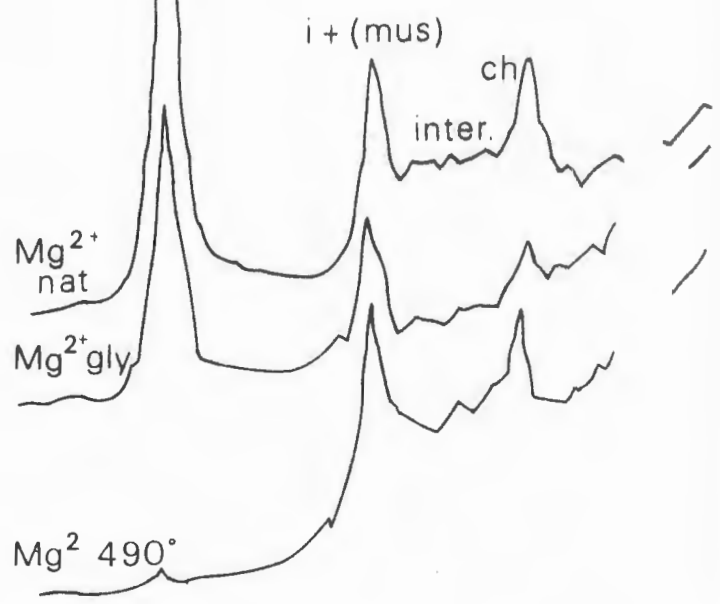


Fig. 10 - JEAN Ia Fe 2×10^4 .

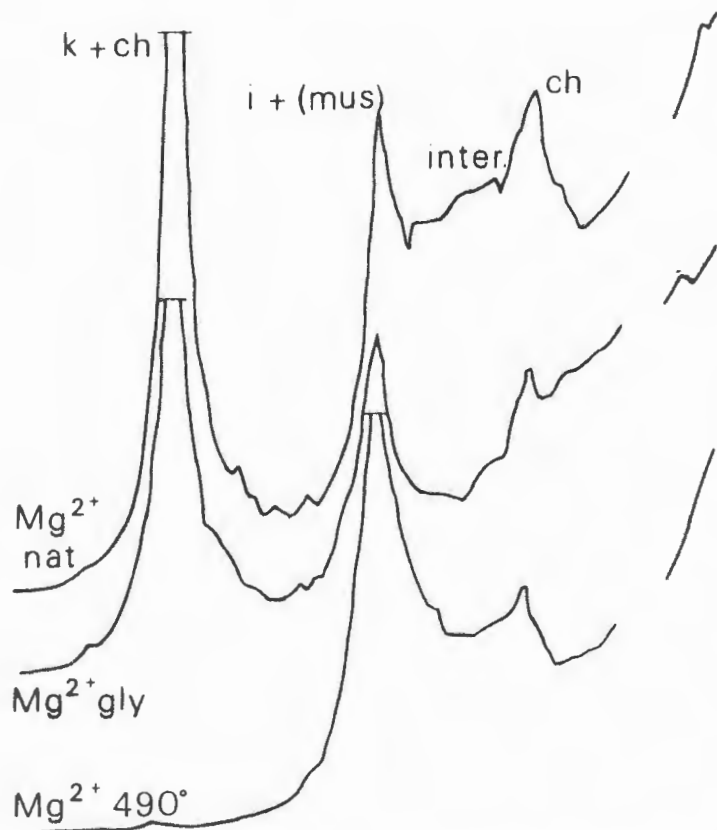


Fig. 11 - JEAN 3b₂ Fe 2×10^4 .

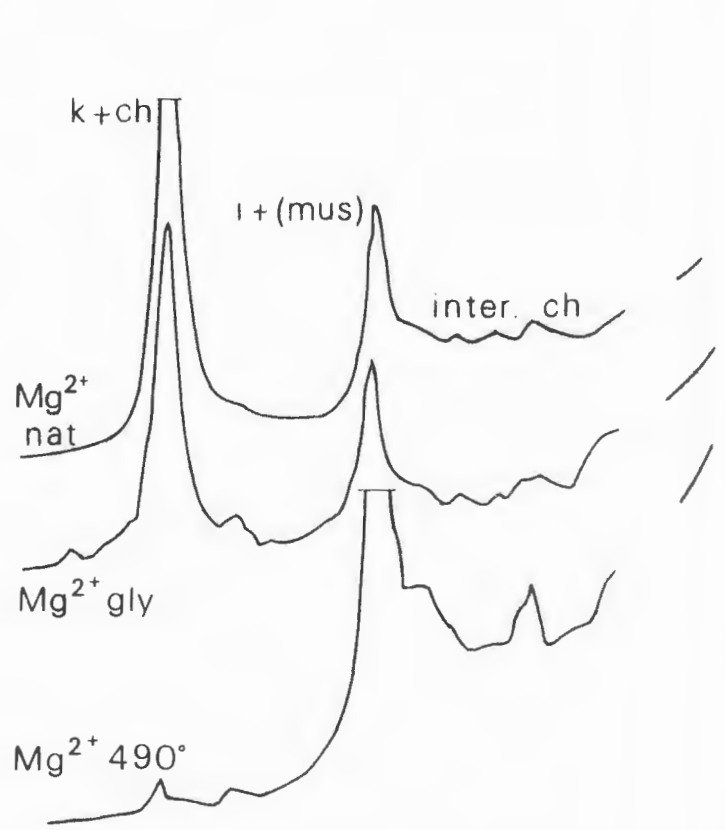


Fig. 12 - JEAN Ia nod. Fe 2×10^4 .

Les rapports kaolinite/illite et (chlorite/illite) x 3, respectivement voisins de 0,35 et 0,20, varient peu d'un faciès à l'autre. Ils sont toutefois très légèrement plus élevés dans les calcaires ce qui laisse supposer un léger enrichissement relatif en illite ou en muscovite dans les marnes ⁽¹⁾ (Pl. 1-2).

Le quotient (chlorite/kaolinite) x 3, bas (0,20) dans la couche inférieure de marne (rapportée au Lotharingien), est proche de 1 dans le complexe calcaire. Il baisse progressivement à partir du lit de marne intermédiaire.

2 - "Argiles à Amalthées" auct.

(Sondage BONS 2 et carrière de Jeandelaincourt) (Pl. 1-2, 3-2)

+ *Minéraux argileux*

. Argilites silteuses

On retrouve l'assemblage minéral du Carixien : illite dominante, kaolinite, chlorite, édifices interstratifiés [10 - 14 M], [14 C - 14 M] et vraisemblablement [14 C - 14 V] ⁽²⁾.

L'estimation de l'indice d'aigu (TRAUTH *et al.*, 1968) et le quotient I (002)/I (001) pour l'illite ainsi que les valeurs des rapports kaolinite/illite, chlorite/illite, chlorite/kaolinite, permettent de distinguer trois unités "lithominéralogiques".

- De la base des "Argiles à Amalthées" auct. (sondage BONS 2) à l'ensemble à nodules sidéritiques (carrière de Jeandelaincourt) (éch. JEAN 1a, fig. 10), le pic de l'illite est large à aigu, et I (002)/I (001) compris entre 0,36 et 0,42, confère à ce minéral argileux une composition de phengite proche de la muscovite (ESQUEVIN, 1969).

Le rapport kaolinite/illite est légèrement inférieur à 1 tandis que les proportions (chlorite/illite) x 3 et (chlorite/kaolinite) x 3, sont proches de 0,40 - 0,50.

Les interstratifiés semblent proches de ceux du Carixien.

- Dans l'unité à nodules sidéritiques, (éch. JEAN 3b₂, fig. 11), l'illite est plutôt à pic large et I (002)/I (001) est compris entre 0,27

(1) Un enrichissement en muscovite dans les marnes a été signalé à Laître-sous-Amance par MAUBEUGE (1955, p. 232).

(2) De faibles traces de smectite sont possibles mais des raisons techniques (pic parasite vers les valeurs angulaires correspondant à des distances interplanaires proches de 17 Å), nous ont empêché de le confirmer.

et 0,38, ce qui correspond au domaine des illites dont la composition serait celle d'un mélange de muscovite et de biotite ; $Al_2O_3/(FeO + MgO)$ est plus bas.

Les valeurs des fractions kaolinite/illite sont légèrement plus basses que précédemment (0,75) tandis que celles de (chlorite/illite) x 3 ne varient pas. En revanche, (chlorite/kaolinite) x 3 croît (0,60). Ceci indique clairement une baisse du pourcentage de kaolinite tandis que les quantités respectives de chlorite et d'illite l'une par rapport à l'autre, demeurent stables.

La proportion relative d'interfoliaires gonflants 14 M à comportement de montmorillonite semble augmenter légèrement dans le réseau des interstratifiés et la présence à côté des types déjà définis précédemment, d'édifices correspondant à des formules proches de $I + [10 - 14 M] - 14 M$ et $C - [14 C - 14 M] - 14 M$, n'est pas à exclure. Il y aurait donc une dégradation plus poussée de l'illite par perte d'une partie de la garniture interfoliaire potassique.

. Au-dessus de cet ensemble et jusqu'aux "Grès médioliasiques" auct., on trouve des valeurs sensiblement égales à celles de la première unité avec quelques différences toutefois, les rapports (chlorite/illite) x 3 et (chlorite/kaolinite) x 3, sont légèrement plus bas - d'où corollairement une légère diminution de la part de la chlorite dans l'assemblage minéral - et une illite à pic un peu plus ouvert.

L'association des édifices interstratifiés est également peu différente, peut-être la part des interfoliaires 14 M y est-elle un tout petit peu plus importante? (bosse à 12 Å et petit plateau vers 15 Å sur échantillon glycérolé).

. Nodules (Ech. JEAN nod. 1a, 3C₂, 4b, fig. 12, 13, 14)

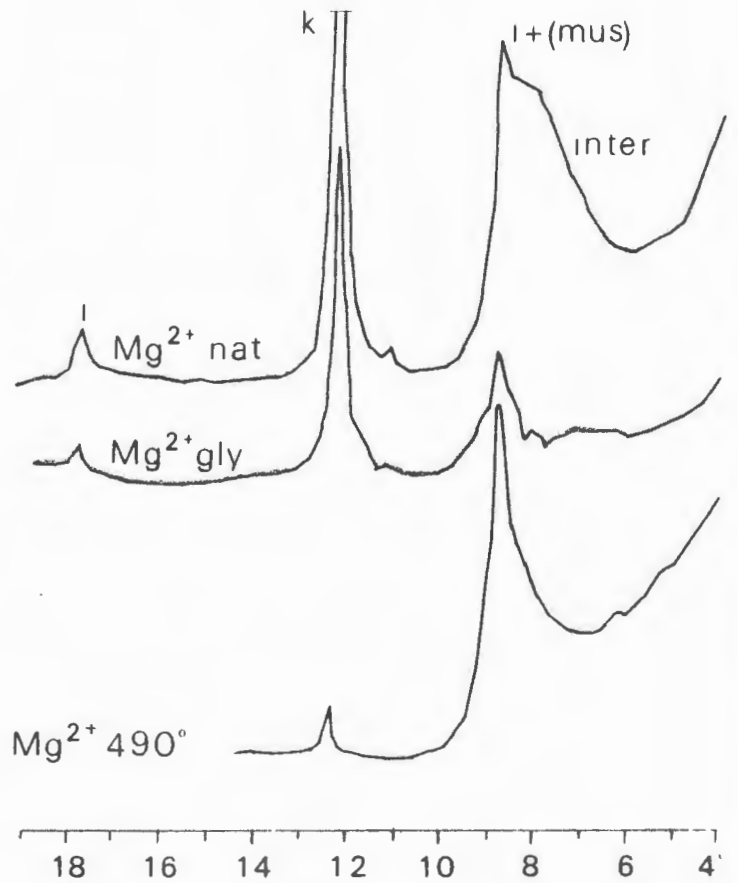
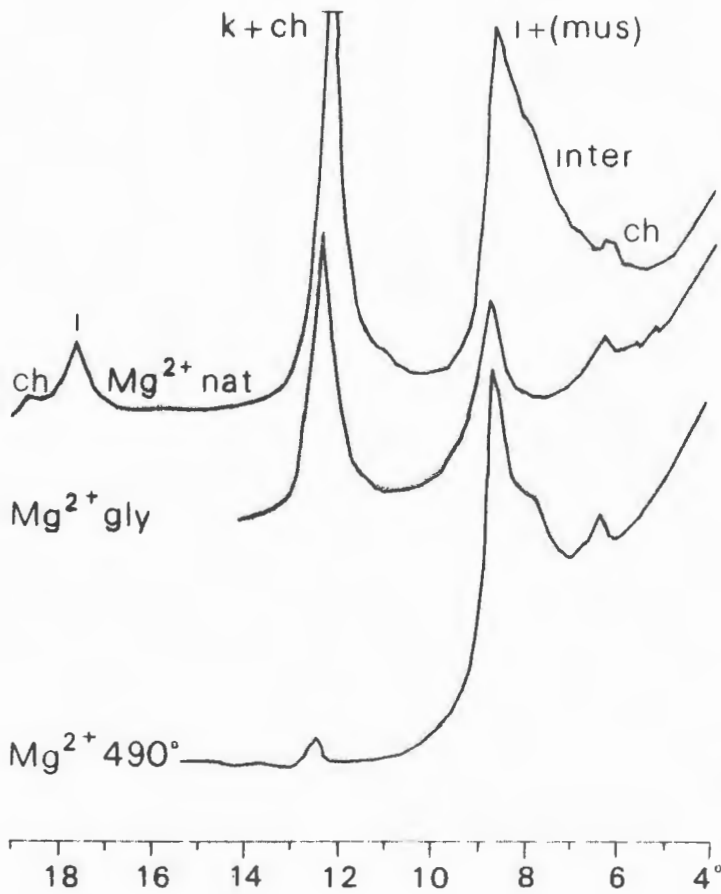
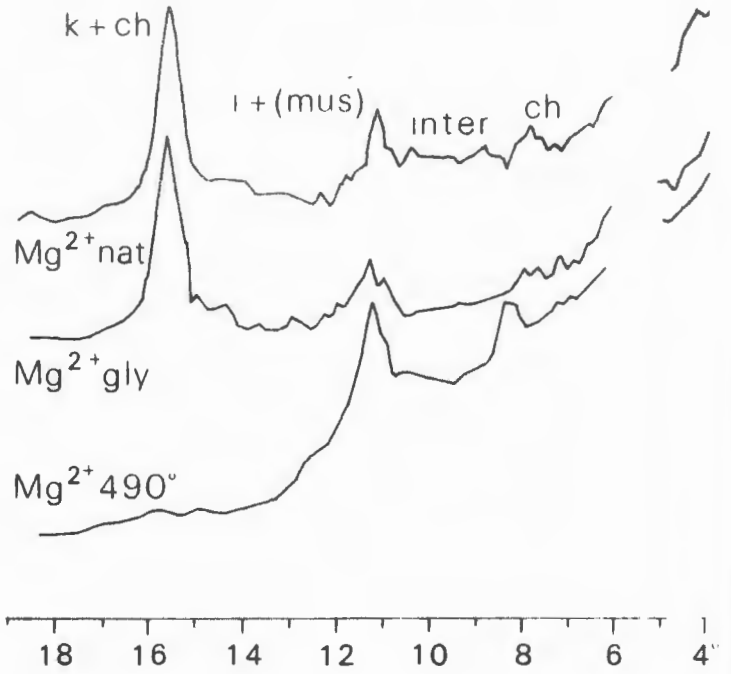
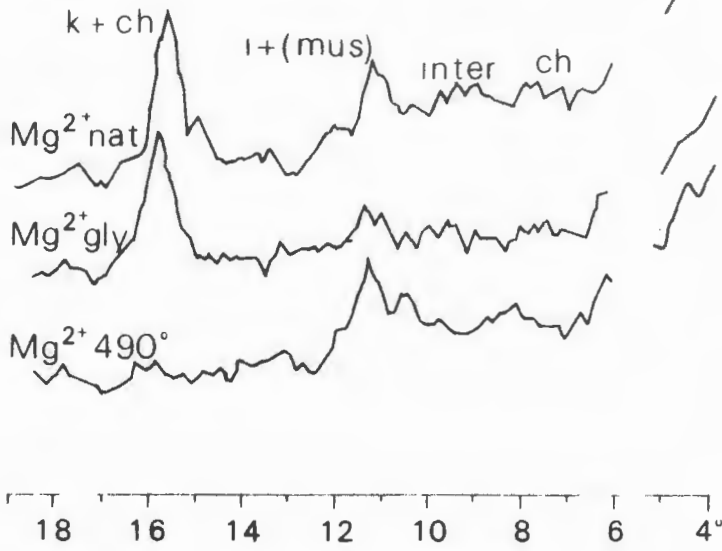
Les nodules présentent à peu près les mêmes associations de minéraux argileux que les argilites silteuses avec cependant l'apparition d'indices de smectite ("bosse" à 17 Å relativement bien individualisée après glycérolage) (1).

L'analyse semi-quantitative fait ressortir les mêmes unités avec les mêmes coupures. Il faut néanmoins noter, par comparaison avec l'encaissant :

- la plus grande ouverture systématique du pic de l'illite ;
- la valeur inférieure de $I(002)/I(001)$ de l'illite, donc une plus grande richesse en Fe (ou Mg ?) en dessous de l'ensemble à nodules sidéritiques, et l'égalité à partir de celui-ci ;
- cette observation (valeur inférieure en deçà de l'unité à nodules sidéritiques puis à égalité), est valable également pour les rapports kaolinite/illite, (chlorite/illite) x 3 et (chlorite/kaolinite) x 3.

(1) Cette "bosse" peut cependant provenir d'un interstratifié irrégulier de type $I + 10 - [10 - 14 M] - 14 M$ ou $I + [10 - 14 M] - 14 M$ (THOREZ et BOURGUIGNON, 1973, p. 70 et 79).

DIFFRACTOGRAMMES



- Ces interstratifiés sont identiques à ceux mentionnés à propos des argilites silteuses, toutefois le pourcentage d'édifices [10 - 14 M] paraît nettement inférieur.

3 - "Grès médioliasiques" *auct.*

(Carrière de Jeandelaincourt et sondage LUDR 1) (Pl. 3-2, 4-2)

+ *Minéraux argileux*

. Silto-argilites, siltites argileuses calcaires, marnes silteuses, calcaires silto-argileux, siltites argilo-arénitiques calcaires.

L'assemblage minéralogique est celui des "*Argiles à Amalthées*" *auct.*, les interstratifiés sont identiques à ceux de la troisième unité lithominéralogique définie précédemment (Ech. LUDR 1 19,67 et 6,55 m, fig. 15 et 16) mais comme le fait apparaître la planche 3-2 (Jeandelaincourt), les proportions relatives de l'illite, de la kaolinite et de la chlorite sont différentes. Le sondage LUDR 1, (Pl. 4-2), montre que ces proportions évoluent lentement : le rapport kaolinite/illite croît de 0,60 à la base jusqu'à 0,80 à la partie supérieure ; inversement, les quotients (chlorite/illite) x 3 et (chlorite/kaolinite) x 3 passent respectivement de 0,30 à 0,20 et de 0,40 à 0,20. Ceci dénote une décroissance de la proportion de chlorite dans le temps alors que la part de la kaolinite augmente.

L'illite est large à ouverte à la base, franchement ouverte dans la partie supérieure. Le rapport I (002)/I (001) pour l'illite subit un certain nombre de fluctuations erratiques (peut-être liées au lithofaciès) si bien qu'il est difficile de savoir s'il évolue dans le temps.

Dans le détail de la lithologie, les couches les plus carbonatées et les plus riches en sablons de la partie inférieure du sondage, semblent légèrement plus riches en kaolinite que les couches adjacentes (Ech. LUDR 1 14,87 m, 13,40 m) car le rapport kaolinite/illite y est un peu supérieur.

Les données relatives à la partie sommitale des "*Grès médioliasiques*" *auct.* au-dessus de la cote 6,00 m du sondage LUDR 1 (Toarcien ?) sont sensiblement différentes (Ech. LUDR 1, 5,58 m, fig. 17).

Les rapports kaolinite/illite, (chlorite/illite) x 3 et (chlorite/kaolinite) x 3 sont nettement plus bas, respectivement voisins de 0,55 et 0,35 ce qui souligne un changement important dans la sédimentation. Les valeurs trouvées sont proches de celles obtenues pour le faciès "*Schistes carton*" *auct.*

Les édifices interstratifiés comportant un nombre élevé d'interfoliaires 14 M à comportement gonflant semblent devenir prédominants sur les autres. De plus, des indices de smectite sur diffractogramme glycérolé apparaissent vers 17 Å.

. Nodules

Les nodules phosphatés ovoïdes ou fossilifères (Ech. JEAN nod 5i et JEAN nod 5g, fig. 18 et 19) se distinguent de l'encaissant par l'abondance de kaolinite (2 fois la quantité d'illite dans les nodules ovoïdes, la même quantité dans les nodules fossilifères), et au contraire, la pauvreté en chlorite. Ceci traduit un net enrichissement des nodules en kaolinite par

DIFFRACTOGRAMMES

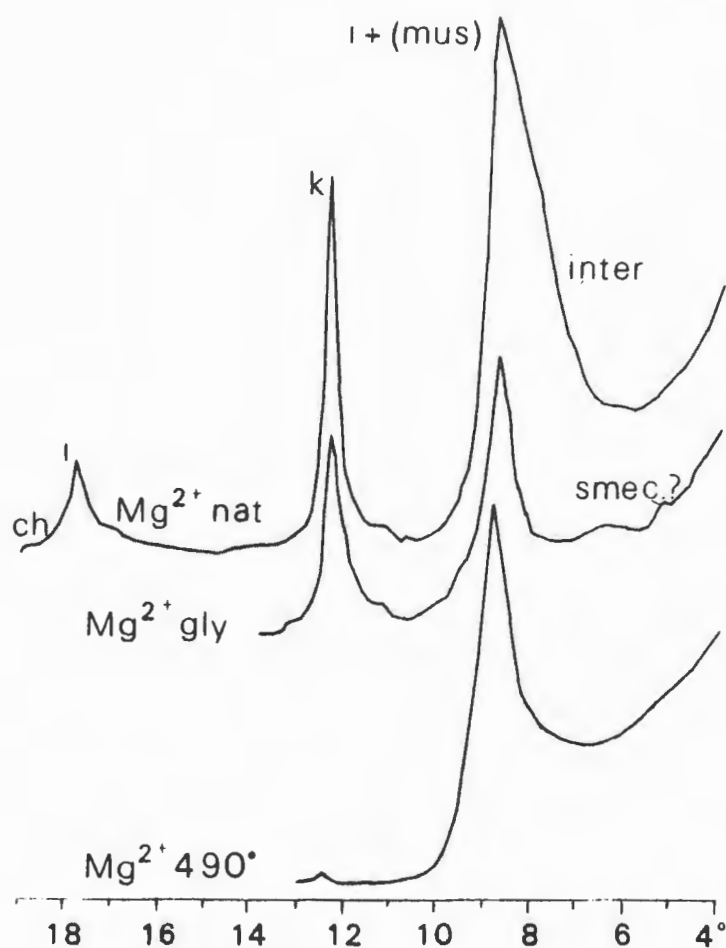


Fig. 17 - LUDR I, 5,58 m Cu 2×10^5 .

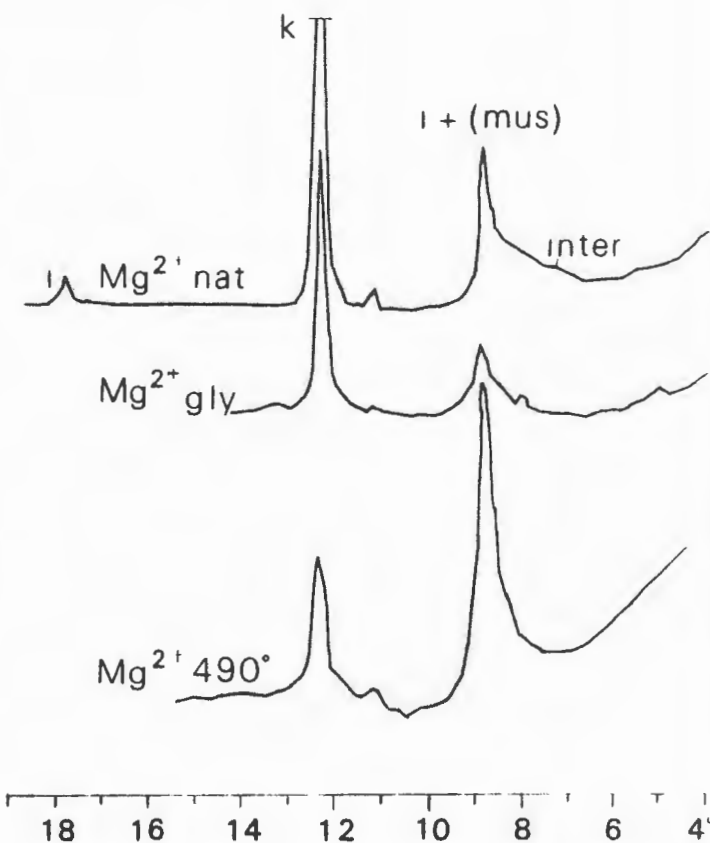


Fig. 18 - JEAN nod.51 Cu 2×10^5 .

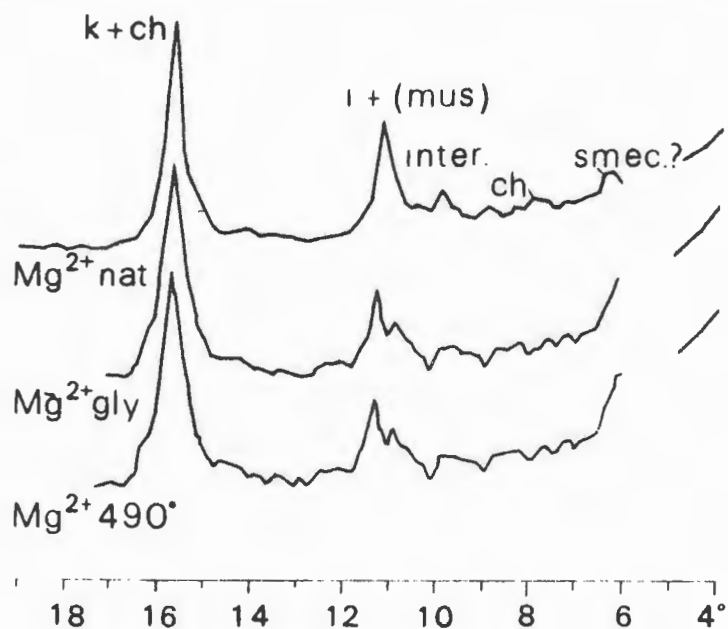


Fig. 19 - JEAN nod.5g Fe 1×10^4 .

Légende générale

k + ch = kaolinite + chlorite
 i + (mus) = illite + (muscovite)
 inter. = édifices interstratifiés
 ch = chlorite
 Mg²⁺ = argiles saturées par MgCl₂
 smec. = smectite

rapport à l'encaissant. On retrouve ici la baisse enregistrée sur le taux de K_2O dans ces nodules (paragraphe "Données chimiques").

Les édifices interstratifiés sont peu abondants et peu diversifiés, proches du réseau de l'illite, du type I + 10 - [10 - 14 M] .

Quelques traces de smectite sont possibles dans l'échantillon JEAN nod 5g.

D - Données chimiques

Compte tenu de la relative homogénéité minéralogique du détritique terrigène à l'intérieur de chacune des subdivisions du Pliensbachien (cf. paragraphe "Minéralogie"), le quotient $R_1 = SiO_2/Al_2O_3$ sert de traceur à l'abondance relative du quartz par rapport aux minéraux phylliteux (argiles + micas). Inversement, le quotient $R_2 = K_2O/SiO_2 \times 100$, sert à quantifier de manière approchée le rapport muscovite + illite/quartz.

Le rapport Fe/Mn, d'après CURTIS et SPEARS (1968) (*in* SELLWOOD, 1970) et HALLAM (1967), reflète le caractère thalassogène de la sédimentation lorsqu'il est bas, terrigène lorsqu'il est élevé.

1 - Carixien

(Sondage BONS 2) (Pl. 1-2)

1.1 - Eléments majeurs

- Silice et aluminium
.....

L'examen au microscope montre que silice et aluminium sont principalement liés aux argiles. De fait, le rapport R_1 n'est pas très élevé et varie peu : 2,33 à 2,80.

- Potassium et silicium
.....

Le rapport R_2 varie peu également : 6,14 à 6,58, sauf au niveau des couches de marnes où il dépasse 7,10 et atteint même 8,09 à la cote 32,97. Il faut certainement y voir une variation de l'assemblage argileux entre les couches marneuses et calcaires (hypothèse confirmée par l'étude des minéraux argileux).

- Fer et manganèse
.....

Les valeurs moyennes en fer total (calculé ^{en} Fe_2O_3) et en MnO sont respectivement proches de 12,50 % et 0,40 %. Le rapport Fe/Mn est bas : 19 à 20. Ceci traduit une influence thalassogène l'emportant largement sur les apports détritiques extra-bassin, ce que suggère d'ailleurs le simple examen pétrographique.

. Magnésium
.....

La valeur relativement élevée de la teneur en MgO rapportée à l'insoluble (7,50 à 11 %) mise en parallèle avec les résultats de l'analyse semi-quantitative à partir des diagrammes X donnant un rapport chlorite/illite assez bas, laisse entrevoir la présence de calcite plus ou moins magnésienne.

. Titane
.....

Pourcentage proche de 0,85 % dans le détritique des calcaires et de 1,10 % dans celui des marnes.

1.2 - Carbone organique

La teneur moyenne en Corg. varie sensiblement d'un lithofaciès à l'autre. Elle est la plus élevée dans les marnes (0,25 à 0,75 %) et baisse fortement dans les calcaires argileux (0,05 % environ). Des valeurs de 0,75 %, peuvent paraître relativement élevées, pour des roches avoisinant 50 % de CaCO_3 .

Pourtant, cette constatation a déjà été faite par LE RICHE (1958) dans le Lias inférieur d'Angleterre ; il trouve les valeurs maximales ($> 1,5$ %) dans les roches contenant 30 à 50 % de CaCO_3 . Pour SCHNEIDERHÖHN (1962) in SAUPE (1967, p. 119) "... la matière organique peut se fixer dans les carbonates lors de leur cristallisation", bien qu'en principe elle soit liée aux argiles.

2 - "Argiles à Amalthées" auct.

(Sondage BONS 2 et carrière de Jeandelaincourt) (Pl. 1-2, 3-2)

2.1 - Eléments majeurs

. Argilites silteuses

- Silice et aluminium
.....

Les valeurs du rapport R_1 sont faibles et assez peu dispersées : 2,20 à 2,60. Elles atteignent cependant 2,85 à l'approche des "Grès médioliassiques" auct. Cela traduit la nature essentiellement phylliteuse du matériau avec toutefois une proportion de silt quartzeux non négligeable, puisque le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ pour l'illite, minéral argileux dominant, n'est que de 1,80 à 2,00 ; celui de la kaolinite est encore plus faible, peu différent de 1,20.

On retrouve donc avec le quotient R_2 les conclusions auxquelles nous avaient déjà amené la granulométrie et la calcimétrie :

. grande constance à la base des "Argiles à Amalthées" auct.
(BONS 2) ;

. valeurs un peu supérieures à la moyenne à certains niveaux
, uniformité du rapport entre 8 m et 26,50 m, augmentation sensible sous les "Grès médioliassiques" auct. (Jeandelaincourt).

- Potassium et silicium
.....

Les valeurs sont en général élevées (5,12 à 5.86) mais descendent à 4,74 dans les couches supérieures. Elles mettent ainsi en évidence la permanence des apports en minéraux phylliteux riches en potassium.

- Fer et manganèse
.....

Le quotient Fe/Mn est voisin de 50 dans l'unité à nodules sidéritiques alors qu'il atteint normalement 70 à 80 sur l'ensemble des "Argiles à Amalthées" auct.

Néanmoins, toutes les valeurs doivent être considérées comme élevées, en particulier en comparaison de celles déterminées pour le Carixien ; elles soulignent l'importance des apports en détritique terrigène.

- Magnésium
.....

Les teneurs en MgO calculées sur l'insoluble sont assez constantes (2,79 à 3,13 %). L'analyse semi-quantitative de la phase argileuse traduit la même monotonie.

- Titane
.....

Les quantités dosées sont normalement comprises entre 1,15 % et 1,23 % de l'insoluble ; elles s'abaissent à 1,05 % vers le sommet. A l'examen en lame mince il est difficile de savoir, dans ces faciès fins, s'il y a des minéraux tels que l'ilménite dont la présence a été signalée dans le Lotharingien (SAUPE, 1967).

Le titane est en tout cas très certainement lié au réseau des argiles, en particulier dans les sites octaédriques ⁽¹⁾.

. Nodules

Les analyses effectuées sur quelques nodules pris à différents niveaux, montrent en général, par rapport à l'encaissant, des valeurs sensiblement identiques en SiO₂ et Al₂O₃, plus élevées (des 2/3 environ) en MgO et Fe₂O₃, en MnO (20 à 30 fois plus), plus faibles en K₂O (les 3/4 environ) et en TiO₂. Ces constatations, en particulier en ce qui concerne le potassium et le titane, se rapprochent de celles de KNOKE (1966) et RAISWELL (1971).

Les nodules sidéritiques font exception à ce diagnostic. Ils sont pauvres en SiO₂ et Al₂O₃ mais très riches en fer (jusqu'à 61 % de Fe₂O₃), riches en MgO (trois fois plus que l'encaissant), très pauvres en

(1) Communication orale de R. MONTANARI, laboratoire commun des Sciences de la Terre, Université de Nancy I.

revanche en K_2O (moins du 1/3 par rapport à l'encaissant). Ces caractères joints à la présence de sidérite indiquent qu'ils ont été soumis à des conditions de diagénèse certainement bien différentes des précédents (HALLAM, 1967) mais le "processus initiateur" est peut-être lui-même tout autre.

2.2 - Matière organique

. Argilites silteuses

La teneur en carbone organique est toujours comprise entre 0,5 et 1 %.

De 0 à 8 m, le pourcentage en carbone organique est variable, de 8 m à 26 m, il est constant et élevé (peu différent de 1 %), de 26 m aux "*Grès médioliasiques*" auct., on assiste à une décroissance de la valeur moyenne.

A Jeandelaincourt, de 0 à 8 m, une corrélation positive semble se dessiner entre la teneur en carbone organique et les pourcentages de $CaCO_3$ et de sablons. Effectivement, à l'affleurement, les niveaux les plus riches en allochèmes sont aussi les plus riches en débris phytogènes. Toutefois, au-dessus, cette relation n'est pas bien vérifiée (baisse de la teneur en $CaCO_3$, augmentation moyenne de celle en Corg. dans l'unité à nodules sidéritiques). A l'approche des "*Grès médioliasiques*" auct., la corrélation est plutôt négative.

. Nodules

La quantité de carbone organique dans les "nodules" mamelonnés - résultant pour la plupart d'entre eux de la diagénèse de piste fossiles (*Thalassinoides*) - n'est pas négligeable (0,50 à 0,75 %). Ceci rejoint les observations de FURSICH (1972). A l'inverse, elle est faible dans les nodules ovoïdes, sidéritiques ou non (0,10 %).

2.3 - Phosphore

. Argilites silteuses

La zone de passage des calcaires argileux du Carixien aux "*Argiles à Amalthées*" auct. est caractérisée par de nombreux indices phosphatés sous forme de passées diffuses ou de nodules à bords flous. La teneur en P_2O_5 peut y atteindre 10,50 %. Cette abondance indiquerait d'après HECKEL in RIGBY et HAMBLIN (1972), l'existence d'une période à taux de sédimentation très modéré qui continuerait celle du Carixien malgré l'arrivée du détritique terrigène (les rostrés de Bélemmites y sont nombreux, comme dans les calcaires carixiens).

Dans le reste de la formation, les teneurs sont toujours voisines ou légèrement inférieures à la concentration moyenne pour les plates-formes continentales (0,10 %), mais l'unité lithostratigraphique à nodules ovoïdes sidéritiques est nettement plus pauvre, en moyenne, que les unités à nodules mamelonnés qui l'encadrent (ALLOUC et HANZO, 1977).

Dans l'ensemble, il y a corrélation positive avec les pourcentages de carbone organique (donc également avec ceux de sablons et de $CaCO_3$) dans la partie inférieure de la carrière de Jeandelaincourt

(de 0 à 8 m).

Au-dessus, la corrélation est plutôt négative entre P_2O_5 et carbone organique.

Si l'on admet qu'une partie importante des phosphates est piégée par les boulettes fécales (WOBBER, 1965), la corrélation positive de 0 à 8 m s'explique, puisque l'enrichissement en P_2O_5 correspond aux "horizons" les plus bioturbés. Ils sont aussi les plus riches en grains de collophanite.

En revanche, la proportionnalité inverse avec le carbone organique dans le reste des "*Argiles à Amalthées*" auct., en particulier sous les "*Grès médioliasiques*" auct., doit sans doute être recherchée dans l'influence prépondérante prise par les matières organiques détritiques (débris phytogènes).

. Nodules

Les nodules sont nettement plus riches en P_2O_5 que l'exogangue. Par ailleurs, à l'intérieur de chacune des unités lithostratigraphiques définies par la forme et la nature des nodules (cf. paragraphe "Données microscopiques") la teneur en P_2O_5 des nodules est d'autant plus élevée que l'exogangue est plus pauvre en phosphate. Ce fait a déjà été noté à propos des carbonates.

3 - "*Grès médioliasiques*" auct.

(Carrière de Jeandelaincourt et sondage LUDR 1) (Pl. 3-2 et 4-2)

3.1 - *Eléments majeurs*

. Silto-argilites calcaires, siltites argileuses calcaires, marnes silteuses, calcaires silto-argileux, siltites argilo-arénitique calcaires.

- Silice et aluminium

Dans le sondage LUDR 1, les fluctuations du rapport R_1 suivent de près les variations de la granulométrie, d'où une certaine dispersion des valeurs. Cependant, l'examen de l'ensemble des résultats (Pl 4-2) permet un regroupement en cinq groupes caractérisés chacun par un intervalle numérique étroit.

. de 19,70 m à 18,25 m, le lithofaciès est encore proche de celui des "*Argiles à Amalthées*" auct., les valeurs sont faibles : 2,71 à 2,89 ;

. de 18,25 m à 13,75 m, où se situent les alternances à deux termes siltites argileuses calcaires à *Planolites*, siltites argileuses très calcaires à taches noires diffuses, R_1 est un peu plus élevé mais reste compris entre 3,36 et 4,14. Le caractère silteux s'affirme sans être encore très net. On peut considérer qu'il s'agit d'une zone de transition ;

. de 13,75 m à 8,50 m, la tendance précédente s'accentue $R_1 = 4,23$ à 4,72. C'est la zone à ripple-marks, "storm-layers ?" et nombreux *Chondrites* de grande taille. Les silts quartzeux prennent une place importante dans le sédiment ;

. de 8,50 m à 6,00 m, R_1 atteint ses valeurs les plus élevées 4,90 à 6,05. C'est la zone des concentrations de fossiles et des bancs

nodulaires visibles à Jeandelaincourt. Dans ceux-ci, R_1 est également élevé ;

. de 6,00 m aux faciès "*Schistes carton*" auct. (Toarcien ?), on retrouve des valeurs faibles, identiques à celles de la base : 2,71 à 2,91.

- Potassium et silicium
.....

Dans le même sondage, le rapport R_2 est en corrélation strictement négative avec R_1 et les coupures que l'on peut établir au sein des "*Grès médioliasiques*" auct. sont identiques. R_2 régresse de 5,08 à la base à 3,11 dans les lits de siltite argilo-arénitique coquillièrre et croît à nouveau : 5,70 sous le faciès "*Schistes carton*" auct. (dans celui-ci, il est de 6,45).

- Fer et manganèse
.....

Le rapport Fe/Mn est de plus en plus faible de la base vers le sommet des "*Grès médioliasiques*" auct. (40 - 50 à 15 - 25). Il remonte à 110 - 130 à partir de la cote 6,00 m dans les marnes à bioclastes (sondage LUDR 1).

Par ailleurs, à l'intérieur de chacune des unités définies à l'aide du rapport $R_1 = \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, ce sont en général les lits les plus carbonatés, ou à structures internes d'origine physique, qui possèdent les plus faibles valeurs de Fe/Mn car MnO augmente plus vite que Fe_2O_3 .

- Magnésium
.....

Pour des teneurs en CaCO_3 pas trop différentes, le pourcentage de MgO calculé sur l'insoluble est à peu près constant (2,16 à 2,88 %) (sauf au-dessus de 6,00 m où MgO est beaucoup plus abondant). En revanche, il y a toujours un net enrichissement en magnésium dans les faciès les plus carbonatés : 6,30 % à 7,10 m mais seulement 2,03 % à 7,42 m ; 4,03 % à 13,36 m au lieu de 2,65 % à 13,55 m. Le rapport $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ souligne cette particularité avec encore plus d'acuité. La présence de calcite magnésienne, ou au moins l'introduction de Mg dans le réseau des carbonates, semble un fait constant.

- Titane
.....

Egalement calculées sur l'insoluble, les proportions de TiO_2 sont toujours très voisines, encore que l'on puisse discerner une certaine diminution de la base vers le sommet des "*Grès médioliasiques*" auct. (titane lié principalement aux sites octaédriques des argiles).

. Nodules

Les nodules fossilifères phosphatés et les nodules ovoïdes phosphatés ont des compositions à peu près identiques, sauf en ce qui concerne les teneurs en CaCO_3 et en Fer. Sur ces deux points, les nodules ovoïdes sont nettement plus pauvres (de moitié environ).

Sur les deux échantillons analysés JEAN nod 5a₃ et JEAN nod 5f, les rapports SiO₂/Al₂O₃, K₂O/Al₂O₃, K₂O/SiO₂ sont légèrement plus bas que dans l'encaissant, mais MgO/Al₂O₃ est plus élevé (le double). Fe₂O₃ et MnO, comme dans les lits calcaires, sont plus abondants, mais Fe/Mn est plus faible que dans l'encaissant.

3.2 Matière organique

Les quelques dosages effectués témoignent d'une légère diminution depuis la base jusqu'à la cote 6,00 m (0,85 % à 0,50 %), puis une légère remontée au-dessus (0,60 %). Les roches sus-jacentes de faciès "*Schistes carton*" auct. comportent 3,6 % de carbone organique.

Contrairement à ce qu'indique LE RICHE (1958), à propos des argilites calcaires et des marnes du Lias inférieur du sud de l'Angleterre, l'augmentation du pourcentage de carbonate de calcium ne se traduit pas par une croissance parallèle de la teneur en carbone organique.

C'est le contraire qui se produit ici, que ce soit dans les lits de marnes silteuses ou dans les calcaires silto - argileux.

Dans les nodules phosphatés, fossilifères ou non, le pourcentage de carbone organique est élevé : 1,50 à 1,70 %. Ceci plaide en faveur d'un coacervat de matières organiques en décomposition ayant servi de support à la phosphatisation.

3.3 - Phosphore

Les dosages sont peu nombreux. Toutefois, à Jeandelaincourt (5a₃ à 5k), ils mettent nettement en évidence la corrélation négative qui existe entre le carbone organique (vraisemblablement à débris phytogènes dominants), et le phosphore. En revanche, une relative proportionnalité s'esquisserait avec le pourcentage de sablons.

Les nodules phosphatés fossilifères titrent 14 à 18 % de P₂O₅, les autres (ovoïdes, souvent à tégument de Crustacés) 17 à 22 %.

CONCLUSION

Si l'on excepte le Carixien qui apparaît, de par sa richesse en carbonates, comme un épisode très particulier de la sédimentation pliënsbachienne, le Lias moyen de la région de Nancy est constitué principalement d'argiles (sens granulométrique) et de silts. Néanmoins, les carbonates retrouvent une importance non négligeable dans les "*Grès médioliasiques*" auct.

Les données de la calcimétrie et de la granulométrie ainsi que les observations microscopiques permettent de distinguer :

- 4 lithofaciès à dominante carbonatée, grâce à la teneur en insoluble et à la texture, dans le Carixien ;

- 9 lithofaciès en liaison avec les pourcentages de CaCO_3 , arénites, silts et argiles, dans le Domérien. ("*Argiles à Amalthées*" auct. : 2, "*Grès médioliasiques*" auct. : 7). Néanmoins, tous les intermédiaires existent entre deux termes consécutifs ;

- deux autres termes lithologiques ont été reconnus sous les "*Schistes carton*" auct. du sondage LUDR 1. Ils appartiennent vraisemblablement au Toarcien. Ils sont les témoins de conditions de sédimentation différentes (apports, niveaux d'énergie).

L'évolution au cours du Domérien de la forme des courbes granulométriques depuis des faciès logarithmiques à hyperboliques vers des faciès à nette tendance parabolique traduit un changement dans les conditions de mise en place des dépôts.

La sédimentation se ferait durant la majeure partie des "*Argiles à Amalthées*" auct. par excès de charge et se terminerait par une décantation, en eau peu turbulente, des éléments les plus fins ou des floccs de particules agrégées (RIVIERE, SALLE et VERNHET, 1951).

Quelques niveaux particuliers (JEAN Ig, 4e), enregistrent des conditions un peu différentes ; le faciès à tendance logarithmique avec une concavité vers le haut témoignerait d'après RIVIERE (1952-1960) de l'influence de phénomènes de tris sous l'action de courants ou de turbulences.

Il est probable que si des sédiments à granulométrie plus étalée vers les grands diamètres avaient été soumis aux mêmes actions, il en aurait résulté une courbe cumulative plus franchement parabolique.

Avec les "*Grès médioliasiques*" auct., le faciès des courbes de fréquence cumulée tend, plus ou moins progressivement, à devenir parabolique, cette allure devenant affirmée dans la moitié supérieure de la formation.

Pour RIVIERE *et al.* (1952), les sédiments présentant ces caractères "... correspondant à des nappes d'eau de faible profondeur, dans lesquelles les sédiments des fonds sont périodiquement remis en suspension par des vagues de tempêtes". Ce type granulométrique "... paraît caractériser les sédiments soumis après leur dépôt à une lévigation prolongée".

Pour les "*Grès médioliasiques*" auct., surtout à la base, cette conclusion doit néanmoins être nuancée puisque généralement le faciès parabolique se mitige d'une allure logarithmique.

Dans les marnes à bioclastes de la partie sommitale, on retrouve un faciès à tendance logarithmique ; la mise en place se ferait donc à nouveau par excès de charge, c'est-à-dire par baisse de la compétence du milieu transporteur.

Fig. 20 - Diagramme granulométrique
triangulaire : Sablons, Poudres, Argiles
(d'après G. MÜLLER, 1970 modifié).

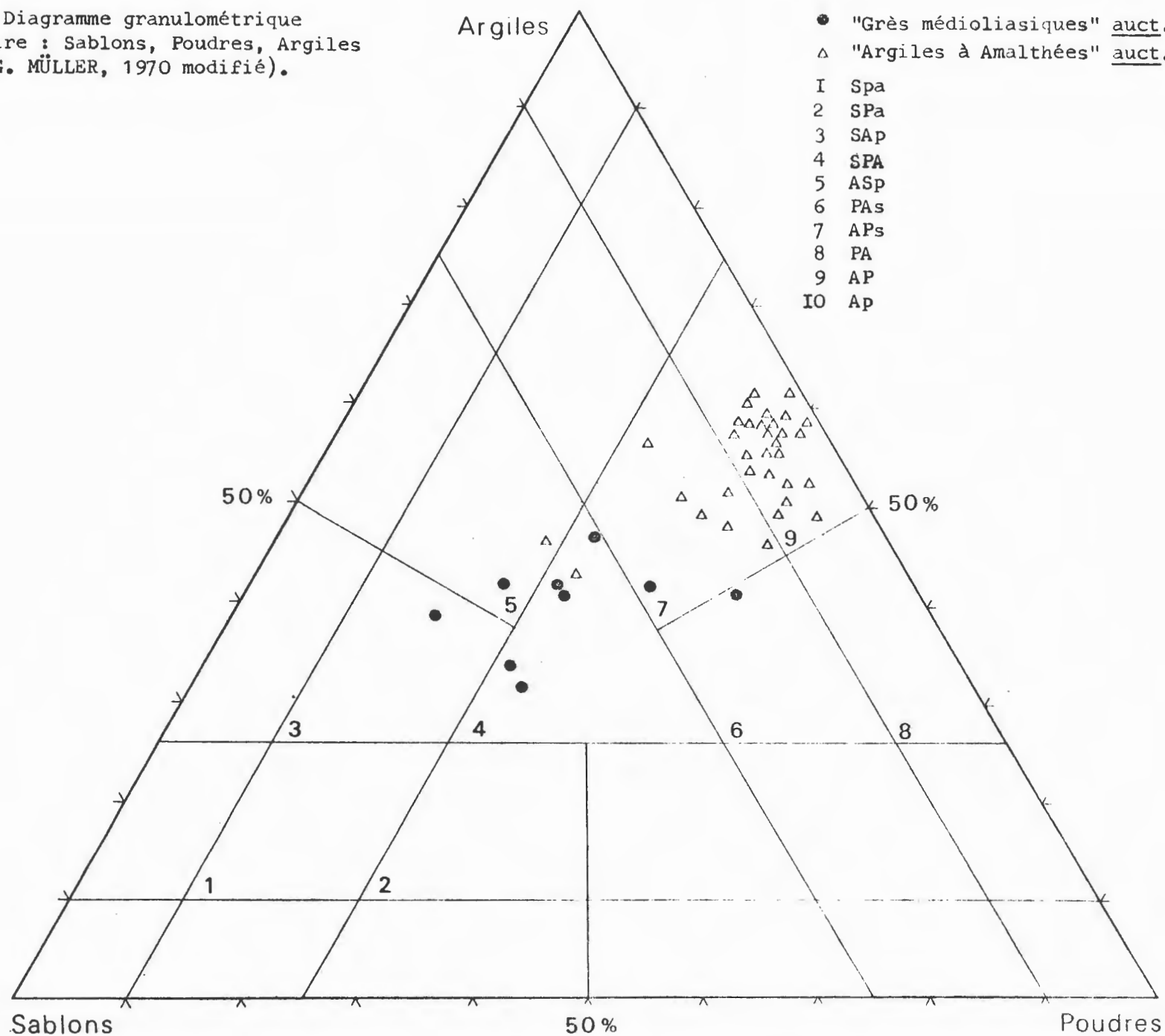
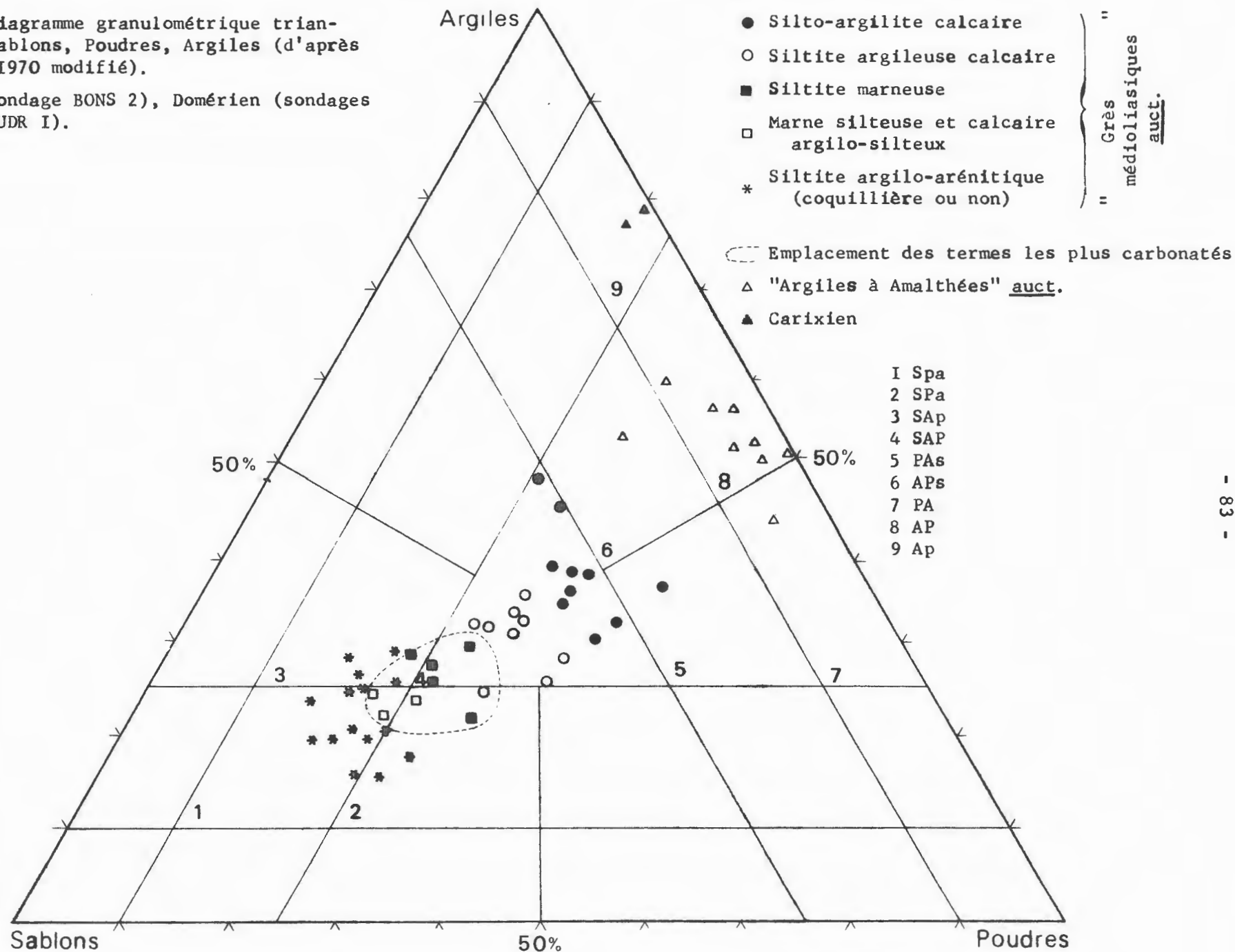


Fig. 2I - Diagramme granulométrique triangulaire : Sablons, Poudres, Argiles (d'après G. MÜLLER, 1970 modifié).

Carixien (sondage BONS 2), Domérien (sondages BONS 2 et LUDR I).



Le report des points représentatifs du terrigène du Carixien des "*Argiles à Amalthées*" auct. et des "*Grès médioliasiques*" auct. sur un diagramme triangulaire argiles-poudres-sablons traduit l'influence prépondérante des sablons dans la différenciation granulométrique et rend compte du comportement respectif des argiles et poudres d'une part, des sablons d'autre part (fig. 20 et 21).

En partant du pôle argiles, le déplacement de ces points représentatifs enregistre tout d'abord un changement dans la composition du mélange argiles-poudres. Puis, en fonction des matériaux disponibles et des conditions hydrodynamiques, un équilibre s'établit entre la participation des argiles et celle des poudres, à la sédimentogénèse.

Lorsque le seuil correspondant à cet état d'équilibre est dépassé, les sablons se manifestent dans la sédimentation. L'ensemble précédent (grains de diamètre $< 20\mu$) forme alors une entité vis-à-vis des processus responsables du transport et du dépôt des éléments détritiques terrigènes.

Cette similitude du comportement des argiles et des poudres est enregistrée par le déplacement des points le long de la hauteur correspondant au pôle sablon ; elle se manifeste également dans les courbes cumulatives des "*Grès médioliasiques*" auct. sous la forme d'un mode secondaire ayant même position que le mode des argilites des "*Argiles à Amalthées*" auct. (fig. 7 et 8).

La figure 21 rend également compte de la position de relais qu'occupent les lithofaciès les plus carbonatés des "*Grès médioliasiques*" auct. entre le pôle le plus grossier (siltite argilo-arénitique) et le plus fin (siltite-argilite). Cette question sera reprise dans le chapitre "Analyse séquentielle".

Il faut noter également le peu de signification de la médiane pour caractériser les sédiments argilo-silteux ou silto-argileux. En effet, un accroissement concomitant de la part des sablons et des argiles entraîne dans certains cas (augmentation plus rapide des argiles au détriment des poudres) une baisse de la médiane. Pourtant, ce type de répartition granulométrique correspond en général à un milieu où l'influence des vagues et des courants n'est pas négligeable (ALLOUC, 1969).

L'étude des minéraux des argiles traduit la constance de la nature des apports. Illite, kaolinite, chlorite et édifices interstratifiés irréguliers - principalement (10 - 14 M) - composent l'assemblage argileux du Pliensbachien.

Sur l'ensemble de la formation, les rapports kaolinite/illite, (chlorite/illite) x 3, (chlorite/kaolinite) x 3 et les paramètres cristallographiques de l'illite (ouverture du pic, quotient $I(002)/I(001)$) semblent déterminer un certain nombre de gradients dans l'évolution du contenu minéralogique, lesquels différencient quantitativement un assemblage qualitativement à peu près constant.

Du Carixien au sommet des "*Grès médioliasiques*" auct., on note en effet :

- une augmentation croissante de la kaolinite ;

- une croissance de la chlorite dans les "Argiles à Amalthées" auct. puis une décroissance dans les "Grès médioliasiques" auct. ;
- inversement, une diminution puis une augmentation de l'ouverture du pic de l'illite ;
- une suite de variations périodiques de I (002)/I (001) ;
- une part de plus en plus importante des interfoliaires 14 M à comportement de montmorillonite dans les édifices interstratifiés ;

Les fluctuations enregistrées permettent de retrouver les grandes coupures chronostratigraphiques et lithostratigraphiques du Pliensbachien.

A l'intérieur de chacune des subdivisions : Carixien, "Argiles à Amalthées" auct., "Grès médioliasiques" auct., le cortège minéralogique des argiles varie peu (toutefois à l'intérieur des "Argiles à Amalthées" auct., l'unité à nodules sidéritiques est légèrement plus riche en chlorite et, inversement, un peu plus pauvre en kaolinite que les autres assises de la zone à *A. margaritatus*).

La présence simultanée de minéraux argileux à génèses propres différentes, comme l'illite, la kaolinite, la chlorite et les interstratifiés (10 - 14 M), implique un héritage général mais les différences quantitatives observées, parallèles aux variations générales de la lithologie souligne l'importance du milieu de sédimentation dans la distribution des minéraux argileux. Le cortège minéral est à l'image du régime hydrodynamique moyen : chlorite et illite plus abondantes lors des phases pélitiques, kaolinite mieux représentée lors des épisodes plus silteux (l'unité à nodules sidéritiques n'est cependant pas tout à fait en accord avec cette règle).

D'autres facteurs susceptibles d'intervenir sur la composition de l'assemblage minéral argileux, sont examinés au chapitre VI : Essai d'interprétation de l'environnement sédimentaire.

Par ailleurs, de légères transformations, fonction des ions circulant dans le milieu, sont possibles au niveau des réseaux dégradés de la chlorite, de l'illite ou des interstratifiés (MULLER, PARTING et THOREZ, 1973) mais elles sont assez faibles puisque la chlorite est souvent dégradée et l'illite plus ou moins baillante. Peut-être une diagénèse précoce a-t-elle bloqué le processus de transformation.

De la base vers le sommet du Pliensbachien, les analyses chimiques, notamment les rapports $R_1 = \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ et $R_2 = \text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$, témoignent d'une dérive générale vers des sédiments de plus en plus riches en siltites.

Cependant, cette dérive n'est pas progressive car R_1 et R_2 traduisent également la relative constance des assemblages minéraux respectifs du détritique terrigène du Carixien et des "Argiles à Amalthées" auct. Les "Grès médioliasiques" auct. sont à cet égard différents et les fluctuations de R_1 et R_2 calquent les variations de la lithologie ; l'étude des minéraux argileux y ayant montré une certaine perennité dans la composition des apports, ces différences sont imputables à la distribution des sédiments à l'intérieur du milieu marin.

Les nodules se singularisent par une endogangue à teneurs en éléments majeurs différentes de celles de l'exogangue. Il faut sans doute y voir, au moins en partie, comme l'ont avancé KNOKE (1966) et RAISWELL (1971), un effet de la diagénèse et du blocage de certaines modifications cristallochimiques, ce qui implique alors une génèse précoce.

Dans le détail de la lithologie des "*Argiles à Amalthées*" *auct.*, depuis la base jusqu'à l'unité à nodules sidéritiques, il y a corrélation à tendance positive entre les fluctuations des pourcentages de sablons, de CaCO_3 , de carbone organique et de P_2O_5 . Au-dessus, jusqu'aux "*Grès médioliasiques*" *auct.*, si la relation est directe entre les teneurs en P_2O_5 et celles de sablons et CaCO_3 , elle est plutôt inverse entre les quantités de P_2O_5 et de carbone organique.

Dans la moitié inférieure de l'assise des "*Grès médioliasiques*" *auct.*, il y a parallélisme entre l'apparition des lithofaciès les plus carbonatés et l'augmentation, dans la fraction détritique terrigène, de la charge en éléments de taille supérieure à 2μ . C'est l'inverse qui se produit dans la partie supérieure de la formation.

Il convient à cet égard de reprendre les différents types de courbes décrits dans le paragraphe calcimétrie et de les commenter à la lumière des données macroscopiques, microscopiques, granulométriques et chimiques.

Les deux premiers groupes a et b à décrochement brutal, paraissent procéder du même phénomène. En effet, l'examen microscopique révèle une certaine parenté d'aspect des roches correspondantes vis-à-vis du lithofaciès siltite argileuse calcaire (ciment à tendance microspathitique, voire pseudospathitique nettement plus affirmée, grain moyen du quartz légèrement plus élevé, teneur en micas plus faible). De plus, le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ croît dans les lits les plus carbonatés. Un certain vannage des particules argileuses et micacées semble donc avoir affecté ce sédiment (qui montre très fréquemment des microlaminations).

Par ailleurs, la répétition régulière du brusque décrochement de la courbe de CaCO_3 à la base du lit, l'amplitude atteinte par la différence de teneur (jusqu'à 35 %) et le relatif écartement des éléments dans le lithofaciès marne silteuse laissent présumer une origine primaire de CaCO_3 .

De plus, il a été démontré (fig. 21), que les lithofaciès les plus carbonatés correspondant à ces brusques augmentations de la teneur en CaCO_3 possèdent un spectre granulométrique occupant une position de relai entre les assemblages détritiques terrigènes respectivement les plus riches et les plus pauvres en silts.

À titre d'hypothèse, on peut alors supposer que les sédiments les plus carbonatés se forment soit à la suite d'un ralentissement suffisant du dépôt des particules argileuses en suspension, soit avant l'arrivée d'un apport conséquent en silts (par suspension et saltation ?), lesquels dilueraient le fond de sédimentation carbonatée.

Toutefois, même en faisant appel à une exagération diagénétique des différences de pourcentages en CaCO_3 , le brusque décrochement de la courbe calcimétrique à la base des lits carbonatés reste difficile à expliquer.

Il est intéressant de rapporter ici l'opinion de SEIBOLD (1953) reprise partiellement par LOMBARD (1972, p. 269-271), à propos des formations à alternance marne-calcaire du Lias de Lorraine. Ce dernier

auteur admet une mise en place des carbonates par déclenchement périodique de boues carbonatées allochtones, en particulier sur les pentes entre plate-forme et bassin, ce qui est le cas du site géographique étudié à l'époque liasique (fig. 3,4 et 5). La vase calcaire se répartirait alors en strates dans un milieu où l'argile constitue le bruit de fond.

Le troisième groupe c ("bosse" peu prononcée et relativement progressive) est celui des lithofaciès à structures internes du type microrides. On peut admettre qu'en fonction du régime hydrodynamique plus élevé et du vannage consécutif, le classement y est meilleur (ce que confirme le paramètre de BIETLOT).

La porosité intergranulaire supérieure inhérente à ce tri a favorisé, en particulier au moment de la syndiagénèse, la circulation des solutions imbibitrices et la précipitation du CaCO_3 .

Le quatrième groupe d (décrochement prononcé mais de forme symétrique), qui n'apparaît que dans la partie supérieure de la formation, se rapporte vraisemblablement aux nodules.

Par référence avec la carrière de Jeandelaincourt (Pl. 3-1), on peut penser qu'ils sont localisés, à Ludres également, dans les lits ou unités lithologiques les plus carbonatés.

La diminution, par rapport aux lits contigus, de la part des éléments supérieurs à 2μ , reflète (voir la figure 21) la position charnière des lithofaciès les plus carbonatés entre le pôle le plus grossier (siltite argilo-arénitique) et le plus fin (siltite argileuse ou silto-argilite) des "*Grès médioliasiques*" *auct.*

Ces cas particuliers se ramènent donc aux deux premiers types et en particulier au type a dont ils représenteraient, en quelque sorte, une anomalie due aux effets d'une diagénèse plus efficiente dans certains sites privilégiés.

Remarque : D'après BERNER (1971, p. 107), l'un des facteurs prépondérants dans la formation des nodules calcaires est la nucléation induite par les fragments de coquilles (visibles effectivement à Jeandelaincourt sous formes de concentrations de valves ou de petits bioclastes) à partir des fluides contenant en solution $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. La matière organique en décomposition - dont pourraient témoigner les phosphates fréquemment associés avec les accumulations de valves ou coquilles intranodulaires - peut également jouer un rôle important (WEEKS, 1957).

Il est à noter que HALLAM (1964) et SELLWOOD (1970, p. 502), ont pu démontrer l'existence, lors de l'édification des nodules du Lias inférieur d'Angleterre, de migrations verticales et latérales. SERRA (1968), BERNER (1971), RAISWELL (1971), parmi les auteurs ayant récemment consacré des travaux aux nodules, en ont discuté les modalités ainsi que celles de

la précipitation du calcaire.

Ces migrations pourraient expliquer d'une part la forme plus ou moins "lissée" de la courbe calcimétrique des nodules et d'autre part l'absence de corrélation nette entre la teneur en CaCO_3 et la granulométrie.

En effet, "le front de carbonatation" bien qu'influencé par les hétérogénéités du sédiment (SERRA, 1968), peut chevaucher, si le nodule est assez grand, des lits ou des passées de granulométrie légèrement variable, comme c'est le cas dans les "*Grès médioliasiques*" *auct.* Ceci est d'ailleurs, bien visible dans la carrière de Jeandelaincourt.

Il est intéressant de noter ici une observation de SEIBOLD (1953) *in* SERRA (1968). Il a pu montrer dans des nodules peu différents des nôtres, mais présentant des traces de dissolution des coquilles plus importantes, que seul le carbonate de calcium migre ; les éléments associés aux bioclastes, en particulier le phosphore, restent sur place.

IV - PALEONTOLOGIE

INTRODUCTION

Ce travail n'a pas donné lieu à une récolte systématique de la faune.

Une liste d'espèces recueillies dans le Pliensbachien, tant à Jeandelaincourt qu'en d'autres lieux de Meurthe-et-Moselle, a été publiée par GERARD et TETRY (1938). Par ailleurs, MAUBEUGE (1955, 1961) a, pour sa part, cité également nombre d'espèces présentes dans cet étage.

Il est possible de dégager ici un certain nombre de précisions, voire de conclusions, des quelques observations effectuées et des données connues, en particulier lorsqu'elles sont corrélées avec la lithologie. Les traces fossiles étudiées plus en détail en raison de leur utilisation comme "outil sédimentologique" font l'objet d'un chapitre séparé.

MACROFAUNE (I)

A - Ammonites

. Carrière de Jeandelaincourt

La faune d'Ammonite récoltée à Jeandelaincourt fait l'objet du tableau n° 6 .

Elle permet de mettre en évidence deux des trois zones d'Ammonites du Domérien (zones à *A. margaritatus* et *P. spinatum*) et trois sous-zones. En effet, si les deux sous-zones à *A. gloriosus* et *A. gibbosus* sont bien présentes dans les dépôts à *A. margaritatus* DE MONTFORT, seule la sous-zone à *P. solare* est représentée dans les "Grès médioliasiques" auct.

Cette récolte souligne également un fait connu, à savoir la "montée" de *A. margaritatus* DE MONTFORT dans la zone à *P. spinatum* ("horizon" 5c) (HOWARTH, 1958 in MAUBEUGE, 1961, p. 574 ; MAUBEUGE *ibid.*).

La planche 3-1 montre qu'on peut attribuer, dans cette région centrale de la Lorraine, une puissance de 30 m environ à la sous-zone à *A. gibbosus*. La partie supérieure est assez bien délimitée par la présence de *P. transiens* (FRENTZEN) mais à la base est moins précise car il existe un hiatus de un mètre environ dans la succession des récoltes. De plus, (pl. 3-1) la dernière Ammonite marquant la sous-zone à *A. gloriosus*, a été récoltée dans un nodule où la faune accumulée a pu être remaniée à partir de dépôts élaborés antérieurement (JEAN Ic).

(I) Toute la macrofaune recueillie lors de cette étude a été déterminée par Mme S. GUÉRIN-FRANIATTE que je remercie bien chaleureusement.

<u>Zone à P. spinatum</u>	<u>Sous zone à P. solare</u>	GM I	<u>Pleuroceras spinatum</u> <u>Pleuroceras solare</u>	(BRUGUIERE) (PHILLIPS)	Non en place : <u>Pleuroceras aff. gigas</u> HOWARTH
		GM I3	<u>P. spinatum</u>	(BRUGUIERE)	
		GM I4	<u>P. spinatum</u> <u>P. solare</u>	(BRUGUIERE) (PHILLIPS)	
		5i	<u>Pleuroceras spinatum</u> <u>Pleuroceras solare</u>	(BRUGUIERE) (PHILLIPS)	
		5h	<u>Pleuroceras spinatum</u>	(BRUGUIERE)	
		5g	<u>Pleuroceras spinatum</u> <u>Pleuroceras solare</u>	(BRUGUIERE) (PHILLIPS)	
		5f	<u>Pleuroceras spinatum</u> <u>Pleuroceras solare</u>	(BRUGUIERE) (PHILLIPS)	
		5c	<u>Pleuroceras transiens</u> <u>Amaltheus laevigatus</u> <u>Amaltheus margaritatus</u>	(FRENTZEN) HOWARTH DE MONTFORT	
<u>Zone à A. margaritatus</u>	<u>Sous zone à A. gibbosus</u>	5a ₃	<u>Amaltheus margaritatus</u>	DE MONTFORT	
		4e	<u>Amaltheus margaritatus</u>	DE MONTFORT	
		4d	<u>Amaltheus gibbosus</u>	(SCHLOTHEIM)	
		3a	<u>Amaltheus margaritatus</u>	DE MONTFORT	
		Ih	<u>Amaltheus gibbosus</u> <u>Amaltheus margaritatus</u>	(SCHLOTHEIM) DE MONTFORT	
		Id ₂	<u>Amaltheus gibbosus</u>	(SCHLOTHEIM)	
	<u>Sous zone à A. gloriosus = A. subnodosus</u>	Ic nod.	<u>Amaltheus margaritatus</u> <u>Amaltheus subnodosus</u>	DE MONTFORT (YOUNG & BIRD)	
		Ic ₂	<u>Amaltheus subnodosus</u>	(YOUNG & BIRD)	
		Ic _I	<u>Amaltheus margaritatus</u>	DE MONTFORT	
		Ia	<u>Amaltheus subnodosus</u> <u>Amaltheus wertheri</u>	(YOUNG & BIRD) (LANGE)	

Tabl. 6 - Ammonites récoltées dans la carrière de Jeandelaincourt
(Détermination S. GUERIN-FRANIATTE).

. Sondages LUDR 1 et LUDR 3

Les formations traversées par ces sondages appartiennent toutes deux presque entièrement à la zone à *P. spinatum*. Seules les parties sommitales, d'ailleurs sans Ammonites*, sous le faciès "*Schistes carton*" auct., seraient peut-être à placer dans le Toarcien.

Avec *Pleuroceras spinatum* (BRUGUIERE) et *Pleuroceras solare* (PHILLIPS), deux autres espèces plus rares de la sous-zone à *P. solare* ont pu être recueillies :

- *Pleuroceras paucicostatum* HOWARTH,
- *Pleuroceras aff. quadratum* HOWARTH.

Sur l'ensemble du Domérien étudié, se dégage ainsi une suite d'épisodes biostratigraphiques de durées vraisemblablement différentes qui manifestent des relations plus ou moins étroites avec le lithotope. Cependant, les deux dernières espèces citées appartenant à la fin de la sous-zone à *P. solare*, il convient de noter la différence entre la région de LUDRES où cette sous-zone correspond à des faciès peu différenciés et celle de Jeandelaincourt où les accumulations de valves et bioclastes, les ripple-marks, voire les chenaux, figures sédimentaires de milieu plus ou moins agité, peuvent être abondants.

Des considérations cartographiques permettent d'estimer à 4 ou 5 m la hauteur séparant le haut de la carrière de Jeandelaincourt de la base du faciès "*Schistes carton*" auct., ce qui donne cette valeur comme un maximum pour la sous-zone à *P. hawskerense*. A Ludres, cette sous-zone aurait environ 7 m d'épaisseur.

Ces observations sont à mettre en relation avec l'épaisseur réduite du Domérien, et des "*Grès médioliasiques*" auct. en particulier, dans la région de Delme (MAUBEUGE, 1955, LEFAVRAIS-RAYMOND et HORON, 1961).

B - FAUNES ASSOCIEES

La plupart des témoins fossilisés de la macrofaune invertébrée pliensbachienne de la région de Nancy, appartiennent aux classes suivantes :

Brachiopodes, Lamellibranches, Céphalopodes, Crustacés, Crinoïdes, Echinides, Holothurides.

En outre, quelques représentants de l'embranchement des Annélides et des classes des Gastéropodes et Ophiurides témoignent de la diversité de l'assemblage faunique. Il faut cependant, noter l'absence de Coelentérés.

Ces classes ne sont pas également réparties dans le temps et l'irrégularité dans la distribution est encore plus sensible au niveau des genres ou des espèces. En se fondant sur les données récentes de la paléoécologie, il est possible d'en déduire un certain nombre de conclusions sur le milieu de sédimentation.

* dans les sondages

1 - Carixien

(Sondages BONS 2 et TOMB 2)

Le Carixien se distingue du Domérien par sa richesse en fragments de tests d'Echinides et en articles d'Encrines. Des radioles de type Scutella ou Spatangus (communs) et de nombreux fragments de Lamellibranches de taille millimétrique leur sont associés.

D'après ce que l'on sait de l'écologie des Echinodermes (WOBBER, 1968, p. 286-287 ; LUCAS, CROS et LANG, 1976, p. 189 et 194), on peut résumer ainsi le biotope carixien ; eaux aérées et suffisamment riches en matières alimentaires en suspension ; fond pas trop consistant mais suffisamment stabilisé par les bioclastes et couverts de "prairies" de Crinoïdes.

L'abondance des rostrés de Bélemnites et la nature essentiellement calcaire des sédiments laissent présumer un faible taux de sédimentation, les eaux malgré l'agitation au moins intermittente devaient donc être claires. La présence de fragments d'Algues calcaires dans les microfaciès du sommet du Carixien ainsi que celle, au moins épisodique, de structures d'allure oncolithique, confirment cette hypothèse.

2 - "Argiles à Amalthées" auct.

(Sondage BONS 2 et carrière de Jeandelaincourt)

Sur l'ensemble des "Argiles à Amalthées" auct., la macrofaune, si l'on excepte quelques "horizons" particuliers (à Jeandelaincourt: 1c-1g-1h-4e), est plus disséminée. C'est dans l'unité à nodules sidéritiques que la faune est la plus discrète (mais non absente). Crinoïdes à columnales de petit diamètre et Lamellibranches de taille modeste, à valves minces, constituent l'essentiel de la macrofaune benthique. Le genre Nucula est fréquemment récolté.

Selon HALLAM (1960, p. 37) et Mc ALESTER et RHOADS (1967, p. 383), c'est à la déficience en oxygène qu'il faut attribuer l'effet limitatif sur la croissance des individus, seuls les groupes eurybiontes tels Nucula sont bien adaptés à ces milieux. L'exemple de l'unité à nodules sidéritiques est, à cet égard, significatif. Des phénomènes de dissolution sont par ailleurs possibles.

Ce cadre général doit toutefois être nuancé puisque le sondage BONS 1 (photographie n° 3) et la carrière de Jeandelaincourt traduisent l'existence d'épisodes nettement plus riches en faune (1c-1g-1h-4e). Les concentrations de bioclastes qui y sont parfois associées (1g-4e), témoignent de l'apparition intermittente d'un niveau d'énergie plus élevé. Même si la faune est pour une part allochtone (ou paraautochtone), il faut peut-être y voir la preuve de l'établissement d'un biotope plus favorable à la vie.

Remarque : Les "horizons" 1g et 4e sont riches en fragments de Pectinidés.

Ces Lamellibranches préfèrent des eaux peu profondes, en mouvement et bien oxygénées, pas trop turbides avec des fonds assez fermes, souvent coquilliers (WOBBER, 1968, p. 293). Cependant, d'après YONGE (1939) in SELLWOOD (1970, p. 494), ils sont capables de vivre également dans un environnement argileux à cause de leur habitude de "claquer" leurs valves l'une contre l'autre, ce qui libère le manteau des particules qui auraient pu s'y déposer.

Les fonds marins correspondant aux "*Argiles à Amalthées*" auct., sont donc peu agités, à taux d'oxygène relativement bas (≤ 1 ml/l s'il l'on se réfère au schéma de BOWEN et al., 1974, in RHOADS (1975, p. 154)) sans être toutefois confinés. Par intermittence des périodes d'agitations plus ou moins accentuées ou des changements dans la répartition des courants relèvent le taux d'oxygène, ce qui se traduit par un peuplement plus étoffé. Lorsque le régime hydrodynamique devient élevé de nombreux bioclastes s'y associent ou prennent le relais de la faune en place.

Le taux de sédimentation est difficile à évaluer. Vraisemblablement faible lorsque les eaux sont agitées, il est considéré dans l'ensemble comme élevé par MOUTERDE et TINTANT (1968) ⁽¹⁾.

Un certain nombre d'Ammonites et de rostrs de Bélemnites trouvés en place font un angle plus ou moins prononcé avec la surface de stratification. Cette observation permet d'apprécier les caractéristiques physiques du fond : il devait être à la fois assez mou et assez consistant pour que ces corps puissent s'y enfoncer dans la position qui était celle de leur arrivée sur le fond (HALLAM, 1960, p. 32).

3 - "*Grès médioliasiques*" auct.

(Carrière de Jeandelaincourt et sondage LUDR 1)

Avec les "*Grès médioliasiques*" auct., on assiste à une nette expansion des tailles, de l'épaisseur des coquilles et du nombre d'individus, voire du nombre d'espèces (bien qu'aucune étude précise n'ait été conduite dans ce sens).

L'ornementation des Brachiopodes et des Lamellibranches se développe, ce qui peut traduire une adaptation à un meilleur ancrage (en particulier pour les formes juvéniles) (ROGER, 1939, in HALLAM, 1960, p. 39 ; ROGER, 1974, p. 128). Les restes de téguments de Crustacés sont communs, en particulier dans les nodules ovoïdes phosphatés.

L'apparition dans les "*Grès médioliasiques*" auct. de formes de grande taille (genre *Gryphea* et *Pseudopecten*), de strates riches en endobiontes sessiles (genres *Pholadomya*, *Pleuromya*) et de concentrations de Brachiopodes, appelle quelques commentaires.

- Comme il a été dit précédemment, les Pectinidés comprenant entre autre les genres *Pseudopecten*, *Chlamys*, *Entolium*, vivaient de préférence dans des eaux peu profondes, bien oxygénées, parcourues par des courants modérés, sur des fonds assez stables et fermes (WOBBER, 1968).

Les Aviculidés dont MAUBEUGE (1961, p. 571) signale un grand nombre à la base des "*Grès médioliasiques*" auct. de Jeandelaincourt (en particulier du genre *Oxytoma*) vivaient sans doute usuellement dans le même biotope.

(1) Leur conclusion est fondée sur l'indice de sédimentation $i = Er/Em$

Er = épaisseur de la zone d'Ammonite dans la région considérée (liasique).

Em = épaisseur moyenne théorique = épaisseur totale de la série/nombre des zones d'Ammonites (de durées égales).

- Les *Gryphea* de grande taille et de forme robuste : (*Gryphea gigantea*, SOWERBY, *Gryphea depressa*, PHILLIPS), sont localisées préférentiellement dans les couches GM 2 à GM 9 de la carrière de Jeandelaincourt. Ces Lamellibranches sessiles de grande taille sont connus dans le Lias pour fréquenter plutôt les fonds parcourus par les courants et riches en bioclastes (WOBBER, 1968, p. 294). HALLAM (1960, p. 38) suppose néanmoins à la différence de WOBBER (*ibid.*, p. 294) ⁽¹⁾, qu'ils peuvent tolérer un taux de sédimentation élevé.

Remarque : Ces *Gryphea* ont été trouvées associées à des accumulations de valves et fragments de coquilles, soit en position verticale en équilibre sur le bord latéral, soit en position oblique mais reposant sur la valve gauche. Cette attitude dans l'espace, anormale pour un état d'équilibre dynamique, serait une conséquence de la forme non usuelle de la valve gauche (HALLAM, 1967, p. 413).

- *Pholadomya* et *Pleuromya* en particulier *Pleuromya jauberti* DUMORTIER et *Pholadomya aff. decorata* ZIETEN, endobiontes plus ou moins sessiles sont assez abondants dans la partie inférieure de la couche GM 11. Ils sont en position de vie, faisant un angle avec la surface de stratification, la partie antérieure dirigée obliquement vers le bas. WOBBER (1968, p. 298), bien que sa discussion se place, au niveau de l'espèce, leur assigne en général une intolérance aux milieux réducteurs. Le milieu idéal semble être constitué par des fonds stables et suffisamment consistants, oxygénés par des courants. Mc ALESTER et RHOADS (1967, p. 387) précisent que les bivalves actuels qui adoptent une position oblique par rapport au fond, sont assez caractéristiques des conditions régnant dans la zone infralittorale peu profonde.

- Relativement peu abondants, dans les "Argiles à Amalthées" auct., les Brachiopodes sont bien représentés dans les "Grès médioliasiques" auct., en particulier dans la partie supérieure où certains nodules renferment d'importantes concentrations de coquilles de *Lobothyris punctata* (SOWERBY).

Selon HALLAM (1960, p. 38), les Brachiopodes fréquentent de préférence les eaux oxygénées à pourcentage de seston pas trop élevé. Il souligne également (1967, p. 410) avec AGER (1965, p. 150) la fréquente occurrence des Brachiopodes et en particulier de *Lobothyris punctata* (SOWERBY) en "nids" atteignant parfois plusieurs centaines d'individus presque tous de la même espèce et sans orientation particulière en l'absence de tout déplacement mécanique. Ces groupements très importants représenteraient des associations coloniales d'individus de tailles variées - car d'âge différent - rapidement détruites dans la plupart des cas par enfouissement lors de la reprise de la sédimentation.

A Jeandelaincourt, les coquilles semblent toutes de taille équivalente et le "nid" passe latéralement à un pavage plus ou moins épais de valves de Lamellibranches et de Brachiopodes cassées ou déformées (photographies n° 6 et 7).

(1) Cet auteur précise cependant p. 297 que cela est possible pour de courtes périodes seulement.

On peut donc admettre, dans notre cas, l'existence de courants exerçant un tri, voire une reprise locale des associations coloniales de Brachiopodes. Les périodes de rémission dans la sédimentation corollaires de l'existence de ces nids, seraient donc en relation éventuelle avec un vannage inhérent à une plus grande agitation des eaux sur le fond.

AGER (1965, p. 150) place ces types d'associations, ainsi que les *Terebratulacea* à ligne cardinale rectiligne ou légèrement ondulée - dont *Lobothyris punctata* (SOWERBY) - dans la zone infralittorale à fond relativement sableux qu'il distingue nettement des autres domaines sédimentaires : zone infralittorale à fond vaseux, zone médiolittorale, etc...

Les fonds marins correspondant au dépôt des "*Grès médioliasiques*" *auct.*, semblent donc être peu profonds et soumis à l'influence des courants intermittents suffisamment forts à Jeandelaincourt pour déplacer des valves de *Gryphea* de grande taille. Ils sont d'autre part susceptibles de faire varier la turbidité de l'eau et le taux de sédimentation.

Par rapport aux "*Argiles à Amalthées*" *auct.*, le potentiel d'oxydo-réduction en moyenne plus élevé ainsi que les propriétés physiques des sédiments rendus plus consistants par une charge plus élevée en silts et en bioclastes - mais soumis à une agitation épisodiquement importante - permettent l'installation d'une endofaune localement abondante et la prolifération d'une épifaune vagile ou sessile de forme plus robuste et de taille supérieure. D'après MOUTERDE et TINTANT, le taux de sédimentation moyen des "*Grès médioliasiques*" *auct.* en Lorraine est assez peu élevé.

L'apparition de nombreux rostres de Bélemnites à la partie tout-à-fait supérieure du sondage LUDR 1 (Toarcien ?) laisse supposer par ailleurs l'existence d'une "zone de condensation" au sommet des "*Grès médioliasiques*" *auct.*

MICROFAUNE

La microfaune du Pliensbachien de la région de Nancy a fait l'objet de plusieurs études.

Mise à part la publication fondamentale de TERQUEM et BERTHELIN (1875), il faut signaler les travaux de BIZON, et OERTLI pour le Colloque sur le Lias Français (1961) et ceux de RUGET, SIGAL et DONZE à l'occasion de l'étude du Lotharingien de la région type dans le sondage de Laneuveville-devant-Nancy (1967). Ce sondage a, en effet, débuté dans les "*Argiles à Amalthées*" *auct.*

On peut citer ici les conclusions de MOUTERDE *et al.* (1967) concernant la base du Domérien de ce sondage (le Carixien trop compact n'avait pas donné lieu à des prélèvements).

"Les premiers mètres (du Domérien) appartiennent à la sous-zone à *A. stokesi* ; les Ostracodes y sont spécialement nombreux ; toute une série d'espèces apparaissent à ce niveau dans le sondage. Les conditions écologiques leur étaient probablement favorables, plus qu'aux Foraminifères ; ceux-ci ne présentent qu'un petit nombre de formes nouvelles associées à 7 espèces apparues plus tôt".

En ce qui concerne les parties du Domérien stratigraphiquement plus élevées, on peut dire ⁽¹⁾ que les "Argiles à Amalthées" auct. de Jeandelaincourt sont riches en Foraminifères. En revanche, un sondage dans les "Argiles à Amalthées" auct. effectué dans la région de Art-sur-Meurthe s'est révélé pauvre en microfaune. La comparaison avec Jeandelaincourt est difficile puisque d'après l'épaisseur carottée, le sondage se place stratigraphiquement en-dessous de la formation affleurant dans la carrière de Jeandelaincourt*. Ceci témoigne cependant de profonds changements dans les écosystèmes marins, latéralement et, également, dans le temps.

Les "Grès médioliasiques" auct. du sondage LUDR 1, pourtant riches en bioturbations, sont très pauvres en microfaune.

TRACES FOSSILES ⁽²⁾

Les traces fossiles les plus fréquemment rencontrées dans le Pliensbachien se rapportent aux ichnogenres cités ci-dessous. Les interprétations proposées proviennent de publications de FURSICH (1975) ; HANTSCHER in MOORE (1975) ; OSGOOD in FREY (1975) ; SIMPSON in FREY (1975).

- Type *Chondrites* VON STERNBERG (1833) rapporté maintenant à l'activité d'Annélides polychètes, de Sipunculien ou même d'Arthropodes (structure de nutrition). Les "tunnels" sont de grand (1 à 1,5 mm) ou de petit (0,5 mm) de diamètre.

- Type *Rhizocorallium* ZENKER interprété comme une structure de logement et de nutrition de Crustacés.

- Type *Planolites* NICHOLSON qui serait une structure de nutrition appartenant à un animal vermiforme. Le sédiment de remplissage du tunnel aurait été ingéré par l'animal.

- Type *Thalassinoides* EHRENBERG considéré comme structure de logement et de nutrition de Crustacés proches des Callianasses actuels.

- Type *Tisoo* DE SERRES donné par certains auteurs (HANTSCHER in MOORE, 1975, p. 117) comme structure d'habitat de Crustacés (Euphausiacé ou Amphipode) plutôt que d'Annélide.

A ces ichnogenres, il faut ajouter :

- une catégorie de traces fossiles constituée par des terriers

(1) Communication de Madame C. RUGET qui étudie les Foraminifères des échantillons recueillis (travaux en cours).

(2) Je dois beaucoup à Monsieur A. HARY, Professeur d'Enseignement Moyen à Grevenmacher (Luxembourg), qui a examiné un certain nombre de mes échantillons et m'a guidé dans l'orientation bibliographique.

* La présence de Amaltheus wertheri (LANGE) laisse cependant supposer que la base actuelle de cette carrière se place peu au-dessus de la zone à A. stokesi.

verticaux de 10 à 20 cm de longueur et de 0,5 à 1 cm de diamètre. Aucun terrier complet n'a pu être trouvé mais on peut remarquer, dans quelques cas, que la partie inférieure s'incurve légèrement. Il n'y a pas de traverses (Spreiten) visibles. Ce type pourrait se rapprocher de ceux décrits par AL KHATIB (1976, p. 253) dans le "*Calcaire à Gryphées*" auct. de Lorraine ;

- les terriers fins et pyriteux des "*Argiles à Amalthées*" auct. plus ou moins contournés et bifurqués par endroits qui rappellent le type *Chondrites*. Ils sont associés à de très petites pistes subhorizontales rectilignes de longueur centimétrique ;

- les perforations de lithophages sur les nodules de "l'horizon" 4e de la carrière de Jeandelaincourt.

Il existe d'autres traces fossiles mais leur détermination s'est révélée délicate, en particulier dans les sondages. De plus, les types définis ci-dessus paraissent les plus caractéristiques et les plus fréquents des ichnocoenoses du Pliensbachien de Lorraine.

1 - *Carixien*

(Sondages BONS 2 et TOMB 2) (Pl. 1-1, 2)

On y trouverait l'assemblage suivant (difficile à déterminer uniquement sur carottes de sondage) : *Chondrites* de petite et grande taille (ces derniers sont peut-être à rapporter à *Pygospioidea* (HANTSCHER et al., 1968, in SELLWOOD, 1970, p. 497), *Rhizocorallium* ?, grands terriers verticaux (non dénommés) ; la présence de *Thalassinoides* est également possible.

Cette association de traces fossiles correspondrait au "*Cruziana facies*" (d'après la classification de SEILACHER, 1967, modifiée par FREY, 1975, p. 17). Ceci implique un environnement marin peu profond mais en général hors de l'action des vagues, sauf occasionnellement, lors des épisodes les plus agités.

L'aspect général des carottes des sondages BONS 2 et TOMB 2, de par l'importance de la bioturbation, est très confus. Il se rapproche du faciès "*Fossitextura deformatica*" de SCHAFER. Ceci indiquerait une sédimentation à taux toujours faible, peu différenciée dans l'ensemble (HOWARTH, in FREY, 1975, p. 134).

Toutefois, un morceau de carotte d'un sondage par ailleurs très incomplet, effectué non loin de BONS 2, présente une sélectivité relative des traces fossiles en fonction de la lithologie (fig. 22).

Les grands terriers verticaux semblent débiter de préférence au sommet des lits calcaires tandis que les *Chondrites* sont plus abondants dans les faciès les plus argileux.

Les sondages BONS 2 et TOMB 2 paraissent indiquer une répartition identique des *Chondrites* (en particulier de ceux de grande taille). Ils montrent également que la bioturbation croît avec le pourcentage d'argiles.

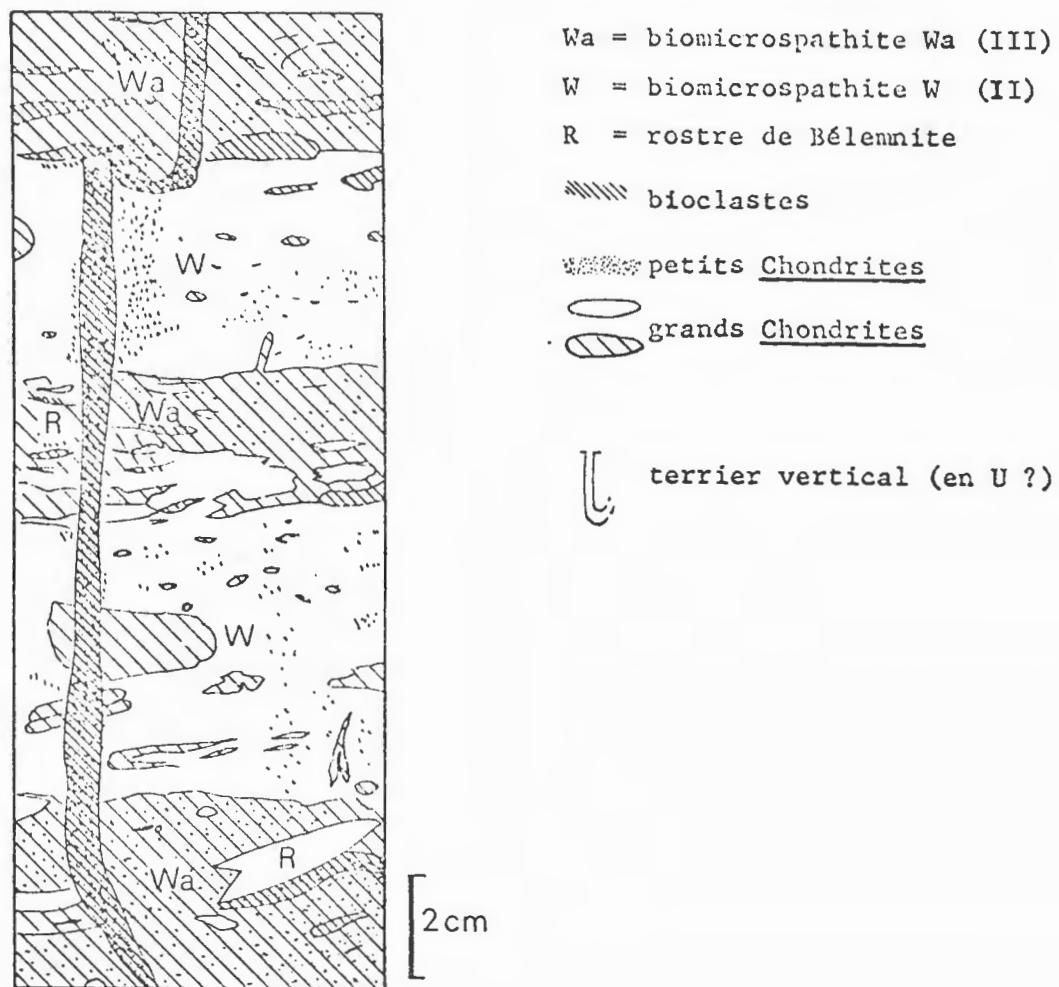


Fig. 22 - Lithologie et bioturbation dans les calcaires carixiens.

La présence de grands terriers verticaux pourrait à première vue être l'indice d'une certaine agitation sur le fond (RHOADS, 1967, p. 475 et 1975, *in* FREY, p. 150), néanmoins la reconnaissance par AL. KHATIB (1976, p. 253) de pistes apparentées aux nôtres dans des milieux de faible énergie ("*Calcaire à Gryphées*" *auct.* de Lorraine) conduit à nuancer la signification environnementale de ces terriers ; s'ils témoignent d'une aptitude à ingérer les particules en suspension ("suspension-feeder"), celles-ci ne proviennent pas nécessairement d'une remise en suspension des sédiments du fond. RHOADS signale d'ailleurs (*in* FREY, 1975, p. 155) que seule la présence unique de profonds terriers verticaux, à l'exclusion de toute autre forme de trace fossile, peut suggérer des périodes d'érosion ; ceci n'est pas le cas dans le Carixien étudié.

2 - "*Argiles à Amalthées*" *auct.*

(Sondage BONS 2 et carrière de Jeandelaincourt) (Pl. 1-1, 3-1)

La première moitié des "*Argiles à Amalthées*" *auct.*, malgré un taux de bioturbation légèrement variable (pl. 1-1), apparaît peu différenciée par ses assemblages ichnologiques (principalement de type *Chondrites*) du moins dans les sondages étudiés. En revanche, la seconde moitié montre, à Jeandelaincourt, l'alternance suivante (pl. 3-1) :

- dans les marnes à petits nodules ovoïdes calcaires ou sidéritiques : petites pistes horizontales très fines et de longueur centimétrique reconnaissables par les produits d'altération du fer et du cuivre qu'elles renferment (altération de Chalcopirite ?) ; petits terriers pyriteux contournés et parfois bifurqués rappelant le type *Chondrites*, (photographie 3) ;

- dans les marnes à nodules calcaires mamelonnés : *Thalassinoides* qui, par diagénèse, produit ces "nodules" (FURSICH, 1973) (photographie 38) associés de préférence à la base de sa zone d'apparition avec *Planolites*. Au sommet de celle-ci, les "nodules" sont couverts soit de *Chondrites* (1g), soit de perforations de lithophages (4e) (photographies 39 et 40).

Cette reprise va de pair avec l'apparition dans les argiles de nombreux bioclastes et de débris phytogènes.

Le premier assemblage de traces fossiles serait peut-être à placer dans le "*zoophycos facies*" de SEILACHER. Il correspondrait alors soit à la zone littorale profonde hors de l'action des vagues de tempête (FREY, 1975, p. 17), soit à la zone circalittorale.

Le deuxième assemblage serait représentatif du "*cruziana facies*" de SEILACHER, c'est-à-dire qu'il se rapporterait à une ichnocoenose de zone infralittorale moins profonde mais toutefois sous la profondeur d'action des vagues normales. Elle peut néanmoins, subir l'action des vagues de tempête (FREY, 1975, p. 17).

Il semble donc, comme précédemment pour le Carixien, que l'on ait une succession (traduite en niveaux d'énergie) asymétrique.

Après une période de dépôt plus ou moins continu en milieu calme et relativement peu oxygéné (RHOADS, *in* FREY, p. 149 à 154), les conditions,

sans doute en liaison avec le degré moyen d'agitation des eaux, changent progressivement ; des pistes de type *Planolites* et *Thalassinoides* apparaissent. Lorsque le niveau d'énergie atteint ou dépasse un certain seuil, se place une période de forte baisse du taux de sédimentation favorable à l'implantation d'une bioturbation abondante (JEAN 1g) ou de perforations de lithophages sur les nodules qui peuvent, dans les cas extrêmes, être remaniés, puisque les traces d'activité organique sont présentes sur toutes les faces (JEAN 4e).

Le retour à l'environnement sédimentaire précédent nettement plus calme avec un Eh plus bas près du fond, se fait rapidement (1) comme en témoigne, à Jeandelaincourt, l'apparition de l'unité à nodules sidéritiques, à macrofaune et traces fossiles assez disséminées, peu au-dessus de "l'horizon" JEAN 1g (Pl. 3-1).

3 - "*Grès médioliasiques*" *auct.*

(Carrière de Jeandelaincourt et sondages LUDR 1 et LUDR 3) (Pl. 4-1, 5-1)

Presque toute la partie inférieure du sondage LUDR 1 se compose d'une alternance constituée par des lits de siltite argileuse calcaire à *Planolites* et de siltite argileuse très calcaire (ou siltite marneuse) en principe plus riches en *Chondrites* de petite taille et à taches noires diffuses dont on peut se demander si elles ne sont pas également des témoins de pistes fossiles de type *Planolites* ayant évolué différemment à cause du lithotope plus carbonaté. Il a été signalé que les figures sédimentaires (microlaminations) se localisent essentiellement dans les lits carbonatés où par ailleurs, il y a moins de micas.

HOWARTH (*in* FREY, 1975, p. 133 et suiv.) insiste sur les relations liant la sédimentation et la bioturbation. Localement, lorsque les conditions de dépôt demeurent constantes, l'intensité et le type de bioturbation restent inchangés. Si une modification survient, en particulier si le taux de sédimentation baisse, la bioturbation devient plus abondante. La réciproque est vraie également. Ainsi, un afflux de matériel détritique se traduit par la disparition d'au moins une partie des traces fossiles (sauf quelques structures d'évitement), tandis qu'une période de rémission pourra présenter une intense bioturbation.

Par ailleurs, BYERS (1974) a établi une corrélation inverse entre l'intensité de la bioturbation et le degré de fissilité des roches argileuses.

La coupe du sondage LUDR 1 (pl. 4-1) entre les cotes 17,50 m et 12,60 m, conduit alors à l'interprétation suivante (2) :

- les interlits silto-argileux à *Planolites* représenteraient des phases de sédimentation relativement rapide par rapport aux lits plus carbonatés à *Chondrites*, lesquels pourraient être inhérents à une baisse du taux de sédimentation, en particulier en détritique terrigène.

La prééminence des *Chondrites* dans les lits les plus carbonatés est peut-être due à une réaction trophique. Le chimiotropisme, tout comme une réaction à des niveaux d'énergie ou à des substrats de propriétés

(1) Cette remarque concerne uniquement la période postérieure à l'arrêt ou à la forte baisse de sédimentation qui, pour sa part, ne peut donner lieu à aucune estimation de durée.

(2) Cette interprétation n'est présentée qu'à titre d'hypothèse.

physiques différentes semble à exclure puisque FÜRSICH (1975, p. 157) signale que *Chondrites* se retrouve dans des sédiments très divers.

Dans la moitié supérieure des sondages LUDR 1 et LUDR 3, les ichnogenres sont plus nombreux. Outre *Chondrites* de grande taille ainsi que *Planolites* qui se rencontrent encore occasionnellement (sondage LUDR 3, cotes 7,40 m à 8,20 m), on peut noter l'apparition de terriers très obliques par rapport à la stratification et de structures d'échappement peut-être tronquées à leur partie supérieure (cotes 11,90 m à 11,68 m, 7,60 m à 7,55 m du sondage LUDR 1) (pl. 4-1), surmontées de niveaux extrêmement bioturbés à grands *Chondrites*.

Cette disposition des terriers traduirait d'après GOLDRING (1964) et HOWARTH, ROADS, KENNEDY (*in* FREY, 1975), l'agitation du milieu sédimentaire et un taux de sédimentation variable ; elle se rapporte au "*Skolithos facies*" de SEILACHER considéré par FREY (1975, p. 16) comme caractéristique des zones littorales soumises à l'action des vagues.

La partie tout-à-fait sommitale des sondages LUDR 1 et LUDR 3 (Toarcien ?), sous les "*Schistes carton*" *aut.*, riche en bioturbations de type *Chondrites* (de grande taille) et en rostrs de Bélemnites verrait se rétablir un milieu à sédimentation lente (un peu identique à celui du Carixien ?). Il est sans doute assez riche en matière organique comme en témoigne l'abondance de pyrite.

CONCLUSION

La présence dans le Carixien de nombreux rostrs de Bélemnites et d'une bioturbation abondante peut laisser supposer un taux de sédimentation réduit. L'assemblage paléoichnologique appartenant au "*Cruziana facies*" de SEILACHER, ainsi que l'apparition de débris d'Algues calcaires et de manchons algaïres, permettent de présumer la zonation bathymétrique (zone infralittorale vraisemblablement peu profonde) ⁽¹⁾, et le niveau d'énergie : ce dernier ne devait pas être élevé en moyenne mais, par intermittence, des périodes d'un peu plus forte agitation ont été possibles.

Au Domérien, les conditions changent totalement. La petite taille d'une grande partie de la macrofaune comme des traces fossiles, l'association ichnologique à *Chondrites* et *Planolites*, témoignent d'un milieu qui dans l'ensemble, sans être confiné, est sans doute nettement plus pauvre en oxygène, au niveau du fond, que la mer carixienne.

La sédimentation lors du dépôt de la zone à *A. stokesi* et de la sous-zone à *A. gloriosus* a dû se faire dans un milieu peu changeant, de manière statistiquement continue, sans doute assez rapide. L'intensité

(1) Le benthos très développé confirmerait cette hypothèse (communication personnelle de Monsieur Y. CHAMPETIER).

de la bioturbation - de petite taille et très peu différenciée - ne varie pas considérablement.

Lors de l'héméra correspondant grossièrement à la sous-zone à *A. gibbosus*, l'environnement sédimentaire est plus diversifié et, à la reconstitution physico-chimique du milieu proposée ci-dessus, il faut surimposer des phases de mise en mouvement et d'oxygénation des eaux avec réduction sensible du taux de sédimentation, d'où recrudescence du peuplement benthique. Des périodes de non dépôt, voire d'érosion, dont témoignent de nombreux bioclastes et des perforations de lithophages sur des "nodules" résultant de la lithification de terriers de *Thalassinoides*, sont même possibles.

Ces épisodes à niveau d'énergie plus élevé encadrent, à Jeandelaincourt, un intervalle sédimentaire plus pauvre en macrofaune et en traces fossiles où le biotope semble proche de celui qui a été défini pour la sous-zone à *A. gloriosus*, tout en étant sans doute plus réducteur.

Avec l'apparition des "*Grès médioliasiques*" auct., la macrofaune, qu'elle soit vagile ou sessile, se diversifie et se multiplie. Parallèlement, les formes deviennent plus robustes et mieux ornées. Ceci peut refléter un "écosystème" où les eaux sont en moyenne plus agitées que précédemment mais où, également, les besoins en oxygène et peut-être en éléments nutritifs sont mieux satisfaits. Les fonds devaient être suffisamment stables et fermes pour que les formes juvéniles puissent se développer malgré l'apparition assez fréquente, en particulier dans la partie supérieure, de turbulences susceptibles de remanier les sédiments.

La relative rareté de la microfaune dans les sondages au sud de Nancy, relèvent sans doute de données environnementales différentes de ce qu'elles sont au nord, dans la région de Jeandelaincourt.

A la partie tout-a-fait supérieure des sondages LUDR 1 et LUDR 3 (Toarcien ?), l'abondance à la fois des rostrés de Bélémnites et des fragments de Crinoïdes et Lamellibranches, traduit un retour à des conditions de milieu qui étaient celles du Carixien : baisse des apports de terrigène, faible taux de sédimentation ?, agitation intermittente ; mais, par ailleurs, pyrite et teneur en matière organique semblent également préfigurer le lithotype réducteur des "*Schistes carton*" auct.

V - ETUDE SEQUENTIELLE

A - Carixien

(Sondages BONS 2 et TOMB 2) (Pl. 1-1, 1-2, 2)

1 - Lithofaciès : mode d'association et évolution des caractères analytiques

L'aspect macroscopique à la fois peu différencié et très bioturbé de la plus grande partie du Carixien de la région de Nancy rend son examen et son analyse délicats.

Toutefois, l'étude détaillée des sondages BONS 2 et TOMB 2, ainsi que de quelques autres échantillons, met en évidence le mode d'association des quatre lithofaciès reconnus et une évolution générale des caractères microscopiques et analytiques depuis le terme I : biomicrospathite P, jusqu'au terme IV : marne à bioclastes.

La planche (1-1) montre (entre 33,50 m et 33,20 m) que la biomicrospathite P (I) est suivie par une biomicrospathite W (II) puis une biomicrospathite Wa (III) ⁽¹⁾; ces dernières (II & III) peuvent se succéder en une suite "d'oscillations" pour lesquelles les observations microscopiques ne mettent en évidence aucune discontinuité pétrographique (cotes 34,00 m à 33,50 m).

En revanche, la photographie 20 met en relief la nature érosive du contact lorsque le terme I surmonte les termes II ou III (cotes 33,50 m à 33,25 m).

Les marnes à bioclastes, quand elles existent, se placent au-dessus de III (biomicrospathite Wa).

Du terme lithologique I le plus carbonaté au terme lithologique IV le plus argileux, la taille du grain moyen des bioclastes décroît de 250 μ à 100 μ et l'arrondi de ces débris organogènes diminue ; parallèlement, le classement devient moins bon.

De manière similaire, le pourcentage de bioclastes s'abaisse de 60 - 70 % à 30 - 40 %.

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ du détritique terrigène (interprète chimique des fluctuations du quotient quartz/argiles dans notre cas), présente également, du lithofaciès I vers le lithofaciès IV, une décroissance.

Dans l'ordre précité I - II - III - IV, il s'établit ainsi une certaine parité entre la part du quartz par rapport aux argiles et celle des bioclastes par rapport à l'ensemble de la roche : toutes deux diminuent.

(1) Pour des raisons techniques, seuls les symboles P et Wa ont été représentés à cet endroit sur la coupe lithologique semi-schématique.

2 - Séquence type

Il résulte des observations et caractères analytiques énoncées ci-dessus que l'on peut disposer les termes lithologiques du Carixien selon un ordre qui suit les variations de la granulométrie des détritiques intra et extra-bassin et celles du pourcentage de CaCO_3 ; cet ordre est celui de la séquence type carixienne. Il est figuré dans le tableau 7 qui reprend également les principales données acquises sur les lithofaciès carixiens.

La biomicrospathite à texture packstone (I) de bas de séquence texturale et granulométrique, puisque les bioclastes y sont les plus nombreux et y ont la plus grande taille, est suivie par une biomicrospathite à texture wackstone (II).

Ces deux termes sont les plus riches en CaCO_3 . Suivent, dans l'ordre, une biomicrospathite argileuse à texture wackstone (III) et les marnes à bioclastes (IV) lorsque le pourcentage d'argiles augmente.

Le pourcentage de fragments de coquilles plus élevé dans les marnes que dans la biomicrospathite W peut paraître surprenant. Il pourrait s'agir éventuellement d'épisodes enregistrant une baisse du taux de sédimentation (bioturbation plus abondante, grands terriers verticaux débutant à la limite faciès les plus calcaires - faciès les plus argileux), mais surtout, un tassement différentiel plus accentué pour les termes les plus argileux est possible. HALLAM (1964, p. 159) a reconnu l'action d'un tel processus dans le "Blue Lias" d'Angleterre.

La séquence type ainsi obtenue présente une certaine parenté avec celle observée par HAGUENAUER dans le "*Calcaire à Cératites*" auct. du Muschelkalk supérieur de Lorraine (HAGUENAUER, 1963 ; HAGUENAUER - HILLY, 1975).

La succession séquentielle des lithofaciès débiterait, par rapport à la séquence type du Muschelkalk supérieur, sous les argilites ; elle en serait en quelque sorte, en faisant abstraction des quartz, un équivalent à la fois rabougri et tronqué (tabl. 7 et fig. 23).

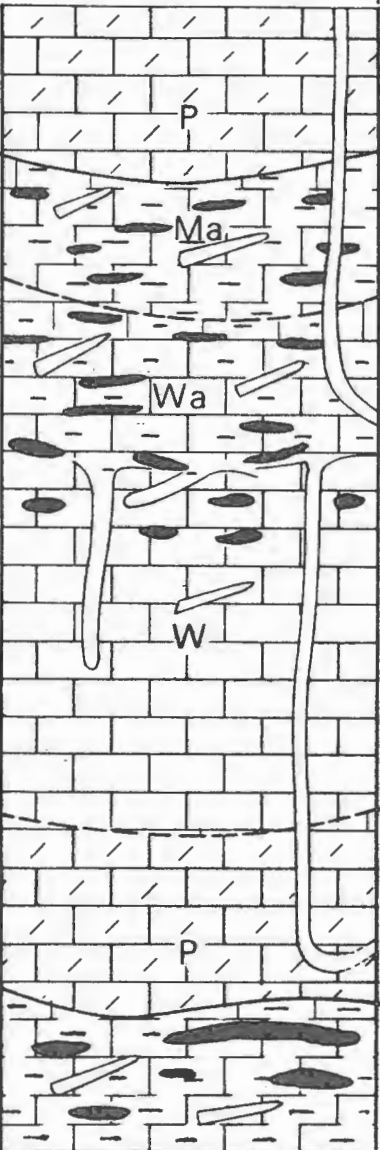
3 - Analyse séquentielle

(Pl. 1-3)

En l'absence de diastème visible dans la partie basale du complexe calcaire inférieur, nous avons été amené à opter pour une succession "d'oscillations" entre les lithofaciès II et III.

En revanche, deux répétitions à tendance rythmique marquées à la base par un diastème érosif entre les termes I et III ou I et II (maistoutes les deux suivies par un "retour" biomicrospathite Wa - biomicrospathite W), marquent la fin de cette première unité calcaire.

Le deuxième complexe calcaire présente une seule dérive vers les lithofaciès plus argileux.

2 cm] Lithofaciès	Termes	CaCO ₃ %	Allochèmes % taille moyenne & forme	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ ——— K ₂ O/SiO ₂ x 100 ----	Remarques
		60 70 80		3 4 5 6 5 4 ----	
	IV		# 1 000 µ à 100 µ SAR - SAN	┌-----┐	Grands <u>Chondrites</u>
	III		30 - 40 150 µ SAR - SAN	┌-----┐	Passage <u>±</u> progressif du terme III au terme IV En général chute rapide du % CaCO ₃ Grands <u>Chondrites</u> Terme voisin de IV
	II		20 - 30 200 µ SAR - SAN	┌-----┐	<u>Rhizocorallium</u> ? grands <u>Chondrites</u> ? Sommet des grands terriers verticaux
	I		60 - 70 250 µ SAR	┌-----┐	Rhizocorallium ? petits <u>Chondrites</u> dominants sur les grands (non figurés)
					Contact érosif possible
					SAR = subarrondi SAN = subanguleux

Tabl. 7 - Séquence lithologique type carixienne.- (Figuration de la colonne lithofaciès commune avec celle des planches I et 2, sauf pour les termes I et II).

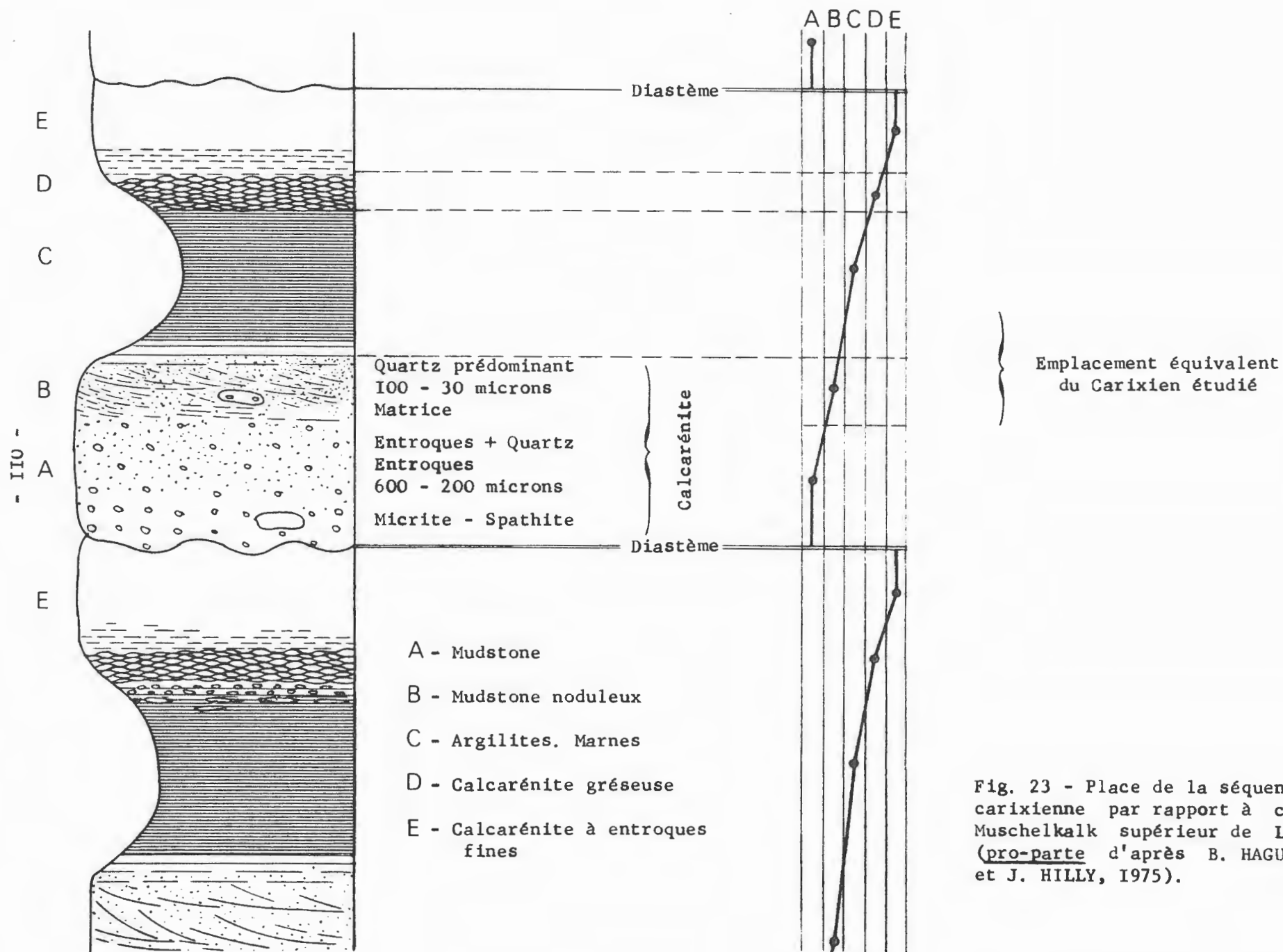


Fig. 23 - Place de la séquence-type carixienne par rapport à celle du Muschelkalk supérieur de Lorraine (pro-parte d'après B. HAGUENAUER et J. HILLY, 1975).

La transition vers les termes les plus argileux III et IV est toujours nettement marquée et au moins aussi rapide que les retours vers les lithofaciès plus calcaires.

Les marnes n'apparaissent que deux fois, les séquences sont donc le plus souvent tronquées au niveau du terme supérieur. Comme d'autre part, la puissance totale des marnes ne représente que la moitié de l'épaisseur cumulée des deux complexes calcaires, ceci traduit l'aspect subordonné de la part détritique extra-bassin dans la sédimentation.

B - "Argiles à Amalthées" *auct.*

(Sondages BONS 1, BONS 2 et carrière de Jeandelaincourt) (Pl. 1-1, 1-2, 3-1, 3-2)

1 - Lithofaciès et nodules : répartition et caractères analytiques

Deux termes lithologiques caractérisent les dépôts des "*Argiles à Amalthées*" *auct.* jusqu'à la zone de passage aux "*Grès médioliasiques*" *auct.* : les argilites silteuses (silts $\approx 40\%$, $\text{CaCO}_3 < 5\%$) et les argilites silteuses calcaires (silts $\approx 45\%$, 5 à 12 % de CaCO_3) ⁽¹⁾. Ces deux lithofaciès se succèdent sur presque toute l'épaisseur de la formation des "*Argiles à Amalthées*" *auct.* en une suite d'oscillations d'ordre décimétrique à métrique. Cette alternance apparaît bien dans le sondage BONS 2 (29,62 m à 27,61 m) étudié en détail. Il s'y ajoute très sporadiquement (JEAN Ig et JEAN 4e) un troisième lithofaciès, lequel est particulier dans le contexte de cette sédimentation terrigène fine. Il s'agit d'une argilite silteuse, tendant vers une silto-argilite, riche en valves et fragments de coquilles ; très localement, on peut même avoir de véritables biocalcirudites.

A une échelle différente, on peut, bien que les fluctuations des paramètres chimiques (CaCO_3 , $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) et granulométriques soient faibles, déterminer des unités où les lithofaciès argilite silteuse et argilite silteuse calcaire sont tour à tour dominants. Cette répartition à l'échelle de la formation est sensiblement identique à celle des nodules (pl. 1-1, 1-2, 3-1, 3-2).

- De la base des "*Argiles à Amalthées*" *auct.* jusqu'aux assises inférieures de la carrière de Jeandelaincourt (JEAN Ia), les nodules sont rares, voire absents ⁽²⁾. Les argilites silteuses sont dominantes ⁽³⁾.

- De JEAN Ic à JEAN Ie apparaissent des nodules ovoïdes de calcaire argileux d'ordre centimétrique. Les argilites silteuses calcaires deviennent dominantes. Néanmoins, l'enregistrement sédimentaire présente

(1) La différence de teneur en CaCO_3 provient en partie de la présence d'un plus grand nombre de fragments de coquilles.

(2) D'après les données bibliographiques, seule la partie supérieure des "*Argiles à Amalthées*" *auct.* est riche en nodules.

(3) Cette observation est confirmée par les analyses effectuées sur le sondage BONS 1, qui fait suite, stratigraphiquement, au sondage BONS 2.

des petites variations où pourcentages de CaCO_3 , carbone organique et P_2O_5 sont en corrélation sensiblement positives tandis que la relation est inverse avec la proportion de particules $< 2\mu$.

- Au-dessus, de JEAN If à JEAN Ig, les nodules présentent un aspect irrégulier avec des protubérances ; ils sont d'ordre décimétrique. FURSICH (1973) rapporte leur genèse à une possible lithification de traces fossiles, en particulier de *Thalassinoides*. Les argilites silteuses calcaires sont largement dominantes ; parallèlement, les teneurs en CaCO_3 , carbone organique, P_2O_5 , présentent un ventre plus ou moins marqué, alors que le pourcentage d'argiles diminue légèrement. Toutefois, cette différenciation reste de faible amplitude puisqu'elle est à peu près du même ordre de grandeur que les fluctuations reconnues à l'intérieur de l'unité précédente à nodules ovoïdes centimétriques. Les traces fossiles et la macrofaune sont relativement bien représentées.

- Les derniers nodules de ce type sont affectés par une bioturbation corticale et associés à des concentrations de valves et de bioclastes centimétriques, en particulier de Pectinidés, auxquelles participent également quelques rostrés de Bélemnites cassés. Par endroits, ces accumulations forment de véritables biocalcirudites. Juste au-dessus de ce niveau, on trouve aussi d'assez nombreux débris phytogènes centimétriques (JEAN Ig et JEAN Ih).

- "L'horizon" JEAN 2a est à nouveau pauvre en nodules et les argilites silteuses y sont dominantes.

- L'unité suivante après un épisode à nodules ovoïdes où l'on retrouve des argilites silteuses calcaires est marquée par l'abondance des nodules ovoïdes sidéritiques (JEAN 2c à 4a). La nature du ciment carbonaté des nodules et la faible teneur en CaCO_3 ($< 3\%$) des argilites silteuses, eu égard à leur pourcentage en sables et silts semblable à celui des autres unités à nodules donne à cet ensemble lithologique des caractères particuliers. De même, la teneur en carbone y est, en moyenne, un peu plus élevée.

D'après BORCHERT (in BOTTGER, 1972, p. 88-89), un Eh voisin de zéro et un pH légèrement inférieur à 7 sont éminemment favorables à la mobilisation du fer dans les sédiments. Ces conditions de pH sont également celles rendant possible une mise en solution de CaCO_3 .

En effet, POUSTOVALOV (1954) considère à propos du "faciès géochimique sidérique" que celui-ci est caractérisé par un excès de CO_2 susceptible d'augmenter la solubilité des carbonates de calcium plus facilement solubles, lesquels peuvent être totalement absents de ce faciès (y compris les coquilles calcaires qui subissent une destruction totale ou partielle).

Cette hypothèse sur la mise en solution et la migration initiale de CaCO_3 est applicable à cette unité à nodules sidéritiques. Elle est corroborée par la faible teneur en carbonates dans l'encaissant alors que, à l'inverse, les nodules sont très carbonatés (plus que dans les autres unités). D'autre part, la teneur supérieure en carbone organique est compatible avec l'existence, à l'origine, d'un milieu de

diagénèse relativement réducteur ⁽¹⁾ et à pression partielle de CO₂ suffisamment élevée. Enfin la microfaune montre des traces de dissolution ⁽²⁾.

On peut donc supposer qu'il s'agissait, au stade de la syngénèse, de sédiments ayant une composition d'argiles silteuses calcaires. Ceci expliquerait la teneur en sablons et argiles identique à celle des autres niveaux à nodules et établirait une similitude entre cette unité et celle à nodules ovoïdes de calcaire argileux.

- De JEAN 4b à JEAN 4d, on retrouve des nodules de calcaire argileux. Ils sont mamelonnés, de grande taille (métrique) et comportent de nombreuses traces fossiles, en particulier *Thalassinotides*. Des argilites silteuses calcaires largement dominantes forment la roche associée. Les pourcentages de silts, CaCO₃, de même que le rapport SiO₂/Al₂O₃ augmentent légèrement. Pour le carbone organique et P₂O₅ la corrélation positive est moins nette.

- Comme au niveau JEAN Ig, cette unité se termine par des nodules repris par une forte bioturbation (perforations de lithophages sur toutes les faces) et associés à des concentrations de valves de Lamellibranches, grands bioclastes, rostrs de Bélemnites cassés (JEAN 4e). Beaucoup de ces nodules présentent des Serpules et des Lamellibranches fixés. D'assez nombreux débris phytogènes apparaissent juste au-dessus.

Vers le sommet des "Argiles à Amalthées" auct. (JEAN 4f à JEAN 5a₃), on retrouve la même succession binaire (ici d'échelle décimétrique) que dans le reste de cette formation, mais les lithofaciès y sont plus chargés en silts, se rapprochant ainsi sensiblement des siltoargilites calcaires et siltites argileuses calcaires des "Grès médioliasiques" auct.

Les pourcentages de sablons et CaCO₃, ainsi que le rapport SiO₂/Al₂O₃ augmentent jusqu'au niveau repère JEAN 5d (situé déjà dans la zone à *P. spinatum*) constitué par une très importante accumulation de valves, rostrs de Bélemnites, Ammonites et bioclastes de grande taille. Ceci tend à assimiler cet "horizon" JEAN 5d aux niveaux JEAN Ig et JEAN Ic déjà mentionnés.

Par endroits, généralement disposés selon des surfaces privilégiées, apparaissent des nodules fossilifères phosphatés ; dans ce cas (JEAN 5a₂, JEAN 5 b), il s'y adjoint, selon la même surface, un plus grand nombre de valves et fragments de coquilles.

(1) Les Eh très bas avec production de H₂S par décomposition bactérienne n'ont sans doute pas été atteints, sauf dans certains microsites particuliers, car la pyrite, bien que présente, n'est pas très abondante.

(2) Communication de Madame C. RUGET.

2 - Mégarythmes sédimentaires

D'après les observations précédentes sur les nodules et le lithofaciès dominant qui leur est associé, il est possible de reconnaître à l'échelle des "Argiles à Amalthées" auct., zone de passage aux "Grès médioliasiques" auct. exceptée, l'existence de deux mégarythmes sédimentaires (I) constitués chacun par trois termes. Ces derniers sont lithologiquement à peu près identiques, mais leur développement est très dissemblable.

Dans chacune des mégaséquences, la répartition des types de nodules peut être corrélée avec la distribution du détritique extra-bassin et celle des allochèmes.

- Terme A : unité pratiquement sans nodules. Lithofaciès dominant associé : argilite silteuse.

- Terme B : unité à nodules ovoïdes d'ordre centimétrique. Le ciment carbonaté des nodules est calcitique et le lithofaciès dominant associé est constitué par des argilites silteuses calcaires dans le premier mégarythme. Sa puissance y est voisine de 2,50 m (JEAN 1c à JEAN 1e). Le ciment devient sidéritique et la roche associée est une argilite silteuse dans le deuxième mégarythme. Cette particularité tient vraisemblablement aux effets d'une diagénèse particulière en milieu suffisamment réducteur à l'origine. Le détritique terrigène, pour sa part, reste inchangé. Ici, le terme B atteint une épaisseur de 14 m (JEAN 2c à JEAN 4a).

- Terme C : unité à nodules mamelonnés de taille décimétrique ou métrique avec traces fossiles de type *Thalassinoides*. Sa puissance est de 1,50 m dans le premier mégarythme (JEAN 1f à JEAN 1e) et de 2,50 m dans le deuxième (JEAN 4b à 4e).

Lithofaciès largement dominant associé : argilite silteuse calcaire. Le nombre de coquilles entières ou en fragments est plus élevé que dans le terme B.

Granulométriquement, les mégarythmes sont à dérive négative (passage des argilites silteuses aux argilites silteuses calcaires de A vers C).

Chacun des mégarythmes est couronné par un horizon particulier où l'abondante bioturbation, ainsi que la présence d'organismes encroûtants sur les nodules, témoignent de périodes de non dépôt, voire d'érosion et de reprise des sédiments, puisque les traces d'activité organique affectent toutes les faces. Les concentrations de bioclastes allant jusqu'aux biocalcirudites confirment cette hypothèse. Ces horizons correspondent donc aux diastèmes mégaséquentiels.

Le tableau 8 présente la mégaséquence type des "Argiles à Amalthées" auct. et donne, outre la répartition des différents types de nodules, les principaux caractères analytiques des roches de cette formation dans la région de Nancy.

Le passage aux "Grès médioliasiques" auct. se rapporte à un

(I) Le calcaire marneux à *Lytoceras fimbriatum* (non repéré sur les sondages) signalé à la base des "Argiles à Amalthées" auct. par la 3ème édition de la feuille Nancy à I/80 000e, pourrait correspondre soit à une oscillation d'ordre inférieur à celui des mégarythmes définis pour cette unité lithostratigraphique, soit à un troisième mégarythme, mais de puissance très limitée.

1 à 3 m Unités lithologiques	Termes	CaCO ₃ % (argilites)	(Silts) Sablons %	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ ——— K ₂ O/SiO ₂ x 100 ---			Remarques
				3 6	4 5	5 4 ---	
	C	5 10 15	# (50) # 20	—	—	—	Erosion et remaniements possibles Perforations de lithophages sur les nodules Accumulations de valves et fragments de coquilles
			# (45) # 10	—	—	—	<u>Thalassinoides</u> et <u>Planolites</u>
			# (45) 5 à 10	—	—	—	Eh du sédiment assez bas (nodules sidéritiques)
			# (40) ≤ 5	—	—	—	
	A	5 10 15	# (50) # 10	—	—	—	Erosion et remaniements possibles Nodules repris par une bioturbation de type <u>Chondrites</u> Accumulations de valves et fragments de coquilles
			# (45) 5 à 10	—	—	—	<u>Thalassinoides</u> ? et <u>Planolites</u>
				—	—	—	Les nodules ne sont pas à l'échelle
				—	—	—	

----- Terriers pyriteux très fins + contournés et bifurqués -----

Tabl. 8 - Mégaséquence lithologique type des "Argiles à Amalthées" auct. - (Figuration de la colonne "Unités lithologiques" commune avec celle de la coupe de Jeandelaincourt, les nodules sidéritiques sont figurés avec un losange interne).

troisième mégarythme, lequel se termine au niveau JEAN 5d, il se distingue des deux précédents par des lithofaciès plus riches en silts. Il est aussi beaucoup moins épais (6 m environ) et annonce la sédimentation plus différenciée de la zone à *P. spinatum*.

Les surfaces où se localisent préférentiellement les nodules très fossilifères phosphatés associés à une plus grande abondance de valves et bioclastes correspondent à des diastèmes d'ordre inférieur à celui des diastèmes mégaséquentiels (JEAN 5a₂, JEAN 5b).

C - "Grès médioliasiques" *auct.*

(Carrière de Jeandelaincourt, sondages LUDR I et LUDR 3)
(Pl. 3-1, 3-2 ; 4-1, 4-2, 4-3 ; 5)

1 - Lithofaciès : répartition et caractères analytiques

Si l'on excepte la partie tout à fait supérieure du sondage LUDR I qui se rapporte peut-être au Toarcien, l'examen microscopique, joint aux analyses de laboratoire, a permis de reconnaître sept lithofaciès dans les "*Grès médioliasiques*" *auct.* :

- 1 siltite argilo-arénitique coquillère
- 2 siltite argilo-arénitique calcaire
- 3 (a) calcaire silto-argileux
- 3 (b) marne silteuse
- 4 siltite marneuse
- 5 siltite argileuse calcaire
- 6 silto-argilite calcaire

La figure 21 a montré les relations qui existent, dans le sondage LUDR 1, entre la teneur en CaCO₃ et la granulométrie de ces lithofaciès.

La position intermédiaire qu'occupent les termes les plus carbonatés entre les granulométries les plus fines et les plus grossières est assez nette. Il semble donc en général possible, pour les lithofaciès les plus riches en CaCO₃ (mis à part quelques exceptions inhérentes au développement de nodules ou bancs nodulaires), de déduire avec une approximation raisonnable le spectre granulométrique du détritique terrigène à partir de la teneur en CaCO₃ de la roche.

Ce diagramme montre également la subdivision en deux sous-ensembles de l'aire où se localisent les lithofaciès à teneur en CaCO₃ la plus élevée.

Le premier sous-ensemble (carrés noirs) se rapporte aux siltites marneuses ; le deuxième (carrés blancs) regroupe marnes silteuses et calcaires argilo-silteux qui semblent ainsi granulométriquement équivalents par leur détritique extra-bassin.

Il apparaît ainsi justifié, dans l'établissement d'une hiérarchie granulométrique des lithofaciès, de faire abstraction de leur pourcentage en CaCO₃.

Par ailleurs, malgré l'assez grande homogénéité d'ensemble de l'aspect des "*Grès médioliasiques*" *auct.* tout particulièrement en sondage,

on peut, grâce aux observations microscopiques et aux analyses de laboratoire, mettre en évidence dans le sondage LUDR I (Pl. 4-1 et 4-2) des successions continues de lithofaciès ; ces suites sont limitées à la base et au sommet par des termes pour lesquels la granulométrie du terrigène est très différente (dans le cadre de la sédimentation des "Grès médioliasiques" auct.).

Entre les cotes 17,50 m et 14,00 m, ce sondage présente une alternance de lits de siltite marneuse ou siltite argileuse très calcaire (4) et de siltite argileuse calcaire à *Planolites* (*) (5) : le passage siltite argileuse calcaire - siltite marneuse est rapide tandis que la transition inverse est plus progressive. Pour autant, bien que le pourcentage en sablons et le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ soient plus élevés dans le terme 4 que dans le terme 5, la différence, tout en étant sensible, n'est pas très accusée et aucune discontinuité lithologique n'est repérable à la base des siltites marneuses.

Entre 14,00 m et 13,00 m, la succession des lithofaciès montre, de même, l'apparition d'une marne silteuse (3b) au-dessus d'une siltite argileuse calcaire (5). Le retour au terme 5 se fait graduellement par l'intermédiaire d'une siltite marneuse (4). Comme précédemment, la charge en sablons et le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ croissent dans le lithofaciès (3b) puis décroissent, mais il n'y a pas de diastème réellement identifiable à la base du lit carbonaté (3b).

De 11,25 m à 10,90 m, on note au dessus d'un mince niveau de siltite argileuse calcaire (5), un épisode constitué par une siltite argilo-arénitique calcaire (2) ; il débute par une passée coquillière (1), marquant une limite assez nette avec le faciès sous-jacent mais sans indice visible de remaniement ou d'érosion. Il semble se poursuivre, d'après l'allure de la courbe calcimétrique (la lacune d'observation empêche de le préciser), par une passée beaucoup plus carbonatée.

De manière similaire, entre 8,00 m et 7,10 m, les mêmes termes se suivent dans un ordre identique : siltite argilo-arénitique coquillière (1), siltite argilo-arénitique calcaire (2), calcaire silto-argileux (3), ce dernier montrant à sa base quelques recurrences du terme lithologique (1). La granulométrie et le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, malgré un nombre d'analyses limitées paraissent régulièrement décroissants (**). C'est dans le terme 2 de cette

(*) L'ichnogenre *Planolites* apparaîtrait de préférence lors des phases les moins agitées des milieux soumis à un niveau d'énergie moyen à relativement élevé (FURSICH, 1975).

(**) Il convient de noter à cet égard les résultats a priori aberrants que donne l'analyse du calcaire silto-argileux à la cote 9,43 m. Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y est nettement inférieur aux valeurs auxquelles on pourrait s'attendre dans le contexte sédimentaire du sommet des "Grès médioliasiques" auct. Il s'agit d'une analyse présentant un écart à la fermeture relativement important, mais peut-être est-ce également un cas d'exception lié aux phénomènes diagénétiques affectant les calcaires, le "front de carbonatation" pouvant se surimposer à des faciès de granulométries différentes.

partie du sondage que l'on peut observer des terriers verticaux se rapportant au "Cruziana faciès" de SEILACHER. Ils indiqueraient d'après FREY (1975), un milieu de sédimentation soumis à un régime hydrodynamique plus ou moins agité.

Les bioclastes d'après les données microscopiques suivent une évolution, en taille et en pourcentage, sensiblement similaire à celle du spectre granulométrique de la roche décarbonatée. Plus particulièrement, les concentrations de valves et fragments de coquilles paraissent se localiser préférentiellement avec les niveaux de siltites argilo-arénitiques calcaires les plus riches en arénites.

2 - Séquence type

De par la faible différenciation granulométrique des éléments, en particulier des quartz, le classement des termes pétrographiques reconnus en une séquence virtuelle locale est délicat.

Néanmoins, la reconnaissance de successions lithologiques telles que celles qui viennent d'être décrites dans le sondage LUDR I, associée aux analyses granulométriques, chimiques (rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) et à l'examen microscopique permet de les juxtaposer selon l'ordre indiqué ci-dessous, lequel est également repris dans le tableau 9 qui donne, en regard de chacun d'eux, les caractères analytiques principaux.

De haut en bas, dans l'ordre croissant des teneurs en bioclastes, des pourcentages en arénites et silts calculés sur le détritique terrigène seul et du rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, ce sont successivement les termes :

- 6 silto-argilite calcaire
- 5 siltite argileuse calcaire
- 4 siltite marneuse (ou siltite argileuse très calcaire)
- 3 marne silteuse (ou calcaire argilo-silteux)
- 2 siltite argilo-arénitique calcaire
- 1 siltite argilo-arénitique coquillière

3 - Analyse séquentielle

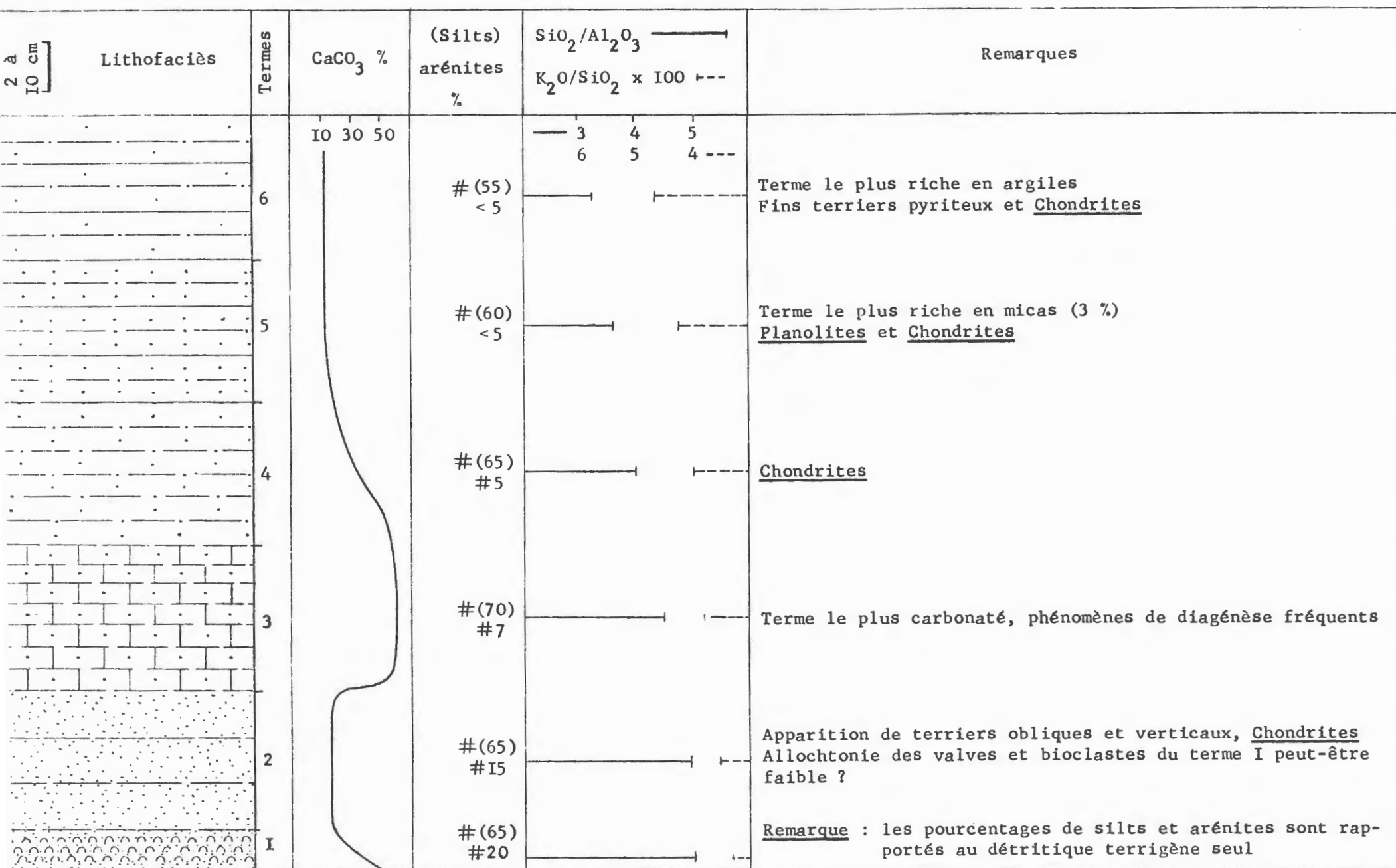
(Pl. 4-3)

Seul le sondage LUDR I a fait l'objet d'une analyse séquentielle. Le sondage LUDR 3, peu différent, mais qui n'a pas donné lieu à une étude aussi détaillée, devrait permettre d'aboutir sensiblement aux mêmes conclusions.

Hormis les derniers mètres (19,70 m à 18,00 m) où se manifestent des silto-argilites calcaires, toute la partie inférieure du sondage LUDR I jusqu'à la cote 13,50 m est constituée par une alternance siltite marneuse (ou argileuse très calcaire) (4) - siltite argileuse calcaire (5).

Entre 13,50 m et 12,20 m, une succession marne silteuse (3), faciès (4), siltite argileuse calcaire (5) termine cette suite itérative.

Les dérives successives de la granulométrie et du rapport silts/argiles (traduit par le quotient $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) sont nettes et paraissent



Tabl. 9 - Séquence lithologique type des "Grès médioliasiques" auct. - (Figuration de la colonne lithofaciès commune avec celle des planches 4 et 5, sauf pour les termes 2 & 6).

plus rapides à la base du terme le plus carbonaté que vers le sommet de celui-ci ; elles restent cependant dans les limites étroites. De plus, aucun diastème n'est repérable macroscopiquement ou microscopiquement. C'est la raison pour laquelle cette **succession** récurrente plus ou moins régulière, bâtie sur deux ou trois termes du sommet de la séquence type, nous paraît devoir être considérée ici comme une suite d'oscillations plus marquées que des cycles mais pour lesquelles on ne peut pas encore, en l'absence de diastème, parler de rythme. La dérive séquentielle de cet ensemble est très faible.

Pour le reste du sondage, jusqu'à la cote 6,00 m, quelques diastèmes, en particulier lorsqu'ils sont soulignés par des accumulations d'allochèmes, sont repérables. Il a en effet été noté précédemment que l'apparition de valves et grands bioclastes allait de paire avec une augmentation de la part des particules les plus grossières dans la granulométrie.

Ces diastèmes délimitent 9 ou 10 séquences positives (les lacunes d'observation empêchent d'en préciser le nombre), d'épaisseur très inégales ⁽¹⁾.

Vers 12,20 m, deux séquences incomplètes (il manque les termes 3 et 4), très minces, suivies par une troisième, également incomplète, mais où seul le lithofaciès 3 manque, débutent cette unité où les discontinuités sédimentaires sont un peu mieux exprimées.

Au fur et à mesure que l'on monte dans la formation, les séquences réelles se déplacent vers les termes de base de la série virtuelle locale et, parallèlement, par disparition des lithofaciès les plus fins, deviennent tronquées.

La dérive séquentielle de cet ensemble est négative (il est néanmoins possible que le caractère négatif s'atténue entre 7,35 m et 6,00 m).

Les "*Grès médioliasiques*" auct. sont donc constitués par deux ensembles d'ordre supérieur.

Le premier est caractérisé par une succession à tendance rythmique de dépôts présentant un certain mimétisme granulométrique (mais les rythmes ne sont pas affirmés) ; la dérive est très faible.

Le deuxième est à sédimentation plus différenciée ; les séquences évoluent dans le sens d'une augmentation de la part du détritique le plus grossier avec décroissance de celles-ci vers les termes de base de la série virtuelle locale et disparition des lithofaciès les plus fins.

La dérive séquentielle générale des "*Grès médioliasiques*" auct. dans son ensemble est donc négative.

(1) Il est possible qu'un certain nombre d'oscillations mineures, non repérées à cause du "mimétisme" que présentent entre eux les lithofaciès, affectent quelques unes de ces séquences.

Les lithofaciès des sommets des sondages LUDR 1 et LUDR 3, au-dessus de la cote sondeur 6,00 m (bas du Toarcien ?), sont le reflet d'une forte diminution des apports détritiques extra-bassin. Ils s'organisent peut-être suivant une séquence type un peu similaire à celle du Carixien, mais les éléments d'information sont trop incomplets pour en déduire une quelconque conclusion.

4 - "Séquence structurale"

(Pl. 4-1 et 4-3)

4.1 - *Types de structures sédimentaires et modes d'association*

Pour la partie inférieure du sondage LUDR I, entre 17,50 m et 14,50 m, la planche 4-1 fait état de la position préférentielle de microlaminations dans les siltites marneuses ou siltites argileuses très calcaires alors que l'on ne discerne que de la bioturbation dans les lits de siltite argileuse calcaire.

Par ailleurs, il est possible de repérer dans d'autres parties du sondage des successions de types de structures sédimentaires suivant grossièrement les variations de la granulométrie du détritique terrigène. Etant donné l'intérêt que peuvent alors présenter de telles figures sédimentaires pour une première approche pétrographique des formations relativement monotones, il nous a paru intéressant, malgré l'abondance de la bioturbation qui oblitère l'arrangement initial, d'étudier leur répartition et de voir ainsi quel degré de corrélation on peut établir entre leur présence et la granulométrie du sédiment associé.

Deux exemples plus ou moins ponctuels permettront, en premier lieu, d'illustrer la filiation qui semble exister entre les diverses structures sédimentaires rencontrées.

. Sondage LUDR I, cotes 12,15 m à 12,00 m (fig. 24)

A la base figurent deux lits granoclassés d'épaisseur centimétrique, constitués chacun par une siltite argilo-arénitique calcaire, pauvres en argiles et micas, et surmontés par une siltite argileuse plus riche en micas.

Le lit inférieur de siltite argileuse très micacée est également d'ordre centimétrique, tandis que le deuxième est un peu plus épais (4 cm environ) ; ce dernier est rapidement très bioturbé et il est surmonté par une siltite argilo-arénitique à microrides (elles-mêmes plus ou moins oblitérées par la bioturbation) qui passent, vers 12,05 m, à des microlaminations. Les figures de granoclassement comparées à celles décrites dans les sédiments récents, évoquent une genèse et une mise en place par décharge de suspensions consécutives à une forte turbulence du milieu ("storm sand layers" ? de REINECK et SINGH, 1971).

. Sondage LUDR I, cotes 11,90 m à 11,68 m (fig. 25)

De la base vers le sommet de la figure, on note successivement : un niveau à microrides affectant une siltite argilo-arénitique calcaire, un

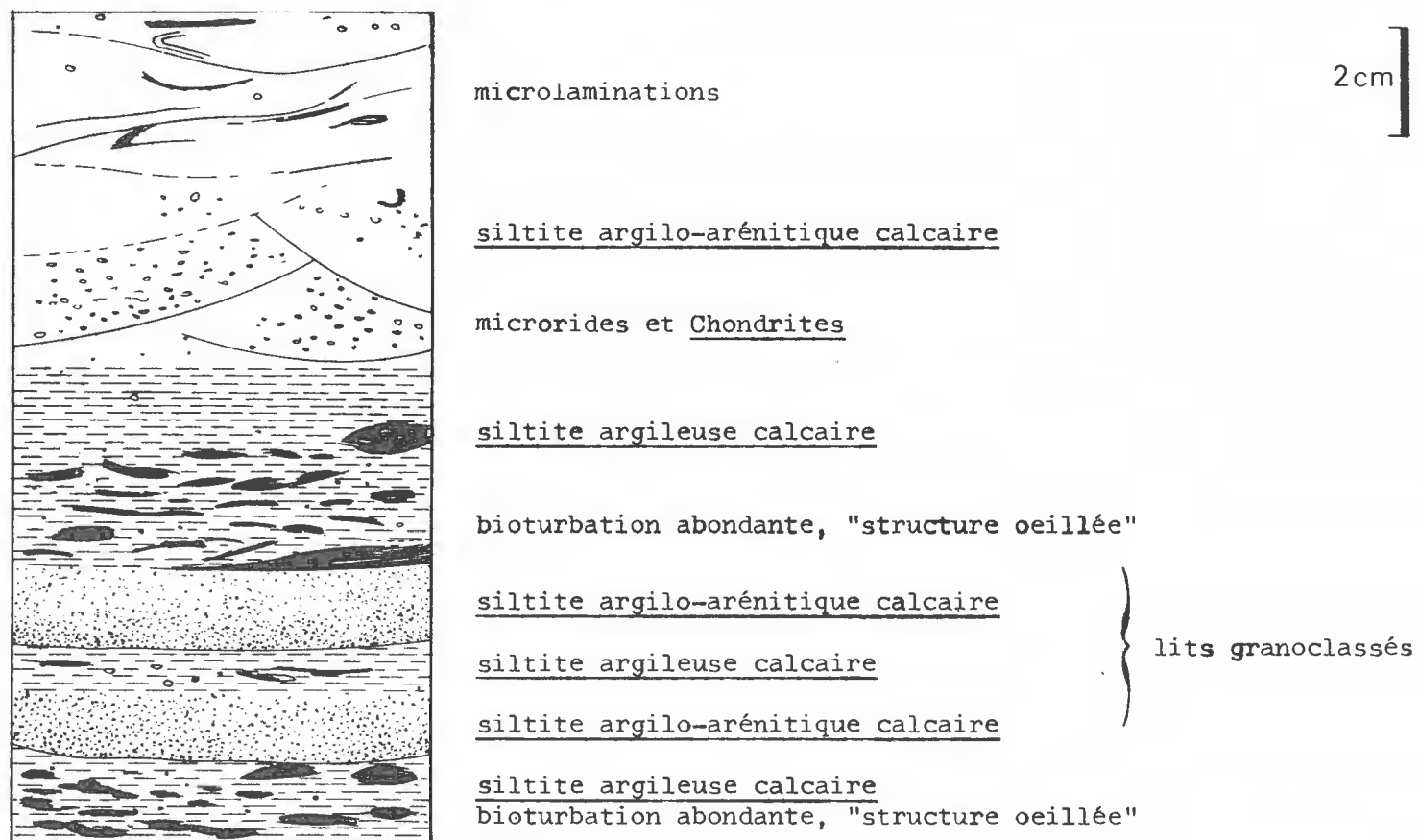
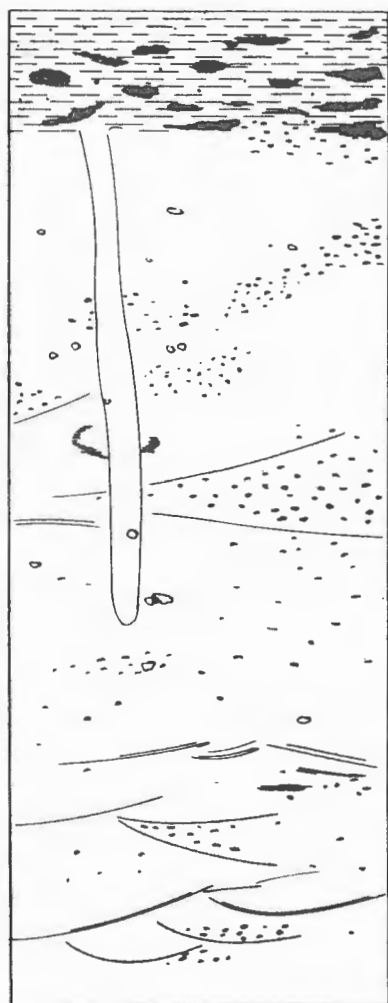


Fig. 24 - Lithologie et structures sédimentaires des "Grès médioliasiques" auct.-

Sondage LUDR 1, 12,15 m - 12,00 m.



siltite argileuse très calcaire
bioturbation abondante, "structure oeillée"

2cm

terrier vertical et Chondrites

microlaminations et Chondrites

siltite argilo-arénitique calcaire

microlaminations

microrides

Fig. 25 - Lithologie et structures sédimentaires des "Grès médioliasiques" auct. -
Sondage LUDR I, II,90 m - II,68 m.

lit décimétrique peu bioturbé de même lithofaciès avec quelques microlaminations et un terrier vertical, une passée de 5 à 6 cm de siltite argileuse très calcaire assez fortement bioturbée.

Les microrides suivies de microlaminations se retrouvent également à deux reprises dans des siltites argilo-arénitiques calcaires (8,25 m à 8,10 m et 6,45 m à 6,30 m).

Les figures sédimentaires reconnues semblent donc pouvoir se classer les unes par rapport aux autres d'une manière qui n'est pas quelconque. Si l'on considère également les accumulations de valves et bioclastes comme des marqueurs de structures sédimentaires de plus grande dimension (ainsi que cela est visible à Jeandelaincourt), l'ordre de la "séquence structurale" s'établit comme suit (de haut en bas) :

- d bioturbation seule, abondante à moyennement abondante,
- c microlaminations (avec ou sans bioturbation) ⁽¹⁾,
- b microrides (avec ou sans bioturbation),
- a pavage ou accumulations de valves et de bioclastes soulignant la base d'une figure sédimentaire.

Il s'y ajoute un cinquième terme dont la position, valable uniquement dans le cas présent, est déduite des analyses (il correspond aux faciès les plus pauvres en sablons et bioclastes) :

- e bioturbation seule peu abondante.

4.2 - Répartition des structures sédimentaires, relation avec les lithofaciès

Cette répartition est donnée par la planche 4-3, dans la colonne "séquence structurale".

De la base du sondage jusqu'à la cote 12,15 m, on note une récurrence régulière des structures d et e (19,70 m à 18,00 m) puis c et d. Les figures sédimentaires de type e correspondent presque exclusivement aux silto-argilites calcaires, celles de type d aux siltites argileuses calcaires tandis que les microlaminations (c) se localisent dans les siltites marneuses ou siltites argileuses très calcaires.

Au-dessus de 12,15 m à 6,00 m, bien que l'on retrouve, avec les structures sédimentaires, la plupart des grandes coupures lithologiques, la liaison avec les lithofaciès est moins nette ; les microlaminations, en particulier, sont visibles aussi bien dans les siltites marneuses (4) que dans les siltites argilo-arénitiques calcaires (2). Il en est de même, dans quelques cas, du type d : bioturbation seule, abondante à moyennement abondante.

(1) BOGARDI (1965) ; GUY *et al.* (1966) cités par REINECK et SINGH (1975, p. 106) signalent également que, pour les courants moyens à faibles, les fines laminations se produisent en-dessous de la vitesse critique d'apparition des rides.

En revanche, les microrides se limitent aux siltites argilo-arénitiques calcaires (4).

Les figures sédimentaires et lithofaciès, bien que montrant une certaine correspondance, ne sont donc pas en corrélation stricte entre eux.

Nous rejoignons ainsi les constatations effectuées par DEMASSIEUX (1969, p. 85) à propos du Portlandien de l'Est du Bassin de Paris : des types de séquences différents se rapportent à des enregistrements sédimentaires liés à des processus dissemblables ou même d'échelles différentes.

La séquence lithologique traduit plutôt des variations d'ordre régional, ou local large, tandis que la seconde est plutôt afférente, dans un certain nombre de cas au moins, aux influences purement locales. Les lithotopes sédimentaires résultent de la conjonction de ces deux environnements géologiques "... sans exclure, a priori, qu'ils soient totalement indépendants ou totalement dépendants" (*ibid.*).

D - Conclusion

Les termes lithologiques du Carixien d'une part et du Domérien, "*Argiles à Amalthées*" *auct.* et "*Grès médioliasiques*" *auct.* d'autre part, permettent d'établir deux séries virtuelles locales. L'une se rapporte à des roches carbonatées, l'autre, dont les termes de base sont plus ou moins équivalents au point de vue de la granulométrie des éléments, aux roches silicoclastiques (tabl. 10).

CARIXIEN	DOMERIEN
IV marne à bioclastes	8 argilite silteuse
	7 argilite silteuse calcaire
	6 silto-argilite calcaire
III biomicrospathite argileuse Wa	5 siltite argileuse calcaire
	4 siltite marneuse (ou siltite argileuse très calcaire)
II biomicrospathite W	3 marne silteuse (ou calcaire silto-argileux)
	2 siltite argilo-arénitique calcaire
I biomicrospathite P	I siltite argilo-arénitique coquillière

Tabl. 10 - Séquences lithologiques types du Carixien et du Domérien de la région de Nancy.

Il apparaît difficile de relier ces deux séquences lithologiques types, elles représentent chacune, en moyenne, des niveaux d'énergie à peu

près identiques, seuls les apports de détritique extra-bassin semblent en cause dans la différenciation lithologique.

Le Carixien présente un ensemble d'oscillations à deux termes à la base, celui-ci est surmonté de séquences à tendance rythmique, d'échelle décimétrique, la plupart du temps tronquées. Elles s'organisent en trois séquences d'ordre supérieur, la première sans dérive, les deux autres positives.

Avec le passage aux "*Argiles à Amalthées*" auct., la séquence lithologique des roches silicoclastiques prend le relai de la séquence lithologique des roches carbonatées.

L'étude séquentielle de cette formation fait ressortir une suite d'oscillations à deux termes. Il s'y surimpose deux rythmes mégaséquentiels (I) à trois termes, qui sont, de haut en bas (passage aux "*Grès médioliasiques*" auct. excepté) :

- C : argilite silteuse à grands et nombreux nodules mamelonnés avec *Thalassinoides* ;
- B : argilite silteuse à petits nodules ovoïdes ;
- A : argilite silteuse sans nodules.

Le sommet des mégarythmes est marqué par des indices de remaniements avec arrêt ou forte diminution de la sédimentation, ce qui donne naissance à une surface qui prend presque valeur de "hard ground". Les argilites silteuses qui y sont associées apparaissent chargées de grandes coquilles et bioclastes, voire de nodules remaniés et elles sont plus riches en silts. Nous y plaçons le diastème mégaséquentiel. La dérive de chaque mégaséquence est négative.

A l'échelle de la formation des "*Argiles à Amalthées*" auct. également, la dérive générale est négative, préfigurant ainsi l'évolution d'ensemble du Domérien vers des sédiments de plus en plus riches en silts.

Ces mégarythmes sont interprétables avec précaution en niveau d'énergie. Ce dernier, tout en restant toujours très modéré, paraît plus faible en base de la mégaséquence que vers le sommet. Seul le diastème mégaséquentiel enregistrant l'exacerbation de la tendance qui se dessine au cours du mégarythme constituerait, à ce sujet, une exception.

Des variations de Eh sont également discernables.

Avec les "*Grès médioliasiques*" auct., les séquences réelles se déplacent vers les termes plus grossiers.

De rabougries à la base (2 termes), les séquences réelles lithologiques deviennent relativement complètes dans la partie médiane (4 termes), puis tronquées vers le sommet (2 termes).

Elles se résolvent en une alternance à tendance rythmique, sans dérive, suivie par une succession de séquences réelles positives dont les termes, en se déplaçant vers la base de la série virtuelle locale,

(I) voir note infrapaginale p. II4

enregistrent par leur "enveloppe" légèrement négative l'évolution générale de la série vers une sédimentation un peu plus grossière et un niveau d'énergie plus élevé en moyenne (bien que le milieu sédimentaire soit très changeant). Seule la partie supérieure au-dessus de la cote 7,35 m est plus homogène.

La zone tout à fait sommitale (Toarcien ?) au-dessus de la cote 6,00 m est lithologiquement très différente. Les lithofaciès que l'on y observe, bien que le détritique terrigène y soit plus grossier, montrent une certaine parenté avec ceux du Carixien.

Les structures sédimentaires suivent approximativement l'évolution des lithofaciès mais, si elles permettent de retrouver les grandes coupures lithologiques, dans le détail, la relation n'est pas stricte. Il s'agit de deux modes d'enregistrement différents de l'événement sédimentaire qui ne présentent pas nécessairement une dépendance complète.

Globalement, à l'échelle de la totalité du Domérien, on enregistre la succession suivante (données pétrographiques, paléontologiques et sédimentologiques réunies).

De haut en bas :

- 5 Siltite argilo-arénitique calcaire et marne silteuse ; stratification plus ou moins discernable avec grandes structures sédimentaires ; faune benthique riche en Brachiopodes, Pélécypodes et nombreux Echinodermes (Jeandelaincourt) ; séquences tronquées dominantes.
- 4 Siltite marneuse, siltite argileuse plus ou moins calcaire, silto-argilite ; stratification plane parallèle plus ou moins discernable ; faune benthique plus riche et à test plus épais qu'en 3 ; séquences sous forme d'oscillations à deux ou trois termes (granulométrie fine) puis, en montant dans la formation, séquences plus ou moins complètes à termes un peu plus grossiers.
- 3 Argilite silteuse plus ou moins calcaire dominante, avec apparition d'une plus grande quantité de carbonates qui s'expriment sous forme de nodules ; pas de stratification visible macroscopiquement ; faune benthique de relativement petite taille ; Pélécypodes fragiles, petits Echinodermes ; séquences sous forme d'oscillations décimétriques à deux termes (granulométrie fine).
- 2 Argilite silteuse dominante, peu de carbonates ; pas de stratification visible macroscopiquement, unité en principe puissante ; faune benthique de relativement petite taille ; Pélécypodes fragiles, petits Echinodermes ; séquences sous forme d'oscillations métriques à deux termes (granulométrie fine).

- 1 Argilite silteuse plus ou moins calcaire avec assez nombreux fossiles benthiques, nectoniques ou même pélagiques. Eventuellement phosphates abondants et matière organique (zone condensée ?) ; séquences rabougries ?

Cette succession à mégadérive négative est caractéristique de l'équivalent silicoclastique de la séquence klüpfélienne (laquelle se termine normalement par des calcaires). Elle traduit une augmentation du niveau d'énergie jusqu'au sommet de la séquence où, par ailleurs, le taux de sédimentation peut s'annuler ; une érosion est même possible.

D'après HALLAM (1964, p. 157) ; Mc DUFF, HALLAM et WALTON (1967, p. 171) ; LOMBARD (1972, p. 267), cette lente évolution est suivie d'un enfoncement rapide, jumelé avec un afflux de sédimentation argileuse correspondant à l'établissement de la séquence klüpfélienne suivante.

Le Carixien d'une part et le "*Calcaire ocreux*" auct. lotharingien à oobiomicrospathite P et biomicrospathite P d'autre part, pourraient également correspondre chacun au sommet d'une séquence klüpfélienne. Celle du Carixien est amputée de ses termes argileux puisque dans la région de Nancy, les "*Marnes intermédiaires*" auct. ou "*Marnes à Waldheimia numismalis*" auct. sont absentes (d'autre part, il manquerait les deux premières zones d'Ammonites).

VI - ESSAI D'INTERPRETATION DE L'ENVIRONNEMENT SEDIMENTAIRE

D'après les données bibliographiques, il est possible d'esquisser les grandes lignes de l'environnement sédimentaire du Lias moyen de Lorraine.

Les données pétrologiques, paléontologiques et sédimentologiques permettent d'affiner localement cet essai de reconstitution.

LES ZONES D'APPORT : EMLACEMENT, MORPHOLOGIE ET CLIMAT

L'origine des matériaux détritiques extra-bassin infraliasiques semble devoir être recherchée dans les massifs ardennais (Paléozoïque et Buntsandstein) et schisteux-rhénan ainsi que dans le Carbonifère de la Sarre (MULLER, PARTING et THOREZ, 1973). Il en est sans doute de même pour le terrigène du Lias moyen puisqu'il y a pratiquement accord entre tous les auteurs sur l'exondation permanente de ces massifs au cours du Lias.

Si THEOBALD et MAUBEUGE (1949) puis MAUBEUGE (1955) admettent également une émergence plus ou moins complète du massif vogéso-schwarzwaldien, au moins vers la fin du Charmouthien, cette hypothèse ne paraît pas retenue par MOUTERDE et TINTANT qui affirment (1968, p. 293) : "il est pourtant bien connu, depuis HAUG (1885, 1886) que, au Lias, les Vosges paraissent presque constamment immergées". Par ailleurs, POMEROL, (1975) mentionne que c'est au Bathonien qu'aurait eu lieu une première et timide émergence du massif Vosges-Forêt Noire.

Sur le continent exportateur, à relief peu accusé, aurait régné un climat relativement chaud et humide. POMEROL (1975) résume ainsi l'opinion qui prévaut actuellement à ce sujet : "dans leur ensemble, les formations liasiques sont à dominante détritique : grès, schistes, marnes micacées. Ce caractère joint à la présence d'oolithes ou de ciment ferrugineux, évoque sur les continents voisins une période d'altération et d'érosion active (période rhexistatique).

Cependant, à l'encontre du Trias, il n'existe ni dépôts conglomératiques, ni évaporites : c'est que l'arrière pays est sans doute très plat et que le bras de mer parisien n'a jamais été complètement isolé malgré quelques tendances à l'émergence, soulignées par des surfaces taraudées ou des bancs ligniteux".

Il convient également de mentionner qu'une chaleur et une humidité suffisantes sont nécessaires pour provoquer l'argilogénèse et plus encore pour libérer le fer ("*Calcaire ocreux*" auct., "*Grès médioliasiques*" auct.). Enfin, sur un continent à relief assez mou (comme cela est évoqué ci-dessus), il faut faire appel à un climat relativement pluvieux pour permettre aux cours d'eaux d'avoir la capacité nécessaire au transport des matériaux détritiques jusqu'au rivage.

Ces faits sont corroborés, du moins si l'on se réfère au "principe des causes actuelles", par la présence de Nautilés dans les "*Grès médioliasiques*" auct. (GERARD et TETRY, 1938) et d'oolithes dans

le "*Calcaire ocreux*" *auct.* sous-jacent qui indiquent un climat relativement chaud (moins qu'au Dogger toutefois).

Enfin, l'abondance de débris phytogènes serait un bon indice de climat humide.

Le cortège minéral argileux du Pliensbachien conduit également à émettre quelques considérations sur les zones nourricières et le climat. Il permet sur ce point de préciser ou de nuancer les grands traits du cadre paléogéographique présenté ci-dessus.

De l'étude de l'assemblage minéral argileux composé de minéraux antagonistes : kaolinite, chlorite, interstratifiés (10-14 M), on peut déduire que le climat régnant sur les zones exportatrices de matériaux détritiques devait être à saisons plus ou moins alternées. En effet, si la présence de kaolinite, minéral de néoformation continentale inerte en milieu marin (MULLER - PARTING - THOREZ, 1973, p. 694), indique des périodes humides et un milieu continental ouvert et bien drainé favorisant l'hydrolyse, l'illite dominante ou très abondante indique un processus de dégradation modéré.

Pour leur part, les interstratifiés (10-14 M), nés dans les milieux à drainage modéré, attestent certainement d'une forme d'alternance "tantôt plus lessivante et favorisant par là la production de kaolinite ; tantôt plus confinante à production fugace de smectite..." (*ibid.*, p. 695) ⁽¹⁾.

Les variations semi-quantitatives peuvent traduire, à côté des ségrégations et distributions propres au régime hydrodynamique du bassin, les nuances dans les formes et les intensités de l'altération au cours des temps géologiques.

Ainsi, au Carixien, la dégradation et l'hydrolyse seraient plus modérées qu'au cours du dépôt des "*Argiles à Amalthées*" *auct.* et des "*Grès médioliasiques*" *auct.*, puisque, du bas vers le haut de la série plienschbachienne, le rapport kaolinite croît constamment et que l'illite s'ouvre en subissant un début de dégradation. Toutefois, les interstratifiés de type (10-14 M), sont toujours bien représentés à la fin du Domérien.

Cependant, ce type d'interprétation doit être mené avec prudence car, dans le cadre d'une étude ponctuelle comme celle-ci, il

(1) Une partie des interstratifiés (10-14 M) peut provenir de la transformation incomplète de la montmorillonite en illite, sous l'influence des eaux marines (HAGUENAUER, 1969). Mais étant donné le caractère ubiquiste et, sans doute, la relative abondance de ces édifices dans toute la série plienschbachienne (d'après LUCAS et PAQUET *in* SAUPE, 1967, on en trouve une quantité notable dans le Carixien et la base du Domérien), il est probable que la majorité de ces interstratifiés est d'origine primaire. Pour autant, la présence de montmorillonite à l'origine ne changerait pas l'interprétation du régime climatique régnant à cette époque (MULLER, PARTING et THOREZ, 1973, p. 695).

est délicat de faire la part des gradients de distribution proprement mécaniques et celle qui tient au seul héritage. En outre, les variations quantitatives peuvent être inhérentes aux variations lithologiques globales des bassins versants au cours de l'érosion ou à des changements dans la provenance du terrigène. Ces processus peuvent, en dehors de toute considération sur les altérations continentales, modifier la composition quantitative voire qualitative du cortège minéral argileux.

Dans le cas du Lias de l'Est du Bassin de Paris, il semble néanmoins, que l'on soit en présence d'une certaine permanence des apports dans le temps et dans l'espace, car l'assemblage des minéraux argileux du Pliensbachien de la région de Nancy est peu différent de celui de l'Hettangien inférieur de la bordure Nord-Est du Bassin de Paris (MULLER, BINTZ et THOREZ, 1973).

LE BASSIN DE SEDIMENTATION

RAT (1969) résume ainsi l'image que l'on se fait du Bassin parisien au Jurassique :

"A l'ère secondaire, quand l'inflexion du socle était encore moins accusée (que maintenant) et que les bords de la future cuvette n'étaient pas encore tous relevés, la courbure était donc à peine marquée. La flaque marine qui s'y étalait n'était qu'une très mince pellicule d'eau : une pellicule aux contours changeants.

Aux contours d'autant plus facilement changeants que, dans une mer sans profondeur, le moindre gauchissement d'une portion du tréfond hercynien décalait le rivage de dizaines, voire de centaines de kilomètres".

D'autre part, les cartes d'isopaques issues des travaux des géologues pétroliers, en particulier celle du Lias dans son ensemble (LEFAVRAIS-RAYMOND et HORON, 1961 ; SERRA, 1971), ainsi que celles du Pliensbachien (FOURMENTRAUX *et al.*, 1959) (fig. 26), du Carixien et Domérien (LEFAVRAIS-RAYMOND et HORON, 1961) (fig. 27 et 28), permettent de tracer les grands traits de la morphologie des fonds de la mer liasique. Ainsi, d'après ces auteurs, le site correspondant à la Lorraine, se présente alors comme une vaste plate-forme descendant assez progressivement vers le pédoncul sud de la fosse de Champagne en s'appuyant à la fois sur le seuil de Sainte-Ménéhould et l'actuel emplacement des Vosges. Le Bassin de Thionville sépare cette partie du Bassin parisien du massif rhéno-ardennais, et capte une portion importante des sédiments en provenant ; c'est ce qui explique, d'après POMEROL (*in* DEBELMAS, 1974), la fréquence des faciès détritiques relativement plus grossiers dans cette zone. Il faut cependant noter que, au Carixien, le Bassin de Thionville n'est pas individualisé. Au reste, d'après la carte d'isopaques de LEFAVRAIS-RAYMOND et HORON (1961) (fig. 27), on n'y remarque aucun épaissement particulier des assises de ce sous-étage.

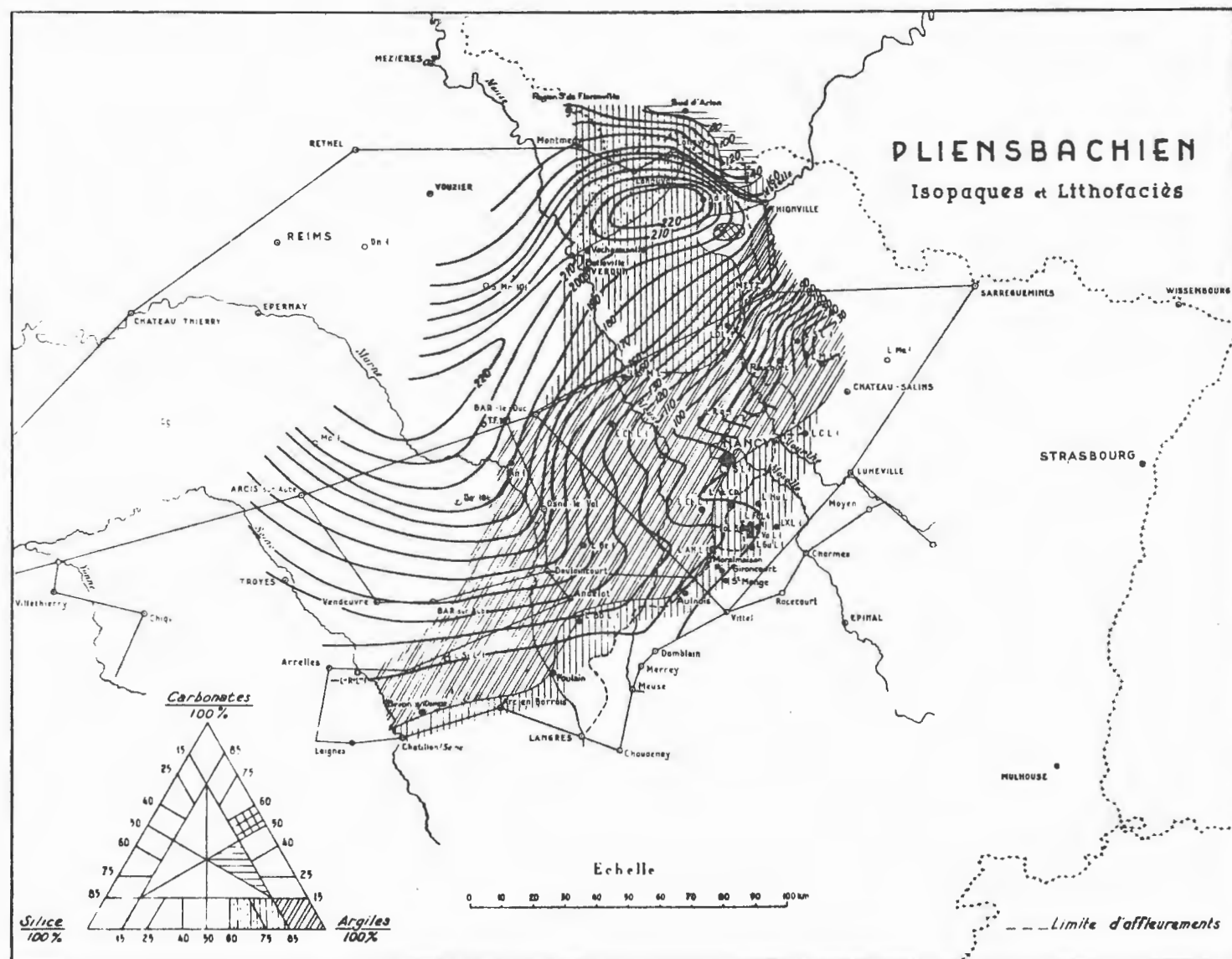
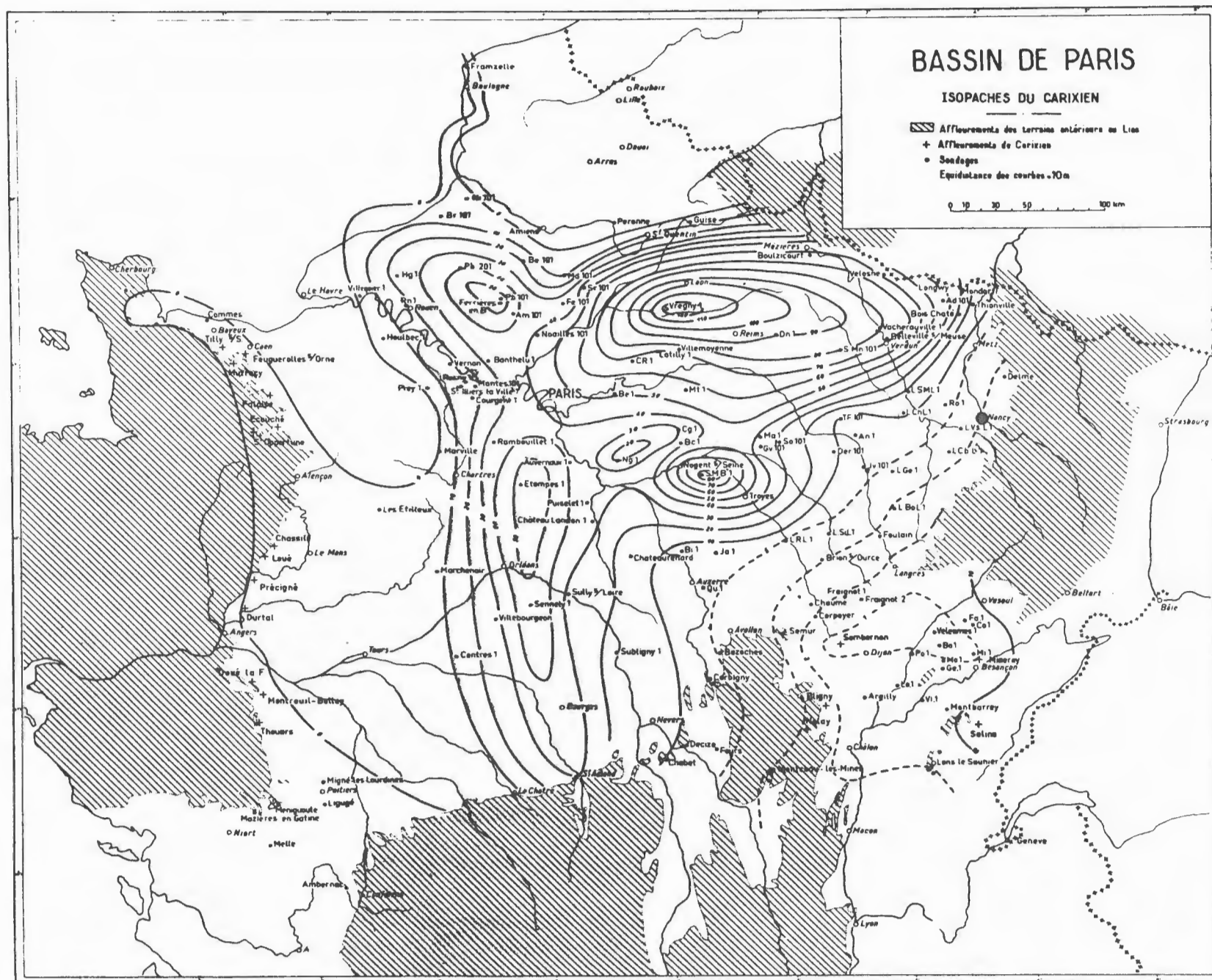


Fig. 26 - Isopaques et lithofaciès du Pliensbachien (d'après J. FOURMENTRAUX et al., 1959).

Fig. 27 - Isopaches du Carixien (d'après A. LEFAVRAIS-RAYMOND et O. HORON, 1961).



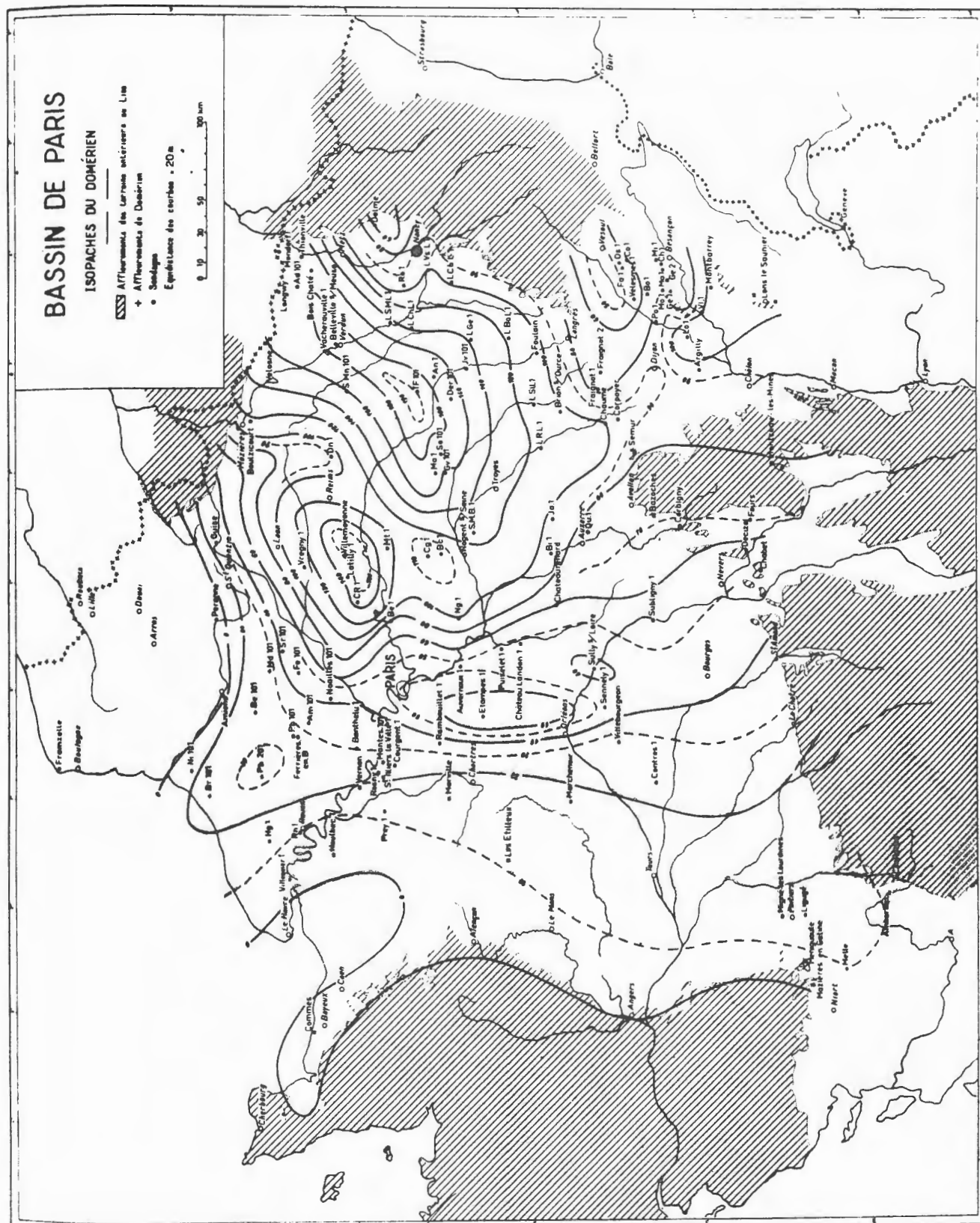


Fig. 28 - Isopaches du Domérien (d'après A. LEFAVRAIS-RAYMOND et O. HORON, 1961).

Le bassin de Champagne, au contraire, est marqué par une augmentation considérable de la puissance du Carixien : jusqu'à une centaine de mètres de marnes et argilites (en Lorraine, l'épaisseur est de quelques mètres et le faciès est calcaire) et serait, d'après LEFAVRAIS-RAYMOND et HORON (1961, p. 35), le jeu d'un important mouvement de subsidence.

Le Domérien (fig. 28) montre un déplacement des zones de subsidence. La plus proche de la Lorraine se situe dans la région de Revigny, elle a une disposition allongée SW-NE et se prolonge jusque vers Thionville-Longwy. En même temps, les faciès sont, à travers tout le Bassin de Paris, beaucoup plus constants qu'au Domérien ; ce sont ceux des "*Argiles à Amalthées*" auct. et des "*Grès médioliasiques*" auct. de Lorraine. Les variations d'épaisseurs reconnues seraient surtout le fait des "*Argiles à Amalthées*" auct. car celles de la zone à *P. spinatum* sont beaucoup moins importantes (*ibid.*).

LE MILIEU DE SEDIMENTATION

A - Carixien

En fonction de l'abondance du ciment carbonaté et des fragments d'organismes benthiques, compte tenu également des rythmes sédimentaires enregistrés et de l'importance de la bioturbation, il est possible de reconstituer les grandes lignes de l'environnement marin du Carixien de la région de Nancy.

La mer devait être relativement peu profonde - la présence de fragments d'Algues calcaires (se rapportant aux Solénopores ?), et d'un benthos très développé, est en accord avec cette idée⁽¹⁾ - et suffisamment chaude pour permettre la précipitation d'une importante quantité de carbonate micritique.

Le caractère récessif de la sédimentation terrigène (une grande part étant peut-être captée par le Bassin de Champagne qui pourrait fonctionner comme une "zone d'appel")⁽²⁾ implique par ailleurs une grande limpidité des eaux.

Ces conditions de milieu vraisemblablement associées à un faible taux de sédimentation ont été favorables à la prolifération d'une faune épibenthique (Crinoïdes, Echinides, Lamellibranches ...) et endobenthique. Cette dernière est responsable de l'aspect confus de l'enregistrement sédimentaire.

Néanmoins, quelques lits, témoins de la disposition originelle des sédiments, permettent de retrouver la manifestation de rythmes sédimentaires et d'établir une séquence type carixienne.

Interprétée en niveau d'énergie d'après la taille des bioclastes, la texture et le pourcentage d'argiles, cette série virtuelle locale à 4 termes peut s'interpréter comme suit :

(1) Communication personnelle de Monsieur Yves CHAMPETIER.

(2) Néanmoins le Carixien redevient marneux, en Lorraine méridionale, dans le Xaintois (MAUBEUGE, 1955).

- à la base, niveau d'énergie le plus élevé, d'où un tri et une ségrégation du sédiment en fonction de ses constituants ;

- suit une décroissance du degré d'agitation. De la micrite se dépose en plus grande quantité, puis les argiles sédimentent lorsque le régime hydrodynamique descend en-dessous d'un certain seuil ;

- le terme ultime de cette sédimentation semble constitué par les marnes qui représenteraient le niveau d'énergie le plus faible. La bioturbation y est extrêmement abondante et le nombre de rostrés de *Bélemnites* augmente sensiblement (diminution parallèle du taux de sédimentation ?).

La position en sommet de séquence des marnes à bioclastes permet d'expliquer la coexistence d'éléments biogènes de dimensions très différentes. Dans ces niveaux de plus faible énergie, la sélection dimensionnelle est peu efficace et il est possible de trouver associés de petits bioclastes et des fragments de coquilles de tailles diverses, conséquences de l'activité de prédateurs et limnivores, voire des coquilles presque entières quasi-autochtones.

La série virtuelle locale reconnue est proche de celle établie dans le Muschelkalk supérieur par HAGUENAUER (1963).

Les nombreux fragments de calcaires organiques semblent avoir suffisamment stabilisé le fond pour que ses propriétés physiques, malgré l'abondance de la boue carbonatée, soient favorables à l'implantation d'une faune sessile ; des "Prairies de Crinoïdes" devaient couvrir d'immenses surfaces du fond marin.

B - "Argiles à Amalthées" *auct.*

1 - La sédimentation

Avec les "*Argiles à Amalthées*" *auct.*, la nature des dépôts change totalement, la sédimentation détritique terrigène fine (argiles, silts) devient très nettement prééminente sur la sédimentation carbonatée.

Peut-être ceci est-il lié à un changement possible au niveau des aires distributrices de détritique terrigène, changement consécutif au début de la régression du cycle liasique sur la bordure nord-est du Bassin Parisien (BONTE, 1941, p. 79 ; LEFAVRAIS-RAYMOND et HORON, 1961, p. 37) et, partiellement, à la reprise de la subsidence du Bassin de Thionville qui peut ainsi canaliser une partie des apports vers la Lorraine (fig. 28). Des facteurs climatiques sont peut-être également en jeu. Seule une étude régionale à petite échelle pourrait apporter des éléments d'informations sur ce point de paléogéographie causale.

En revanche, cette sédimentation à caractère argileux dominant ne préjuge en rien de la profondeur de la mer au moment du dépôt des "*Argiles à Amalthées*" *auct.*

Normalement, hors de l'action des vagues (milieu calme), les fonds peuvent néanmoins être soumis épisodiquement à un certain vannage qui concentre quartz et fragments d'organismes.

En outre, la sédimentation semble soumise à des variations locales périodiques du niveau d'énergie moyen. Le pourcentage de sablons augmente alors et la vie benthique, dont témoigne la recrudescence des traces fossiles et des allochèmes, se développe.

Parallèlement, on enregistrerait peut-être une baisse du taux de sédimentation de détritique terrigène ainsi que pourrait le laisser supposer la lithification précoce des traces fossiles du type *Thalassinoides* non déformées par la compaction (FURSICH, 1973) et la formation de nombreux nodules (NOBLE et HOWELLS, 1974).

Ces dérives semblent être également en relation avec le Eh du sédiment (il est en général différent au-dessus et au-dessous de l'interface).

Celui-ci serait plus faible en bas et dans la partie médiane de la mégaséquence, plus élevé au sommet. Peut-être le relèvement du Eh est-il, lui aussi, une conséquence de la croissance du niveau d'énergie moyen car les courants et l'agitation des eaux sont des processus favorables à un apport d'oxygène dans le milieu de sédimentation.

Des phases négatives de sédimentation peuvent marquer l'étape ultime de cette évolution rythmique, puisque des niveaux équivalents à des "hard grounds" et éventuellement de véritables cordons de nodules, affectés de perforations de lithophages sur toutes leurs faces, associés à des concentrations de valves et de fragments de coquilles, sont visibles au sommet des unités riches en nodules.

Ces mégarythmes sédimentaires, bien discernables à Jeandelaincourt, se surimposeraient, en quelque sorte, aux variations mineures de la sédimentation, et traduiraient, à l'échelle de l'ensemble des "Argiles à Amalthées" auct., une évolution générale allant, elle aussi, dans le sens d'un relèvement du régime hydrodynamique moyen.

Si l'on excepte la partie supérieure des mégarythmes signalés ci-dessus, les fonds marins correspondant au dépôt des "Argiles à Amalthées" auct. devaient être peu consistants et soumis à des potentiels d'oxydo-réduction qui, sans être franchement réducteurs, étaient vraisemblablement peu élevés (faiblesse certainement accrue sous l'interface).

Ces caractères physico-chimiques expliqueraient la relative petitesse de la macrofaune benthique.

Peut-être faut-il relier ce caractère "d'anaérobiose commençante" au faible niveau d'énergie. L'exagération temporaire de ce paramètre du milieu de sédimentation (unité à nodules sidéritiques) reste difficile à expliquer dans le cadre d'une étude ponctuelle.

2 - La diagénèse : quelques considérations sur le mécanisme de formation des nodules

Il a déjà été signalé que certains terriers à l'intérieur des nodules ovoïdes calcaires entraînent une déformation plastique des parties voisines du tunnel. Par ailleurs, les pistes fossiles se rapportant à l'ichnogenre *Thalassinoides* ne sont pas déformées par la compaction et sont elles-mêmes l'objet d'une reprise par d'autres terriers.

Ceci leur assigne un site de formation proche de l'interface eau-sédiment. Il faut, en effet, que la tranche de matériaux au-dessus du nodule en formation ne soit pas trop épaisse pour que celui-ci puisse être affecté par la bioturbation.

D'autre part, comme l'envisagent NOBLE et HOWELLS (1974, p. 607), un flux d'une solution provenant de l'eau de mer et riche en $(\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}$ pourrait être partiellement responsable de la formation de ce type de nodule de *génése* superficielle. Effectivement, la dissolution sur place et la migration des carbonates déposés paraît en général peu importante puisque l'on trouve fréquemment des organismes à coquilles très minces sans trace de dissolution.⁽¹⁾ Ceci implique une origine précoce et signifie que la vitesse de dépôt devait être suffisamment faible pour ne pas trop éloigner la zone de nucléation de l'interface, au moins tant que le nodule n'est pas formé.

Ce raisonnement est malheureusement délicat quant à son application aux nodules sidéritiques. En effet, la sidérose est thermodynamiquement instable dans l'eau de mer et les sédiments marins de surface (BERNER, 1971, p. 200), ce qui limiterait son milieu de *génése* aux systèmes fermés, non ou peu en relation avec l'interface (RAISWELL, 1970, p. 166).

Dans ce cas, la participation des carbonates *in situ* à la *génése* des nodules paraît très probable, comme cela a été dit dans le chapitre "Analyse séquentielle" (faible teneur dans l'encaissant, fort pourcentage dans les nodules, taux de carbone organique non négligeable).

Cependant, il paraît difficile de concevoir un modèle de mécanisme de formation de ces nodules n'incluant pas également, - eu égard à l'épaisseur de l'unité à nodules sidéritiques (14 m environ) et du grand nombre de ceux-ci - l'action partielle, pour la formation de ceux-ci, d'un apport continu de $(\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}$ à partir du milieu aqueux marin, ce qui rejoint l'hypothèse de NOBLE et HOWELLS exposée ci-dessus.

La transformation de la calcite en sidérose se produirait alors postérieurement, après enfouissement, par interaction entre le fer ferreux (peut-être apporté sous forme ferrique avec les argilites puis réduit à l'intérieur du sédiment) et le radical HCO_3^- . C'est d'ailleurs, sensiblement, l'opinion de HALLAM (1967, p. 431).⁽²⁾

Ces nodules sont donc également vraisemblablement précoces à l'origine, en particulier, d'après RAISWELL (1970, p. 156), ceux à septa. De plus, ils se seraient formés dans un sédiment à forte porosité initiale comme en témoignerait la différence élevée de la teneur en carbonates entre les nodules et l'encaissant (RAISWELL, 1970, p. 161-164 ; NOBLE et HOWELLS, 1974, p. 601).

Ces indices se rapportent plutôt à des conditions de *génése* dans une tranche de sédiment peu éloignée de l'interface. Ils indiqueraient donc, comme dans le cas des nodules ovoïdes calcaires, une sédimentation pas trop rapide. Néanmoins, ces raisonnements restent en grande partie au stade de l'hypothèse et des recherches plus approfondies seraient nécessaires pour proposer un milieu physico-chimique et un mécanisme d'accrétion précis.

Par ailleurs, en ce qui concerne les nodules fossilifères phosphatés, ceux-ci peuvent résulter - d'après BONTE (1941, p. 411) qui a étudié des corps identiques du Jurassique de la bordure septentrionale du Bassin de Paris - de la floculation de phosphate de calcium lorsque les conditions sont favorables (site à pH élevé résultant des déchets d'une intense activité de microorganismes dissociant la matière organique) et de son adsorption par un support calcitique. "Cette adsorption

(1) Exception faite de l'unité à nodules sidéritiques.

(2) Cependant, d'après BERNER (1971) la sidérose peut aussi se former directement à partir de la calcite lorsque la concentration en $\text{Fe}_{\text{aq}}^{2+}$ dépasse 5% de celle en $\text{Ca}_{\text{aq}}^{2+}$.

réalise l'imprégnation et la consolidation en nodules des sédiments voisins..." (1) qui peuvent, à leur tour, servir de centre privilégiant la phosphatation.

C'est un phénomène secondaire (*ibid.*, p. 304) qui nécessite pour se développer pleinement un contact entre le support qui va être phosphatisé et le milieu marin (*ibid.*, p. 305).

En adaptant ce raisonnement aux nodules fossilifères phosphatés du Lias moyen de la région de Nancy, ceci signifierait, comme pour les nodules carbonatés, une genèse précoce et un site de formation localisé préférentiellement à la partie supérieure des dépôts.

C - "Grès médioliasiques" *auct.*

. Site de Jeandelaincourt

La partie supérieure des "Grès médioliasiques" *auct.* de la carrière de Jeandelaincourt, permet d'effectuer, à grande échelle, un essai d'interprétation de l'environnement sédimentaire de cette formation.

La figure 29 rend compte de l'ensemble des caractères de cet affleurement.

Dans le détail, il convient de souligner les observations suivantes :

- le banc nodulaire GM 12 de marne silteuse est caractérisé dans la partie médiane par des concentrations ovoïdes (photographie 8) de coquilles à valves séparées. De grands débris phytogènes décimétriques sont visibles au mur et au toit de la couche. Ce banc nodulaire GM 12 de marne silteuse, est, au niveau des accumulations d'éléments biogènes plus riche en sablons, silts et arénites que l'interbanc GM 13 et que le sommet de GM 11 (Pl. 3-2); le pourcentage de sablons calculé sur le détritique seul s'y rapproche de celui du faciès siltite argilo-arénitique coquillière (Pl. 3-2) ;

- immédiatement au-dessus, se place un niveau à nodules très fossilifères, *taraudés*, riches en P_2O_5 , marquant la base d'un lit de siltite argilo-arénitique calcaire (GM 11-2) qui passe progressivement à sa partie supérieure à une siltite argileuse calcaire (GM 11-1). Ce lit présente, à la base, quelques figures sédimentaires rappelant des microchenaux, puis, dans la partie médiane et vers le sommet, de nombreux *Pholadomya* et *Pleuromya*. Il se termine par de nombreuses taches rouilles centimétriques ;

- l'ensemble suivant débute par un deuxième niveau à nodules fossilifères *taraudés*, riches en P_2O_5 (GM 10). Il est constitué par une siltite argilo-arénitique et caractérisé par des rides (voire des chenaux) d'échelle métrique dont la base est soulignée par de nombreux bioclastes (GM 2 à 9) (photographie 7) ; ces figures sédimentaires peuvent "tangenter" des concentrations nodulaires de coquilles péломorphosées ;

(1) (*op. cit.*).

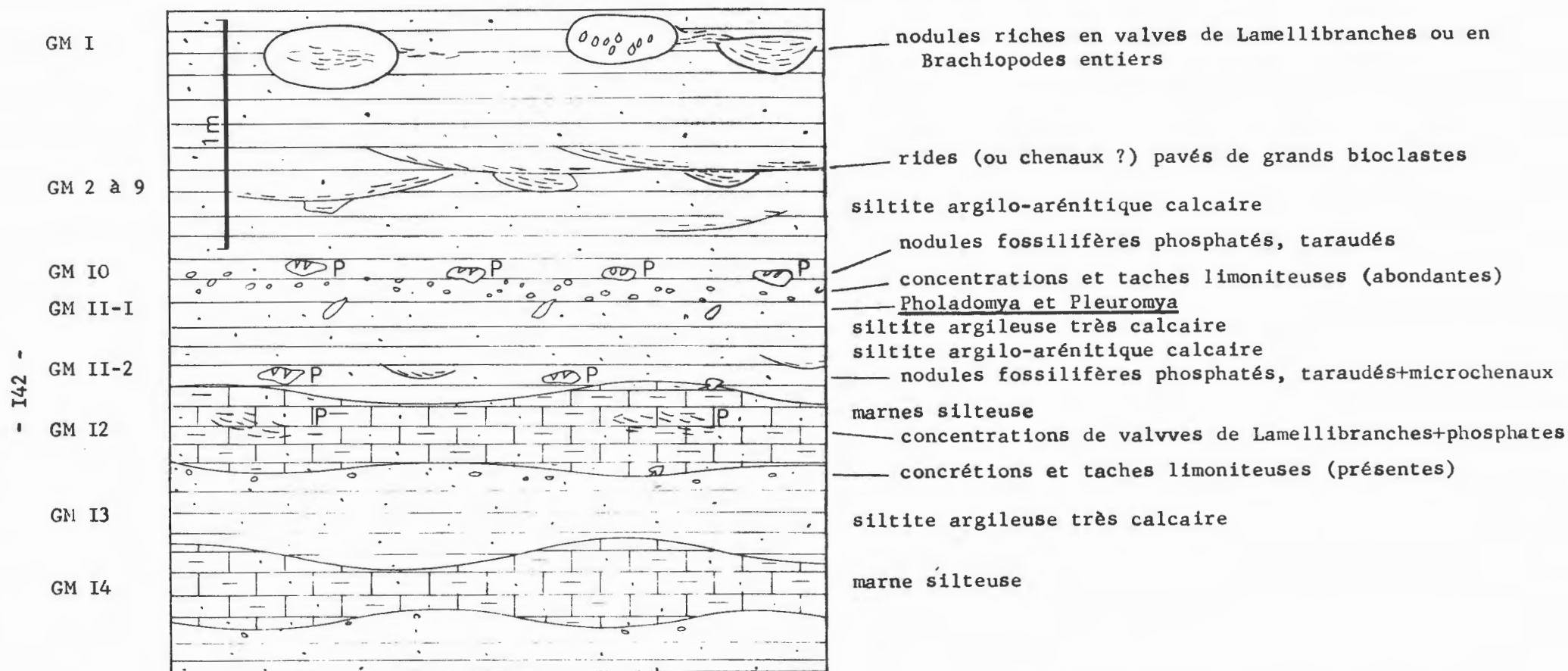


Fig. 29 - Coupe semi-schématique de la partie supérieure des "Grès médioliasiques" auct. visibles à Jeandelaincourt.

- en GM 1 apparaissent de grands nodules pétris de fossiles (en particulier de Brachiopodes) qui peuvent passer latéralement à des concentrations fossilifères (valves et bioclastes) (photographie 11).

Au niveau de l'interprétation, il semble possible de traduire l'enregistrement sédimentaire de la manière indiquée ci-après.

D'après les caractéristiques sédimentologiques de GM 12 par rapport à GM 13, la couche de marne silteuse devrait normalement correspondre à une période d'un peu plus forte dynamique des eaux et de moindre apport de détritique.

Un diastème est possible, à l'intérieur du banc GM 12, au niveau des accumulations localisées de valves de Lamellibranches et d'articles d'Encrine, mais ceci reste du domaine de l'hypothèse. Dans ce dernier cas, il faut admettre que le contraste lithologique est décalé vers le bas (migration de CaCO_3 , diagénèse).

Au niveau du toit de GM 12, un arrêt voire un épisode négatif de sédimentation ayant valeur de diastème, semble certain. Il est marqué par un "cordon" de nodules fossilifères riches en P_2O_5 et taraudés, avec également occurrence de grands débris phytogènes.

Ces perforations de lithophages impliquent une forte diminution de la sédimentation.

Par la suite, la sédimentation reprend et la couche GM 12 est surmontée par l'interbanc GM 11 constitué d'une siltite argilo-arénitique calcaire à la base, laquelle représenterait, par ses caractéristiques sédimentologiques (pourcentage de sablons calculé sur le détritique et taille des quartz légèrement plus élevés, présence de microchenaux ?), un régime hydrodynamique un peu plus fort qu'en GM 12.

Puis, lorsque la dynamique des eaux sur le fond diminue, la charge en argiles croît et, à la faveur d'une baisse de l'afflux de sédiments, l'endofaune sessile du genre *Pleuromya* ou *Pholodomya* peut s'installer.

Cet épisode sédimentaire se termine par une recrudescence de la bioturbation associée à d'assez nombreuses taches rouilles (altération de pyrite) témoignant à la fois d'un milieu pas trop agité et d'un dépôt un peu plus réducteur.

De GM 10 à GM 2, on retrouve une siltite argilo-arénitique calcaire avec, à sa base, des nodules phosphatés taraudés. Le même schéma se répète donc mais, cette fois-ci, des rides voire des chenaux assez plats et de grande taille (plusieurs mètres), soulignés par des accumulations d'éléments organogènes entiers ou en fragments (photographie 7), affectent cette couche. Ils se relaient plus ou moins, ce qui serait caractéristique d'un déplacement de ces corps sédimentaires à faible profondeur, dans un milieu où le régime hydrodynamique est suffisamment élevé pour permettre une migration de ceux-ci (ALLEN, 1967, p. 440).

Cette couche est surmontée par des nodules extrêmement fossilifères qui passent latéralement à des accumulations de coquilles et bioclastes significatives d'une certaine agitation du milieu en eaux peu profondes et peut être, comme cela a été indiqué à propos des "colonies" de Brachiopodes, d'un faible apport de détritique terrigène ? Cette agitation doit toutefois rester limitée puisque, dans les accumulations d'éléments organogènes, on peut retrouver des radioles d'Oursins bien conservés (photographie 9).

. Région de Nancy

Avec les "*Grès médioliasiques*" *auct.*, l'environnement sédimentaire domérien se modifie. Peu différent, au début de la formation, de ce qu'il est dans les "*Argiles à Amalthées*" *auct.*, par la suite, le rapport silts/argiles croît sensiblement; de même, la teneur moyenne en carbonate augmente, la stratification est mieux marquée, les figures sédimentaires d'origine physique et organique se différencient et deviennent à la fois plus abondantes et mieux exprimées, la macrofaune se développe et se diversifie. Tous ces caractères indiquent un milieu devenant progressivement agité, très certainement moins profond et mieux oxygéné que celui des "*Argiles à Amalthées*" *auct.*

De même, les terriers verticaux reconnus dans le sondage LUDR 1 appartenant au "*Skolithos faciès*" de SEILACHER ainsi qu'un certain nombre de structures sédimentaires d'origine physique, en particulier les figures de stratification à concavité tournée vers le haut et à remplissage basal de bioclastes (rides et éventuellement microchenaux ?) visibles dans le haut de la carrière de Jeandelaincourt se localisent plutôt dans les zones marines très peu profondes.

Ces présomptions sont étayées par la découverte à Jeandelaincourt de nombreux restes de Végétaux et, près de la base des "*Grès médioliasiques*" *auct.*, de restes de Plésiosaures et de Crocodiliens (MAUBEUGE, 1955, p. 231). On admet d'après leur anatomie, que ces Vertébrés vivaient non loin de la terre ferme, venant se reposer sur les grèves. Cet auteur précise que l'on peut trouver, au - dessus des "*Grès médioliasiques*" *auct.* de la région de Nancy, soit des niveaux remaniés gréseux à nodules phosphatés roulés, voire de véritables conglomérats phosphatés correspondant aux "*Grès de Bourmont*" *auct.* (MAUBEUGE, 1948), soit des traces de ravinement associées à des nodules phosphatés. Ces indices sont mis par lui en corrélation avec un retrait passager mais généralisé des eaux.

De leur côté, GERARD et TETRY (1938) signalent l'apparition de Crustacés réputés côtiers du genre *Pollicipes*.

La dérive générale des caractères pétrographiques se poursuit régulièrement depuis la base des "*Grès médioliasiques*" *auct.* jusqu'au sommet. Cependant, dans le détail, cette évolution se fait par une suite de séquences lithologiques où l'on ne trouve tout d'abord que les termes les plus riches en argiles correspondant au milieu le plus calme, alors que vers le sommet, les termes mieux pourvus en silts et arénites, éventuellement associés à de grands bioclastes, sont nettement dominants.

Au sein de cette hiérarchie granulométrique, les carbonates se placent préférentiellement entre le pôle granulométrique le plus grossier (siltite argilo-arénitique calcaire), et le plus fin (siltite argileuse calcaire et silto-argilite calcaire). Peut-être correspondent-ils aux périodes de rémission dans les apports de détritique terrigène, périodes situées entre l'arrivée sur le fond d'une importante quantité de silts relativement grossiers et le dépôt d'un pourcentage élevé de particules fines et micacées. Il est possible que cette ségrégation dans la taille des particules soit liée à une mise en place par des processus distincts.

Les lits les plus carbonatés de la moitié inférieure du sondage LUDR 1 comportent fréquemment des microlaminations, lesquelles peuvent être considérées comme des indices de vannage possible ; ceci s'accorde avec une mise en place des carbonates lors d'une diminution des apports de détritique terrigène fin.

Toutefois, dans cette hypothèse, la brusque élévation de la teneur en CaCO_3 à la base des lits carbonatés, laquelle est suivie d'une décroissance progressive, reste délicate à expliquer.

D'importants phénomènes de diagénèse (migrations, recristallisation) affectent les carbonates.

La reconstitution du milieu de sédimentation esquissée ici est générale et s'applique dans ses grandes lignes aux "*Grès médioliasiques*" *auct.* de la carrière de Jeandelaincourt et des sondages LUDR 1 et LUDR 3.

Néanmoins, entre le site de Jeandelaincourt et celui de Ludres, des divergences apparaissent.

La sédimentation semble se différencier plutôt à Jeandelaincourt que dans la région de Ludres et la microfaune y est plus abondante ; de même, le pourcentage moyen en carbonates, tout au moins dans la partie supérieure de la formation y est plus élevé.

Peut-être la région de Jeandelaincourt était-elle plus proche des zones de hauts-fonds. Les cartes d'isopaques du Domérien (LEFAVRAIS-RAYMOND et HORON, 1961), (fig. 28), le laissent supposer, bien que l'interprétation paléogéographique de tels documents doive être conduite avec prudence au niveau des implications bathymétriques.

A l'échelle de la formation dans sa totalité, la succession dans le temps des grandes classes lithologiques rencontrées : silto-argilite puis siltite argileuse (avec plus ou moins de carbonates), bénéficie de la comparaison que l'on peut établir avec la répartition des sédiments sur le précontinent de la partie médiane de la côte du Texas (SHEPARD et MOORE, 1955).

Malgré le spectre granulométrique du modèle actuel en moyenne plus grossier, qui fait, en se déplaçant vers la côte, succéder un mélange sables-silts-argiles à une siltite argileuse, l'homologie entre la répartition des faciès dans le temps (à Jeandelaincourt) et dans l'espace (partie interne du plateau continental texan), est assez remarquable (fig. 30).

Il en est de même pour les structures internes (MOORE et SCRUTON, 1957). Du large vers la côte, la distribution de ces structures - plus ou moins homogène (sédiments fins), madrures dues à la bioturbation, fines stratifications irrégulières (fig. 31) - calque assez bien la succession rencontrée dans les "*Grès médioliasiques*" *auct.* ⁽¹⁾. Seules, la structure homogène des sédiments grossiers tout-à-fait côtiers et la structure régulièrement stratifiée (trouvée près de l'émissaire de la rivière Guadalupe à son arrivée dans un golfe protégé) ne sont pas exprimées.

(1) Il serait d'ailleurs possible d'étendre ce modèle à l'ensemble du Domérien de la région de Nancy.

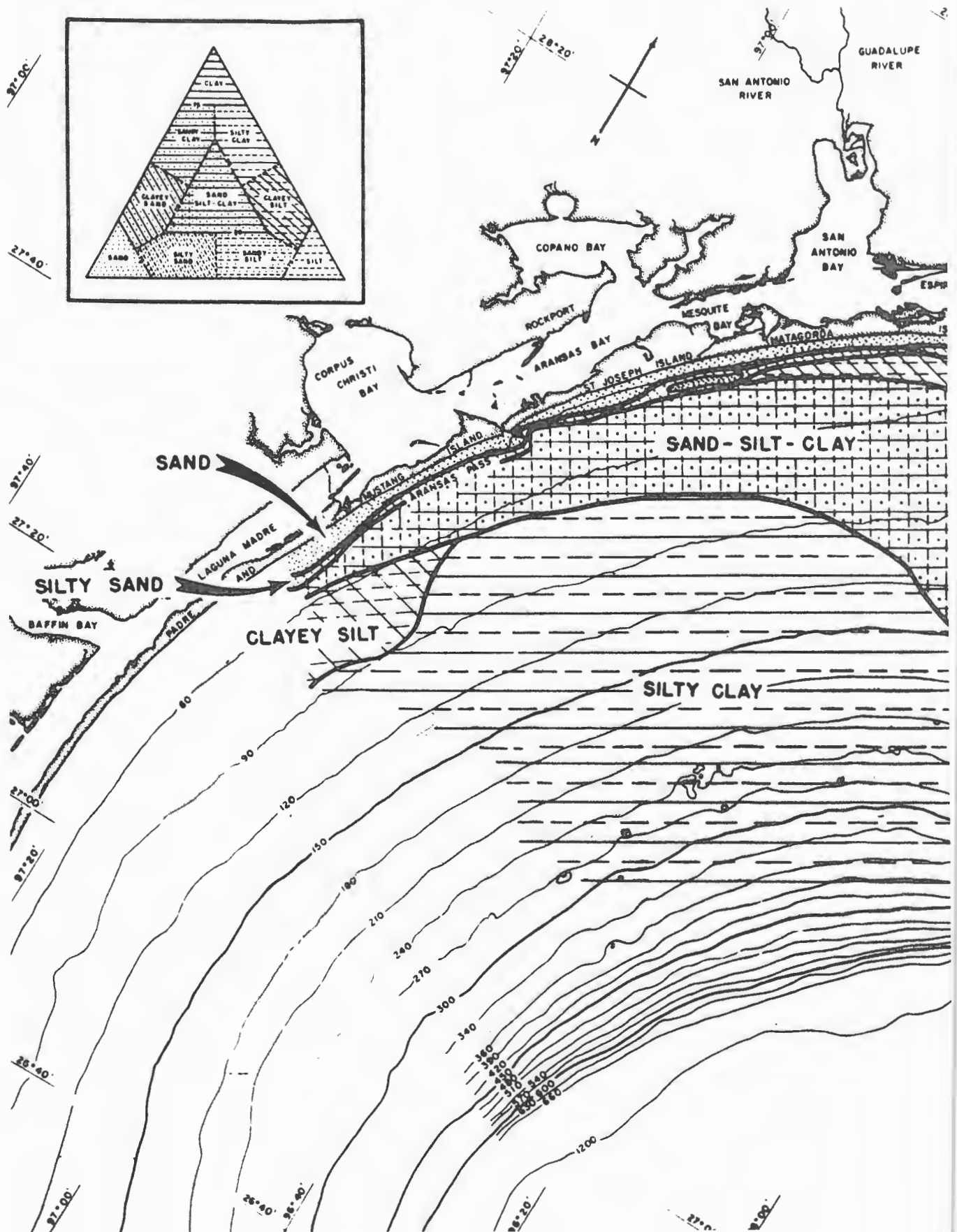


Fig. 30 - Distribution des sédiments en fonction de leur pourcentage en sables, silts et argiles, sur la plateforme continentale de la partie centrale du Texas. (d'après F.P. SHEPARD et D.G. MOORE, 1955).

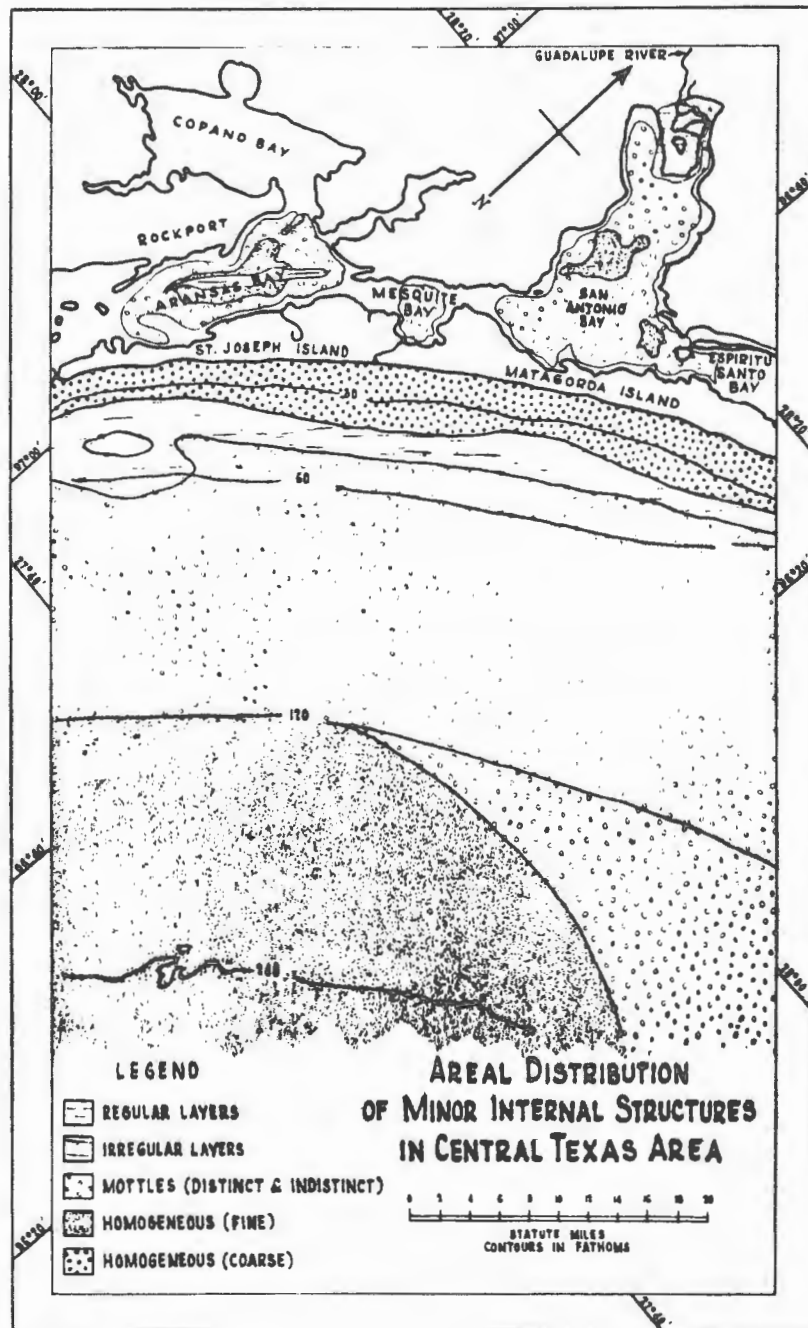


Fig. 3I - Distribution des structures internes dans les sédiments de la plateforme continentale de la partie centrale du Texas (d'après D.G. MOORE et P. C. SCRUTON, 1957).

Pour autant, ce parallélisme avec le modèle actuel présenté ne signifie pas que, à la fin des "*Grès médioliasiques*" *auct.*, le site de la région de Nancy soit proche de la côte. La morphologie continentale, comme celle du domaine marin, devait être suffisamment plate pour que d'immenses surfaces soient recouvertes par une faible tranche d'eau. Des exondations localisées susceptibles d'être colonisées par une flore terrestre et servant d'aire de repos, voire de gîtes, aux Vertébrésamphibies, devaient être possibles.

VII - CONCLUSION - RESUME

Ce travail a été entrepris dans le cadre de l'étude des relations susceptibles d'unir les propriétés physiques et mécaniques des roches et des sols (au sens des géotechniciens) à leurs caractères sédimentologiques. Il constitue une approche à la fois générale et naturaliste de ce problème qui fait, au sein du Laboratoire de Géomécanique de l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie Appliquée et de Prospection Minière de Nancy, l'objet d'autres travaux plus spécialement axés sur l'étude de détail des matériaux argileux consolidés, de leurs paramètres de fissuration, et de leurs propriétés géomécaniques.

Dans cet esprit, l'application à des formations d'apparence homogène de la méthodologie utilisée (granulométrie, calcimétrie, analyses chimiques et minéralogiques, éventuellement radiographie, des échantillons prélevés selon un intervalle fixé au préalable, suivies d'un affinement des prélèvements en fonction des résultats obtenus), permet d'accéder à une connaissance relativement précise des variations pétrographiques et minéralogiques de la formation étudiée ; elle donne en même temps la possibilité d'en dégager les tendances évolutives (cycles, rythmes, dérives) si celles-ci existent.

Cette base étant acquise, il est loisible de l'appliquer à d'autres domaines d'investigation. Elle devrait pouvoir apporter des éléments de compréhension sur les comportements chimique, physique et mécanique des roches et des sols, lesquels peuvent découler directement ou indirectement de leurs caractéristiques minéralogiques et pétrographiques (structure, texture, pourcentage respectif et nature des différents éléments, répartition et cristallinité du ciment, type de liaison l'unissant à la gangue, etc.).

Les variations de ces données intrinsèques, souvent ténues quant à leur apparence, mais éventuellement importantes quant à leurs conséquences sur les propriétés physiques et mécaniques peuvent échapper, dans les formations détritiques fines, à l'observation lors d'une étude ponctuelle. En revanche, elles se déduisent logiquement, une fois l'enregistrement sédimentaire décodé, de l'emplacement du prélèvement à l'intérieur de la succession des lithofaciès.

C'est la raison pour laquelle une étude sédimentologique préalable est susceptible d'apporter, dans un certain nombre de cas au moins, des éclaircissements sur des résultats autrement inexplicables comme la dispersion des résultats d'essais mécaniques sur des échantillons apparemment identiques, mais prélevés au hasard sur un front de taille ou un sondage.

Par ailleurs, l'étude sédimentologique complète d'une formation permet d'apprécier le degré de confiance que l'on peut accorder à une interpolation ou une extrapolation des données géotechniques acquises à partir des sondages. La partie supérieure des "*Grès médioliasiques*" auct. où de grands nodules, difficilement reconnaissables sur carottes, sont nombreux, en est un cas typique.

L'étude sédimentologique du Pliensbachien appuyée sur l'examen macroscopique et microscopique, la granulométrie du détritique terrigène, la calcimétrie, et un certain nombre d'analyses chimiques, a permis de dégager 4 lithofaciès dans le Carixien, et 9 dans le Domérien. Ces derniers peuvent se ramener à 8 lithofaciès-type d'après le spectre

granulométrique du terrigène seul. Ils s'organisent suivant deux séquences lithologiques-types plus ou moins parallèles où les termes, soit les plus riches en bioclastes (Carixien), soit les plus riches en silts (Domérien), se placent en bas de séquence.

Les lithofaciès les plus argileux se situent normalement en haut de séquence.

Les faciès les plus carbonatés de la séquence lithologique-type domérienne (basée principalement sur le jeu du rapport silts/argiles) apparaissent en position intermédiaire. La mise en place de ces carbonates pose le problème de leur causalité.

L'analyse séquentielle montre que de séquences généralement tronquées dans le Carixien, on passe à des "séquences rabougries" (en fait oscillations à deux termes) dans les "*Argiles à Amalthées*" auct., puis à des séquences à nouveau tronquées dans les "*Grès médioliasiques*" auct. Dans la zone à *A. margaritatus*, des mégarythmes d'ordre supérieur, à dérive négative, se surimposent aux fluctuations mineures de la sédimentation ; les "*Grès médioliasiques*" auct. ont le même type de dérive.

L'ensemble du Domérien se présente comme une mégaséquence klüpfelienne.

A l'échelle du Pliensbachien, on enregistre également une évolution granulométrique du détritique terrigène. Du Carixien aux "*Grès médioliasiques*" auct., la taille du grain de quartz de dimension maximum, varie de 30 - 40 μ à 100 - 110 μ ; elle est voisine de 50 μ dans les "*Argiles à Amalthées*" auct. Cette progression se poursuit au cours du Toarcien, puisque le diamètre maximal atteint 125 μ au sommet du sondage LUDR 1 (base du Toarcien ?) et 150 μ environ dans les "*Grès supraliasiques*" auct. d'un sondage effectué à Vandoeuvre-Brabois.

Les données recueillies permettent de reconstituer les grands traits de l'environnement sédimentaire : climat assez chaud et humide (moins chaud qu'au Dogger toutefois), mais à saisons plus ou moins alternées, faible apport de détritique terrigène au Carixien, fort afflux au contraire pendant le dépôt des "*Argiles à Amalthées*" auct. et - dans une moindre mesure - des "*Grès médioliasiques*" auct.

Le niveau d'énergie est variable dans le temps ; moyennement élevé par intermittence au Carixien, il est faible, sauf éventuellement au niveau des diastèmes mégaséquentiels, durant la période correspondant au dépôt des "*Argiles à Amalthées*" auct. et remonte sensiblement avec les "*Grès médioliasiques*" auct.

La comparaison avec un modèle actuel à matériel silico-clastique dominant illustre l'homologie qui existe, d'une part dans le temps et d'autre part dans l'espace, entre l'évolution de la sédimentation domérienne et la zonalité des dépôts et des structures sédimentaires sur le précontinent texan.

- BIBLIOGRAPHIE -

Les publications sont citées en tenant compte des recommandations de H. FISCHER (1974) : Liste d'abréviation pour citer les périodiques des sciences de la terre. (Publication de la Commission Géologique Suisse).

Les articles ou ouvrages ayant trait, en tout ou partie, à la géologie de la Lorraine et des régions voisines sont signalés par un astérisque.

- AGER D.V. (1965) : The adaptation of mesozoic Brachiopods to different environments. - *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, I, 143-172.
- ALLEN G.P., KLINGEBIEL A., DE RESSEGUIER A. (1970) : Evolution et signification dynamique de quelques indices granulométriques des sédiments de l'embouchure de la Gironde. - *Cahiers Océano.*, XXII/8, 801-813.
- ALLEN J.R.L. (1967) : Depth indicator of clastic sequences. - *Marine Geol.*, 5, 429-446.
- * AL KHATIB (1976) : Le Rhétien de la bordure orientale du Bassin de Paris et le "Calcaire à Gryphées" de la région de Nancy. Etude pétrographique et sédimentologique. - Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Nancy 1, 278 p.
- ALLOUC J. (1969) : Etude des sédiments actuels du précontinent niçois. - D.E.S., Fac. Sci. Nice, 130 p.
- ALLOUC J., HANZO M. (1977) : Premiers résultats sur la répartition du phosphore dans le Lias moyen de Lorraine. - 5ème Réunion ann. Sci. de la Terre, Rennes, 19-22 Avril, p. 7.
- BAUSCH W.M. (1968) : Clay content and calcite crystal size of limestones. - *Sedimentology*, 10, 71-75.
- * BENOIST M. (1868) : Note pour servir à l'étude des étages jurassiques inférieurs aux environs de Nancy. - *Ann. Soc. linn. Bordeaux*, t. XXVI.
- BERNER R.A. (1971) : *Principals of chemical sedimentology*. - Mc Graw-Hill Book Company, New-York/Toronto/London.
- BERTHOIS L. (1975) : Etude sédimentologique des roches meubles. - Doin, Paris.
- BERTRAND J.P. (1969) : Cours de pétrographie appliquée à l'étude de problèmes pétroliers, t. 1 - Etude des roches. Technip., Paris.
- BIETLOT (1940) : Méthodes d'analyses granulométriques. Applications à quelques sables éocènes belges. - *Mém. Soc. Géol. Belg.*, 64/2, 79-169.
- * BINTZ J., HARY A., MULLER A. (1973) : Ardenne. In : Guide géologique régional Ardenne-Luxembourg (p. 135-188) - Masson et Cie, Paris.

- BISCAYE P.E. (1965) : Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. - Geol. Soc. Amer. Bull., 76, 803-832.
- BIZON G., OERTLI H. (1961) : Contribution à l'étude micropaléontologique (Foraminifères, Ostracodes) du Lias du Bassin de Paris. In : Colloque sur le Lias français, 1961 (p. 107-119) - Technip. Paris.
- * BLEICHER G. (1884) : Note sur les formations jurassiques de Lorraine. - C.R. Somm. Soc. Geol. Fr., séance du 17 avril.
- * BLEICHER G. (1887) : Guide du géologue en Lorraine. - Paris.
- * BONTE A. (1941) : Contribution à l'étude du Jurassique de la bordure septentrionale du Bassin de Paris. - Thèse de Doctorat d'Etat, Fac. Sci. Univ. Montpellier, 439 p.
- * BOTTGER M. (1972) : Faziesuntersuchungen im Domerien (Mittlerer Lias) von Luxemburg. - Diss. R.W. T.H., Aachen, 96 p.
- BOUMA A.H. (1969) : Methods for the study of sedimentary structures.- Wiley. Interscience, John Wiley and Sons Inc., New-York.
- BOURCART J. (1941) : Essai d'une classification raisonnée des matériaux meubles. - B.S.G.F., XI, 117-153.
- BOURON-BOUGE A. (1972) : Applications de la radiographie et de la gamma-densimétrie à l'étude de carottes de sédiments meubles. - Thèse de Doctorat de Spécialité, Univ. Nantes, 123 p.
- * BRACONNIER M.A. (1883) : Description géologique et agronomique des terrains de Meurthe-et-Moselle. - Nancy, Paris.
- BROWN G. (1961) : The X-ray identification and crystal structures of clay minerals. - Min. Soc. (Clay Min. Group), London.
- BUROLLET P.F. (1957) : Remarques sur la nomenclature stratigraphique. - Sci. de la Terre, 5/2-3, 119-130.
- BYERS C.W. (1974) : Shale fissility : relation to bioturbation. - Sedimentology, 21/3, 479-484.
- CALVERT S.E., VEEVERS J.J. (1962) : Minor structures of unconsolidated marine sediments revealed by X-radiography. - Sedimentology, 1, 296-301.
- * CASTAING J., GEISLER D. (1972) : Contribution à l'étude sédimentologique du Bajocien de la région de Nancy. - Thèse de Doctorat de Spécialité, Univ. Nancy 1, 173 p. + annexe.
- CAYEUX L. (1929) : Les roches sédimentaires de France. Roches siliceuses. - Mém. Expl. Carte géol. dét. Fr., 774 p.
- CHAMBRE SYNDICALE DE LA RECHERCHE ET DE LA PRODUCTION DU PETROLE ET DU GAZ NATUREL (1961) : Essai de nomenclature des roches sédimentaires. - Technip., Paris.

- CHAMBRE SYNDICALE DE LA RECHERCHE ET DE LA PRODUCTION DU PETROLE ET DU GAZ NATUREL (1966) : Essai de nomenclature et de caractérisation des principales structures sédimentaires. - Technip., Paris.
- CHAMBRE SYNDICALE DE LA RECHERCHE ET DE LA PRODUCTION DU PETROLE ET DU GAZ NATUREL (1968) : Rôle de la paléontologie dans l'exploration pétrolière, Technip. Paris.
- CHAMLEY H. (1969) : Intérêt de l'étude chiffrée des minéraux argileux par diffraction des rayons X, pour la connaissance des paléoclimats. Exemple des sédiments de la Méditerranée Nord-Occidentale. *In* : Colloque sur les méthodes analytiques par rayonnements X, Montpellier, 1969, (p. 99-106). - C.G.R., C.R. séances.
- CHAMLEY H. (1971) : Recherches sur la sédimentation argileuse en Méditerranée. - Sci. Géol., Mém. n° 35, 209 p.
- CLIFTON E.H., HUNTER R.E. (1973) : Bioturbational rates and effects in carbonate sand, St John, U.S. Virgin Islands. - J. Géol., 81/3, 253-268.
- * CORROY G. (1927) : Synchronisme des horizons jurassiques de l'Est du Bassin de Paris. - Bull. Soc. Géol. Fr., (7), XXVII, 95-114.
- * CORROY G. (1928) : Les Spiriféridés du Lias européen et principalement du Lias de Lorraine et d'Alsace. - Ann. Pal. Museum, Paris, XVII.
- CURTIS C.D., SPEARS D.A. (1968) : The formation of sedimentary iron minerals. - Econ. Geol., 63, 257.
- DELATTRE CH., MERIAUX E., WATERLOT M. (1973) : Guide géologique régional : Flandre, Artois, Boulonnais, Picardie. - Masson et Cie, Paris.
- * DEMASSIEUX L. (1969) : Considérations pétrographiques, sédimentologiques et stratigraphiques sur les "Calcaires cariés" (Portlandien-Meuse). - Bull. Acad. Soc. Lorr. Sci., VIII/2, 78-89.
- DEWERDT F. (1965) : Les résines échangeuses d'ions. - Bull. Soc. Fr. Céram., 67, 3-24.
- * DONZE P., FRANIATTE S., LAUGIER R., LUCAS J., MILLOT G., MOUTERDE R., PAQUET H., RUGET-PERROT C., SIGAL J. (1964) : Etude stratigraphique et micropaléontologique d'un sondage du Lias inférieur et moyen de Lorraine, contribution à l'étude du stratotype du Lotharingien. *In* : Colloque sur le Jurassique, Luxembourg, 1962, (p. 609-617). - Comptes Rendus et Mémoires.
- DUFF P. Mc L.D., HALLAM A., WALTON E.K. (1967) : Cyclic sedimentation. - Developments in sedimentology, vol. 10, Elsevier publishing Company, Amsterdam.
- DUNHAM R.J. (1962) : Classification of carbonate rocks according to depositional texture. Classification of carbonate rocks. - Mem. amer. Assoc. Petroleum Geol., 1, 108-121.

- DUNOYER DE SEGONZAC G., FERRERO J., KUBLER B. (1968) : Sur la cristallinité de l'illite dans la diagénèse et l'anchimétamorphisme.
- *Sedimentology*, 10, 137-148.
- ELF-AQUITAINE (1975) : Essai de caractérisation sédimentologique des dépôts carbonatés. Vol. 1. Elements d'analyse. - ELF-AQUITAINE, centres de recherches de Boussens et de Pau.
- ESQUEVIN J. (1969) : Influence de la composition chimique des illites sur leur cristallinité. - *Bull. Centre Rech. Pau, S.N.P.A.*, 3/2, 147-154.
- EVANS G. (1975) : Intertidal Flat deposits of the Wash, Western margin of the North Sea. *In* : GINSBURG R.N. (ed.) : *Tidal Deposits* (p. 13-20). - Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New-York.
- FLEURENCE A., LOISEL M. (1969) : Moyens pratiques d'amélioration de l'analyse quantitative par diffractomètre X. *In* : Colloque sur les méthodes analytiques par rayonnements X, Montpellier, 1969, (p. 83-89). - C.G.R., C.R. séances.
- FOLK R.L. (1951) : Stages of textural maturity in sedimentary rocks. - *J. Sediment. Petrol.*, 21, 127-130.
- FOLK R.L. (1959) : Practical petrographic classification of limestones. - *Bull. amer. Assoc. Petroleum geol.*, 43, 1-38.
- * FOURMENTRAUX J., PONTALIER J., LAVIGNE J., POUJOL P. (1959) : Trias, Jurassique inférieur et moyen de l'Est du Bassin Parisien. Présentation des cartes d'isopaques et de lithofaciès. - *Rev. Inst. Fr. Pétrole*, 14/9, 1063-1090.
- FREY R.W. (1975) : The realm of ichnology, its strengths and limitations. *In* : FREY R.W. (Ed.) : *The study of trace fossils*, (p. 13-38). - Springer Verlag, Berlin/ Heidelberg/New-York.
- FRIEDMAN G.M. (1959) : Identification of carbonate minerals by staining methods. - *J. Sediment Petrol.*, 29, 87-97.
- ..
- FURSICH F.T. (1973) : Thalassinoides and the origin of nodular limestone in the Corallian Beds (Upper Jurassic) of Southern England. - *N. Jb. Geol. Palaont., Mn.*, 3, 136-156.
- ..
- FURSICH F.T. (1975) : Trace fossils as environmental indicators in the Corallian of England and Normandy. - *Lethaia*, 8, 151-172.
- GABILLY J. (1963) : Les variations de la sédimentation du Lias du Jurassique en relation avec le seuil du Poitou. *In* : *Les seuils en géologie*. 87° Congrès des Sociétés savantes, Poitiers, (p. 679-699). - Gauthier-Villars et Cie, Paris.
- * GARDET G. (1946) : Sur un horizon gréseux de la base du Domérien lorrain. - *Bull. Soc. Sci. Nancy*, 3-5.
- * GERARD CH. (1931) : Note sur la formation dite "Calcaire Ocreux" de Meurthe-et-Moselle. - *Bull. Soc. Geol. Fr.* (5), 1, 605-663.

- * GERARD CH., TETRY A. (1938) : Le Charmouthien de Meurthe-et-Moselle. - Bull. Soc. Sci. Nancy, 10-11, 167-191.
- GILLOTT J.E. (1968) : Clay in engineering geology. - Elsevier Publishing Company, Amsterdam/London/New-York.
- GOLDRING R. (1964) : Trace fossils and the sedimentary surface in shallow-water marine sediments. *In* : Van STRAATEN L.M.J.U. (Ed.) : Deltaic and shallow marine deposits. - Developments in sedimentology, 1, (p. 136-143), Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
- * GUILLAUME L. (1941) : Contribution à la stratigraphie et à la tectonique du Lias dans la région de Thionville, le "fossé" de Thionville. - Bull. Soc. Géol. Fr., (5), XI, 35-73.
- * HAGUENAUER B. (1963) : Etude séquentielle du Muschelkalk supérieur lorrain. *In* : Colloque sur le Trias de la France et des régions limitrophes, Montpellier, 1962. - Mém. B.R.G.M., 15, 148-155.
- HAGUENAUER B. (1969) : Sédimentation rythmique et distribution des argiles dans la série paralique du bassin du Tage (Portugal). - C.R. Acad. Sci., 268, 2237-2239.
- HAGUENAUER B. (1970) : Sédimentation cyclothématique dans la Molasse paralique du Bassin néogène du Tage (Portugal). - Com. Serv. Géol. Portugal, LIV, 139-189.
- * HAGUENAUER B., HILLY J. (1975) : Les environnements continentaux lagunaires et marins du Muschelkalk, du Keuper, du Lias et du Dogger. *In* : Environnements continentaux et marins du Trias et du Jurassique de l'Est du Bassin de Paris, (p. 24-56). - IX^e Congrès International de sédimentologie, Nice, 1975, Excursion 8.
- HALLAM A. (1960) : A sedimentary and faunal study of the Blue Lias of Dorset and Glamorgan. - Phil. Trans. Roy. Soc. London, (B), 243, 1-44.
- HALLAM A. (1961) : Origine des cycles mineurs de sédimentation carbonatée dans le Lias. *In* : Colloque sur le Lias français, (p. 171-175). - Technip, Paris.
- HALLAM A. (1964 a) : Liassic sedimentary cycles in Western Europe and their relationship to changes in sea level. *In* : Van STRAATEN L.M.J.U. (Ed.) : Deltaic and shallow marine deposits. - Developments in sedimentology, 1, (p. 157-164), Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
- HALLAM A. (1964 b) : Origin of the limestone-shale rhythm in the Blue Lias of England : a composite theory. - J. Geol., 72, 157-169.
- HALLAM A. (1967 a) : An environmental study of the Upper Domerien and the Lower Toarcien in Great Britain. - Phil. Trans. Roy. Soc. London, (B), 251.

- HALLAM A. (1967 b) : Siderite and calcite bearing concretionary nodules in the Lias of Yorkshire. - *Geol. Mag.*, 104/3, 222-227.
- HAMBLIN W.K. (1962) : X-ray radiography in the study of structures in homogeneous sediments. - *J. Sediment. Petrol.*, 32, 201-210.
- HANTZSCHEL W. (1962) : Trace fossils and problematica. *In* : MOORE R.C. (Ed.) : *Treatise on Invertebrate paleontology* (p. 177-245). University of Kansas Press, New-York.
- HECKEL P.H. (1972) : Recognition of ancient shallow marine environments. *In* : RIGBY J.K., HAMBLIN W.K. (Ed.) : *Recognition of ancient sedimentary environments*. - *Spec. Publ. Soc. econ. Paleont. Mineral.*, 1, 226-286.
- HOWARTH J.D. (1975) : The sedimentological significance of trace fossils. *In* : FREY R.W. (Ed.) : *The study of trace fossils* (p. 131-146). - Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New-York.
- * JOLY H. (1908) : Le Jurassique inférieur et moyen de la bordure N-E du Bassin de Paris. - Thèse, Nancy.
- * JOUANNEAU J.C. (1974) : Etude lithostratigraphique, structurale et géotechnique de la zone urbaine de Nancy. - D.E.S. Fac. Sci. Univ. Nancy 1, 76 p.
- KAZI A. (1975) : Quantitative fabric analyses of Drammen clay using X-ray diffraction techniques. - *J. sediment. Petrol.*, 45/4, 883-890.
- KENNEDY W.J. (1975) : Trace fossils in carbonate rocks. *In* : FREY R.W. (Ed.) : *The study of trace fossils*, (p. 377-388). - Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New-York.
- KLINGEBIEL A., LATOUCHE C. (1962) : Etude cristallographique des illites dans les terrains paléogènes du Bordelais : application stratigraphique : *In* : *Colloque sur le Paléogène*, Bordeaux, 1962, 467-477.
- KLINGEBIEL A., RECHINIAC A., VIGNEAUX M. (1967) : Etude radiographique de la structure des sédiments meubles. - *Marine Géol.*, 5/71-76.
- KNOKE R. (1966) : Untersuchungen zur diagenese an kalkkonkretionen und umgebenden Ton-schiefern. - *Contr. Mineral. Petrol.*, 12/139, 162-167.
- * KLÜPFEL W. (1917) : Über die Sedimente der Flachsee in Lotharinger Jura. - *Geol. Rdsch. Dtsh.*, VII, 97-109.
- * KLÜPFEL W. (1918) : Der Lothringer Jura, I, Theil : Lias. - *Jahrb. preuss. Geol. Landes Ans.*, 39/2, 165-372.
- LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES (1965) : Mode opératoire. Analyse granulométrique par sédimentométrie. - Dunod, Paris.
- LARQUE PH., WEBER F. (1975) : Technique de préparation des minéraux argileux en vue de l'analyse par diffraction des rayons X. - Université Louis Pasteur, Strasbourg. Note technique de l'Institut de Géologie, 1, 25 p.

- * LAUGIER R. (1954) : Etude stratigraphique, pétrographique et paléontologique des couches géologiques traversées par la R.N. 4 bis, dite de contournement de Nancy. - D.E.S. Fac. Sci. Nancy, 103 p.
- * LAUGIER R. (1971) : Le Lias inférieur et moyen du Nord-Est de la France. - Mém. Sci. de la Terre, 21, 300 p.
- * LEFAVRAIS-RAYMOND A., HORON O. (1961) : Bassin de Paris. Rapport n° 1. In : Colloque sur le Lias français, (p. 3-56). - Technip, Paris.
- LE RICHE H.H. (1959) : The distribution of certain trace elements in the Lower Lias of Southern England. - Geochim. Cosmochim. Acta, 16, 101-122.
- LOMBARD A. (1953) : Géologie sédimentaire. Les séries marines. - Masson et Cie, Paris.
- LOMBARD A. (1972) : Séries sédimentaires. Génèse-évolution. - Masson et Cie, Paris.
- LUCAS G., CROS P., LANG J. (1976) : Etude microscopique des roches meubles et consolidées. - Doin, Paris.
- LUCAS J., CAMEZ TH., MILLOT G. (1959) : Détermination pratique aux rayons X des minéraux argileux simples et interstratifiés. - Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., 12/2, 21-31.
- * LUCIUS M. (1950) : Coup d'oeil sur l'histoire géologique de la terre luxembourgeoise. - Schweiz. Bauztg., 4 p.
- * LUCIUS M. (1951) : Les traits fondamentaux de l'histoire géologique du sol luxembourgeois. - multicopié, 67 p.
- MAGNE J., DUFAURE G. (1964) : Une méthode nouvelle pour l'extraction rapide des microfossiles. - Rev. Micropal., 7/1, 77-79.
- MAILLARD P. (1965) : Etude discriminative de roches argileuses par colorimétrie. - Bull. Groupe franç. Argiles, XVI/11, 17-23.
- MANGIN J.PH. (1975) : Classification des gradites. - IX° Congrès International de Sédimentologie, Nice, 1975, 6, 233-236.
- * MAUBEUGE P.L. (1945) : Sur quelques niveaux marneux de Lorraine à structure cone-in-cone. - C.R. somm. Soc. Géol. Fr., 114-115.
- * MAUBEUGE P.L. (1945) : La base du Toarcien aux environs de Nancy. - Bull. Soc. Sci. Nancy, 3, 4.
- * MAUBEUGE P.L. (1946) : Sur quelques gisements lorrains de roches carbonatées à structure cone-in-cone. - Bull. Soc. Géol. Fr., 1-2-3, 179-191.
- * MAUBEUGE P.L. (1948) : Sur un nouvel horizon paléontologique du Lias supérieur, et le contact du Lias moyen et supérieur dans l'Est de la France. - Bull. Soc. Géol. Fr., (5), XVIII, 59-68.

- * MAUBEUGE P.L. (1955) : Observations géologiques dans l'Est du Bassin de Paris (terrains triasiques moyens - supérieurs et jurassiques inférieurs-moyens). - 2 vol. multicopiés, 1082 p., Nancy.
- * MAUBEUGE P.L. (1960) : Quelques observations sur le Lias de la rive droite de la Moselle entre Metz et Thionville. - Bull. Soc. Sci. Nancy, 176-185.
- * MAUBEUGE P.L. (1961) : Le Toarcien et le sommet du Pliensbachien dans la région de Langres (Haute Marne) et quelques comparaisons avec la Lorraine centrale. In : Colloque sur le Lias français, (p. 563-576). - Technip, Paris.
- * MAUBEUGE P.L. (1962) : Les seuils géologiques et plus spécialement jurassiques dans l'Est du Bassin de Paris. In : Les seuils en géologie, 87^e Congrès des Sociétés savantes, Poitiers. - Gauthier-Villars et Cie, Paris.
- * MAUBEUGE P.L. (1967) : Observations géologiques récentes sur toutes les feuilles lorraines. - Bull. Soc. Géol. Fr., 279, 299.
- Mc ALESTER A.L., RHOADS D.C. (1967) : Bivalves as bathymetric indicators. - Marine Géol., 5, 383-388.
- * MILLOT G. (1946) : Note préliminaire sur les argiles et les marnes de Lorraine. - C.R. somm. Soc. Géol. Fr., 3/séance du 4 février.
- * MILLOT G. (1948) : La nature et la genèse des minéraux argileux d'une série sédimentaire secondaire. - Verre et silicates industriels, XIII/10, 1-4.
- * MILLOT G. (1949) : Relations entre la constitution et la genèse des roches sédimentaires argileuses. - Géologie Appliquée et Prospection minière, Nancy, II/2-4, 352 p.
- MILLOT G. (1964) : Géologie des argiles. Altérations, sédimentologie, géochimie. - Masson et Cie, Paris.
- * MONNIER (1838) : Note sur la constitution géologique des environs de Nancy. - Mém. Soc. royale Sci. Lettres et Arts, Nancy, 1 vol. + pl.
- MOORE D.G., SCRUTON P.C. (1957) : Minor internal structures of some recent unconsolidated sediments. - Bull. Amer. Assoc. Petroleum Géol., 41/12, 2723-2751.
- MORRAS H. (1973) : L'identification des matériaux carbonatés par colorations différentielles. - Rijksuniversiteit Gent, note tech., 1, 7 p.
- * MOUTERDE R., LAUGIER R. (1967) : Stratigraphie et macrofaune du sondage de Laneuville devant Nancy (Lotharingien de la région type). In : Etude du Lotharingien de la région type. - Sci. de la Terre, XII/1-2, 17-31.

- * MOUTERDE R., LAUGIER R., RUGET C., SIGAL J., DONZE P. (1967) : Conclusions à l'étude paléontologique du Lotharingien de la région type. Sondage de Laneuville-devant-Nancy (Meurthe-et-Moselle). - Sci. de la Terre, XII/1-2, 93-94.
- * MOUTERDE R., TINTANT H. (1968) : Le détroit morvano-vosgien a-t-il existé au Lias ? - Bull. Soc. Géol. Fr., (7), X, 293-302.
- * MULLER A., PARTING H., THOREZ J. (1973) : Caractères sédimentologiques et minéralogiques des couches de passage du Trias au Lias sur la bordure Nord-Est du Bassin de Paris. - Ann. Soc. Géol. Belg., 96/111, 671-707.
- MULLER G. (1964) : Methoden der Sediment-Untersuchung. - Schweizbart, Stuttgart.
- MURAVYOV V.I. (1970) : Formation of carbonate cement in clastic rocks. - Sedimentology, 15, 139-145.
- NOBLE J.P.A., HOWELLS K.D.N. (1974) : Early marine lithification of the nodular limestones in the Silurian of New-Brunswick. - Sedimentology, 21, 597-609.
- ODIN G.S. (1971) : Sur la g n se des glauconies et leur signification sédimentologique d'après l'étude détaillée du Mont-Cassel (Nord). - C.R. Acad. Sci., 272, 697-699.
- ODIN G.S., LAMBOY M. (1975) : Sur la glauconitisation d'un support carbonaté d'origine organique : les débris d'Echinodermes du plateau continental nord-espagnol. - Bull. Soc. Géol. Fr., (7), XVII/1.
- OSGOOD JR. R.C. (1975) : The paleontological significance of trace fossils. In : FREY R.W. (Ed.) : The study of trace fossils, (p. 87-108). - Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New-York.
- PALAIN C. (1975) : Une série détritique terrigène. Les "Gr s de Silves" : Trias et Lias inférieur du Portugal. Thèse de doctorat d'Etat, Université de Nancy 1, 503 p.
- PARFENOFF A., POMEROL C., TOURENO J., (1970) : Les minéraux en grains. - Masson et Cie, Paris.
- PASSEGA R. (1957) : Texture as characteristic of clastic deposition. - Bull. amer. Assoc. Petroleum Geol., 41, 1952-1984.
- * POMEROL C. (1974) : Le Bassin de Paris. In : DEBELMAS J. (Ed.) : Géologie de la France, vol. 1. - Doin, Paris.
- * POMEROL C. (1975) : Stratigraphie et paléogéographie. Ere M sozo ique. - Doin, Paris.
- * POIJOL P. (1961) : La série liasique du Bassin de Paris. Essais de corrélations entre les sondages de la Régie Autonome des Pétroles. In : Colloque sur le Lias français, (p. 577-604). - Technip, Paris.

- RAISWELL R. (1971) : The growth of Cambrian and Liassic concretions.
- Sedimentology, 17, 147-171.
- RAT P. (1969) : Esprit et démarche de la paléogéographie. Exemples dans le Bassin Parisien. - Bull. Soc. Géol. Fr., (7), XI/1, 5-12.
- REINECK H.E. (1975) : German North-Sea Tidal flats. *In* : GINSBURG R.N. (Ed.) : Tidal deposits, (p. 5-12). - Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New-York.
- REINECK H.E., SINGH I.B. (1972) : Genesis of laminated sand and graded rhythmites in storm-sand layers of shelf-mind. - Sedimentology, 18/1, 123-128.
- REINECK H.E., SINGH I.B. (1973) : Depositional sedimentary environments (with reference to terrigenous clastics). - Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New-York.
- RHOADS D.C. (1967) : Biogenic reworking of intertidal and subtidal sediments in Barnstable Harbor and Buzzards Bay, Massachusetts. - J. Geol., 75, 461-476.
- RHOADS D.C. (1970) : Mass properties, stabilities and ecology of marine muds related to burrowing activity. *In* : CRIMES T.P., HARPER J.C. (Ed.) : Trace fossils, geol. J., Spec. Issue, 3, (p. 391-406). - Seel House Press, Liverpool.
- RHOADS D.C. (1975) : The paleoecological and environmental significance of trace fossils. *In* : FREY R.W. (Ed.) : The study of trace fossils. - Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New-York.
- RIGBY J.K., HAMBLIN W.K. (Ed.) (1972) : Recognition of ancient sedimentary environments. - Soc. Econ. Paleont. Mineral., Spec. Publ., 16.
- RIVIERE A. (1952) : Sur la représentation graphique de la granulométrie des sédiments meubles. *Interprétation des courbes et applications*. - Bull. Soc. Géol. Fr., (6), II, 145-154.
- RIVIERE A., PIMENTA J., DUBOUL-RAZAVET C., VERNHET S., FRIDMAN R. (1952) : Sur l'interprétation géologique de la granulométrie des sédiments argileux et argilo-vaseux. - C.R. Acad. Sci., Paris, 234, 2298-2300.
- RIVIERE A., SALLE C., VERNHET S. (1951) : Sur certaines anomalies granulométriques apparentes des roches argileuses et leur interprétation géologique. - C.R. Acad. Sci., Paris, 232, 1858-1860.
- RIVIERE A., VERNHET S. (1951) : Sur la sédimentation des minéraux argileux en milieu marin en présence de matières humiques. Conséquences géologiques. - C.R. Acad. Sci., 223, 807-808.
- ROGER J. (1974) : Paléontologie générale. - Masson et Cie, Paris.
- ROUILLER J., BURTIN G., SOUCHIER B. (1972) : La dispersion des sols dans l'analyse granulométrique. Méthode utilisant les résines échangeuses d'ions. - Bull. E.N.S.A.I.A. Nancy, XIV/2, 193-205.

- * RUGET C., SIGAL J. (1972) : Les Forammifères du sondage de Laneuveville-devant-Nancy. - Sci. de la Terre, XII/1-2, 34-69.
- * SAUPE F. (1967) : Etude pétrographique et géochimique du Lotharingien de la région type (Sondage de Laneuveville-devant-Nancy). In : Etude du Lotharingien de la région type. - Sci. de la Terre, XII/1-2, 97-144.
- SCAFE D.W., KUNZE G.W. (1971) : A clay mineral investigation of six cores from the Gulf of Mexico. - Marine Geol., 10, 69-85.
- * SCHIRARDIN J. (1923) : Sur une coupe du Lias moyen près de Metz. - Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., I/2, 117-125.
- SCOLARI G., LILLE R., GIOT D. (1973) : Nomenclature et classification des roches sédimentaires (Roches détritiques terrigènes et roches carbonatées). - Bull. B.R.G.M., (2), 2, 57-132.
- SEILACHER A. (1967) : Bathymetry of trace fossils. - Marine Geol., 5, 413-428.
- SELLWOOD B.W. (1970) : The relation of trace fossils to small sedimentary cycles in the British Lias. In : CRIMES T.P., HARPER J.C. (Ed.) : Trace fossils. - Geol. J., Special Issue, 3, (p. 489-504). - Seel House Press, Liverpool.
- SHEPARD F.P. (1954) : Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. - J. Sediment-Petrol., 24/3, 151-158.
- SHEPARD F.P., MOORE D.G. (1955) : Central Texas coast sedimentation : characteristics of sedimentary environment, recent history and diagenesis. - Bull. amer. Assoc. Petroleum Geol., 39/8, 1463-1593.
- SERRA J. (1968) : Morphologie mathématique et génèse des concrétions carbonatées des minerais de fer de Lorraine. - Sedimentology, 10, 183-208.
- * SERRA O. (1971) : Apports des sondages pétroliers à la connaissance du Lias du Bassin de Paris. In : Colloque du Jurassique, Luxembourg, 1967. Mém. B.R.G.M., 75, 481-487.
- * SIMON V. (1836-1837) : Mémoire sur le Lias du département de la Moselle. - Mém. Acad. Metz.
- SIMPSON S. (1975) : Classification of trace fossils. In : FREY R.W. (Ed.) : The study of trace fossils, (p. 39-54). - Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New-York.
- STEINMETZ E. (1937) : Essai de systématisation de l'analyse qualitative microchimique. - Société d'Impressions Typographiques, Nancy.
- * TERQUEM O., BERTHELIN G. (1875) : Etude microscopique des marnes du Lias moyen d'Essey-Les-Nancy (zone inférieure de l'assise à A. margaritatus). - Mém. Soc. Géol. Fr., (2), X.

- TERWINDT J.H.J. (1975) : Sequences in Inshore subtidal deposits. *In* : GINSBURG R.N. (Ed.) : Tidal deposits, (p. 85-89). - Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New-York.
- * THEOBALD N. (1954) : Evolution du Nord-Est de la France, en particulier du Fossé Rhénan depuis les temps secondaires, en relation avec ses possibilités pétrolières. - Ann. Sci. Univ. Besançon, (2), 1, 3-34.
- * THEOBALD N. (1956) : Structure géologique de la dépression liasique sur la rive Est de la Moselle, entre Thionville et Metz (feuille d'Uckange au 50 000°). - Bull. Carte Géol. Fr., LIV/250, 11 p.
- * THEOBALD N. (1957) : Observations géologiques sur la feuille d'Uckange au 50 000°. - Bull. Carte Géol. Fr., LV/252, 33-49.
- * THEOBALD N. (1960) : La dépression liasique des feuilles au 50 000° de Vesoul et Lure. - Bull. Carte Géol. Fr., LVII/261, 43-48.
- * THEOBALD N., GAMA A. (1969) : Stratigraphie. Eléments de géologie historique. - Doin, Paris.
- * THEOBALD N., HEINTZ E. (1955) : Recherches géologiques sur le Lias inférieur des environs de Thionville. - Bull. Soc. Hist. Nat. Moselle, Metz, 37, 13-28.
- * THEOBALD N., MAUBEUGE P.L. (1949) : Paléogéographie du Jurassique inférieur et moyen dans le Nord-Est de la France et le Sud-Ouest de l'Allemagne. - Ber. Naturforsch. Ges. Freiburg Breisgau, 39, 249-320.
- * THIEBAULT L. (1925) : Contribution à l'étude des sédiments argilo-calcaires du Bassin de Paris. - Thèse Fac. Sci. Nancy, 170 p.
- THIRY M. (1974) : Techniques de préparation des minéraux argileux en vue de l'analyse aux rayons X. - Centre de Sédimentologie et Géochimie de la surface, Strasbourg, 25 p.
- THOREZ J., BOURGUIGNON P. (1973) : Minéraux argileux de dissolution des calcaires dinantiens en Condroz. - Ann. Soc. Géol. Belg., 96, 59-85.
- THOREZ J., Van LECKWIJCK W. (1967) : Les minéraux argileux et leurs altérations dans le Namurien inférieur de Belgique. - Ann. Soc. Géol. Belg., 90/4, 329-380.
- TRAUTH N., LUCAS J., SOMMER F. (1968) : Etude des minéraux du Paléogène des sondages de Chaignes, Montjavoult, le Tillet et Ludes (Bassin de Paris). *In* : Colloque sur l'Eocène, II, (p. 53-76). - Mém. B.R.G.M., 59.
- VANDENBERGHE N. (1975) : An evaluation of C.M. patterns for grain-size studies of fine grained sediments. - Sedimentology, 22/4, 615-622.

- Van OLPHEN H. (1965) : An introduction to clay colloïd chemistry.
- Interscience Publ.
- VENKATARATHNAM K., RYAN W.B.F. (1971) : Dispersal patterns of clay minerals in the sediments of the Eastern Mediterranean Sea. - Marine Geol., 11, 261-282.
- WATERLOT G., BEUGNIES A., BONTE A., CHARLET J.M., CORSIN P. (1973) : Ardenne. In : Guide géologique régionale Ardenne-Luxembourg. - Masson et Cie, Paris.
- WEAVER C.E. (1958) : Geologic interpretation of argillaceous sediments. Part. 1. Origin and significance of clay minerals in sedimentary rocks. - Bull. Am. Assoc. Petroleum Geol., 42/2, 254-271.
- WIEDER M., YAALON D.H. (1974) : Effect of matrix composition on carbonate nodule crystallisation. - Geoderma, 11, 95-121.
- WOBBER F.J. (1965) : Sedimentology of the Lias (Lower Jurassic) of South Wales. - J. Sediment. Petrol., 35/3, 683-703.
- WOBBER F.J. (1968) : A faunal analysis of the Lias (Lower Jurassic) of South Wales (Great Britain). - Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol., 5, 269.
- DAHANAYAKE K., CHAMPETIER Y., HILLY J. (1976) : Oncolithes et pseudoncolithes : relation entre la disposition séquentielle et la participation de Bacinella irregularis RADOIČIĆ aux structures oncolithiques. - Bull. Soc. géol., France, (7), XVIII/6, 1665-1669.
- POUSTOVALOV L.V. (1954) : Etat actuel de la sédimentation. In : C.R. XIXème Session Congrès géol.- Alger 1952, Sect. XIII, fasc. XIII, traduction n° II2I (Muséum C.E.D.P.), 171-192.

P L A N C H E S P H O T O G R A P H I Q U E S

PLANCHE A

- Photographie 1 *"Argiles à Amalthées" auct.* Argilite silteuse.
Carrière de Jeandelaincourt. Unité 2b.
- Débit en plaquettes polyédriques sur affleurement
soumis suffisamment longtemps à l'altération
météorique. Sur affleurement frais, cette "structure"
n'apparaît pas.
- Photographie 2 *"Argiles à Amalthées" auct.* Partie du lit noduleux 1c.
Carrière de Jeandelaincourt.
- a) Partie inférieure riche en articles d'Encrines
(nettement dominants) associés à des valves de
Lamellibranches et de Brachiopodes.
 - b) Calcaire argileux micritique.



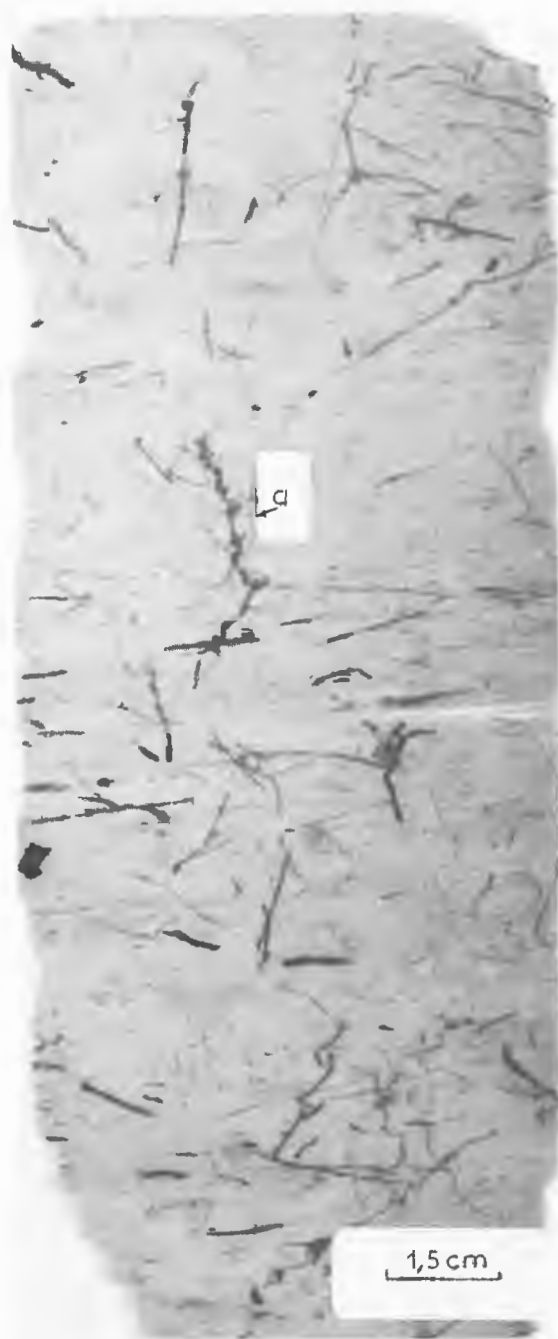
1



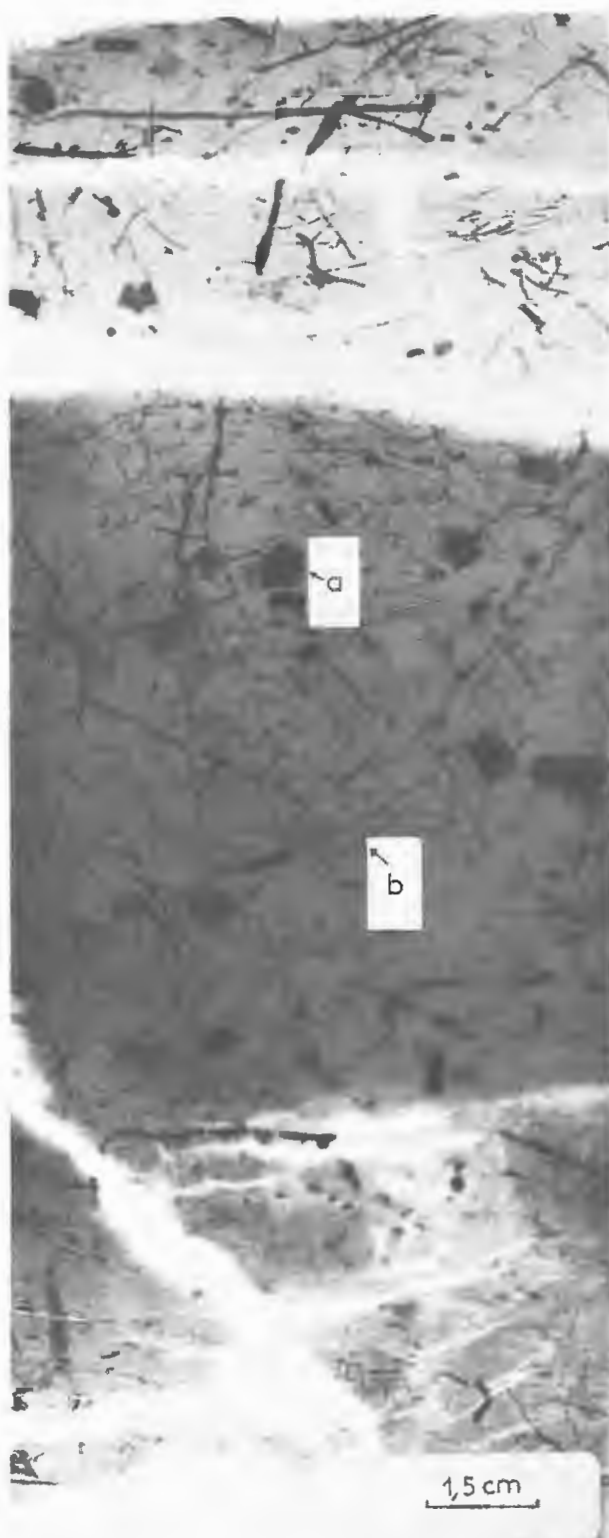
2

PLANCHE B

- Photographie 3 *"Argiles à Amalthées" auct.* Argilite silteuse.
Radiographie. Sondage BONS 1, 25,20 m - 25,38 m.
a) Bioturbation peu différenciée constituée de fins terriers pyriteux bifurqués et contournés.
- Photographie 4 *"Argiles à Amalthées" auct.* Argilite silteuse.
Radiographie. Sondage BONS 1, 9,30 m - 9,50 m.
a) Columnales d'Encrines.
b) Fins terriers pyriteux.



3



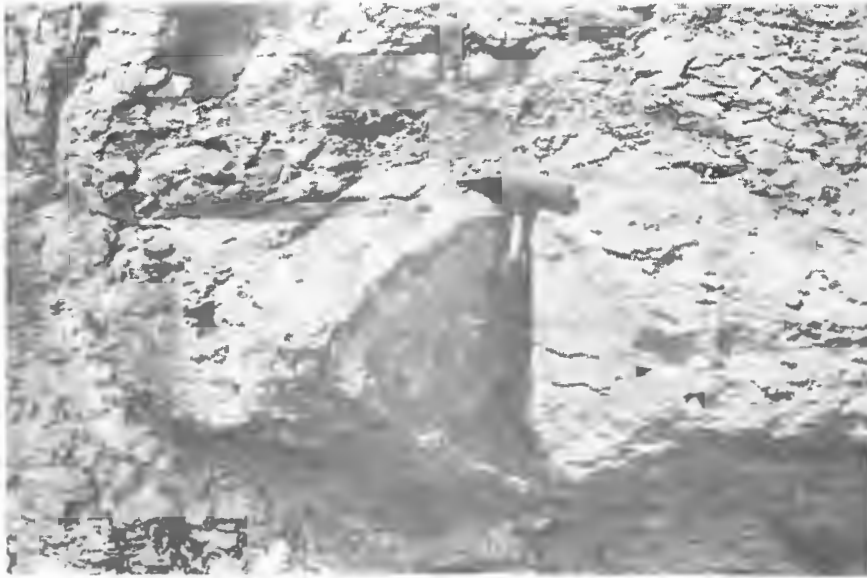
4

PLANCHE C

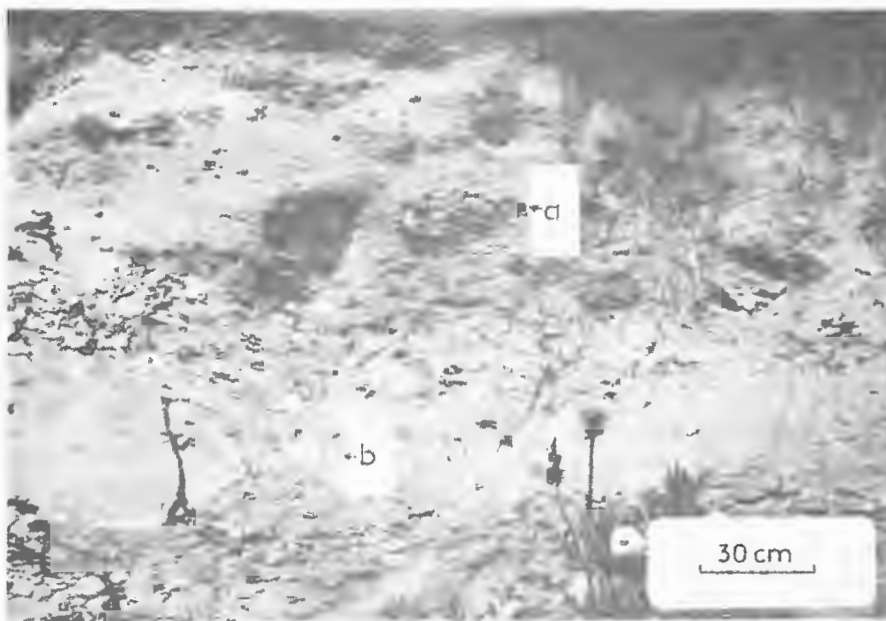
Photographie 5 "*Grès médioliasiques*" *auct.* Carrière de Jeandelaincourt.
Banc nodulaire GM 12 de marne silteuse.

Photographie 6 "*Grès médioliasiques*" *auct.* Carrière de Jeandelaincourt.
a) Accumulation nodulaire de fossiles péломorphosés
 (unité GM 2 à GM 9).
b) Banc nodulaire GM 12 de marne silteuse.

Photographie 7 "*Grès médioliasiques*" *auct.* Carrière de Jeandelaincourt.
a) Accumulation de valves de bioclastes et rostrés
 de Bélemnites soulignant une structure sédimentaire
 à concavité dirigée vers le haut (fond de
 mégaride ?). L'analyse granulométrique montre que
 la granulométrie est un peu plus grossière en a₁
 qu' en a₂.
b) Nodule phosphaté ovoïde.



5



6



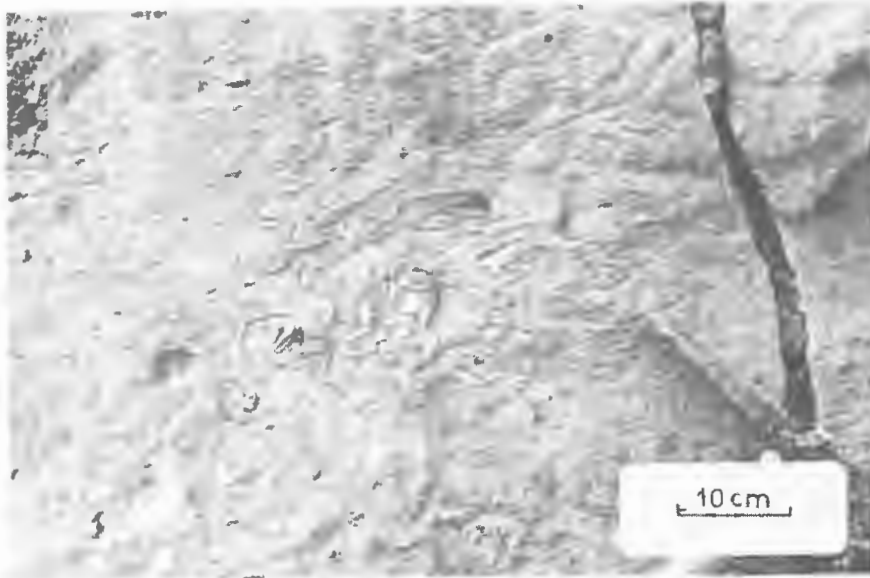
7

PLANCHE D

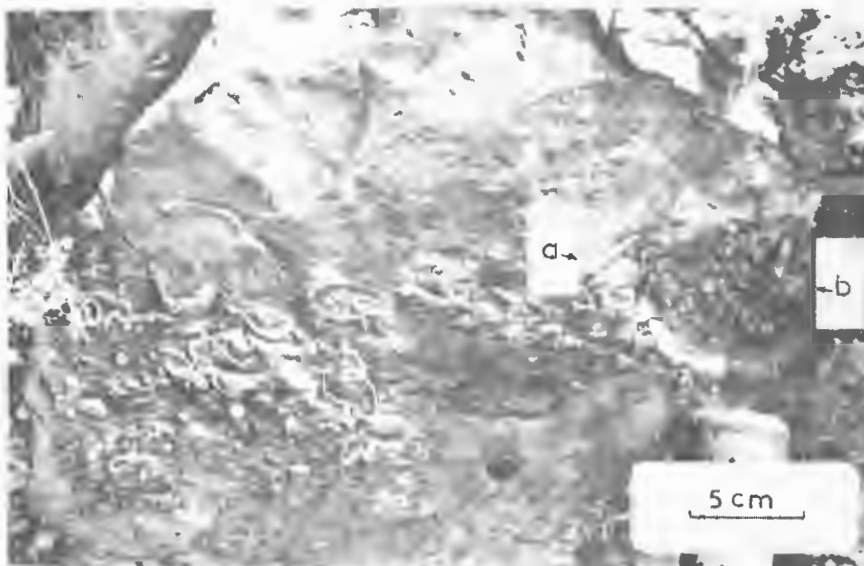
Photographie 8 *"Grès médioliasiques" auct.* Carrière de Jeandelaincourt.
Accumulation grossièrement ovoïdes de valves
(surtout de Lamellibranches) dans le banc GM 12.
Les plus grands semblent se placer préférentiellement
à la partie supérieure.

Photographie 9 *"Grès médioliasiques" auct.* Carrière de Jeandelaincourt.
Nodule de l'unité GM 1.
Accumulation grossièrement lingoïde de valves de
Lamellibranches et de coquilles de Brachiopodes.
Des entroques sont également présentes.
Les plus grandes valves ou les plus grands bioclastes
se placent plutôt à la partie supérieure.
a) Radiole d'Oursin.
b) Nodule limoniteux pris dans le nodule carbonaté.

Photographie 10 *"Grès médioliasiques" auct.* Carrière de Jeandelaincourt.
Nodule de l'unité GM 1.
Accumulation de coquilles de Brachiopodes.



8



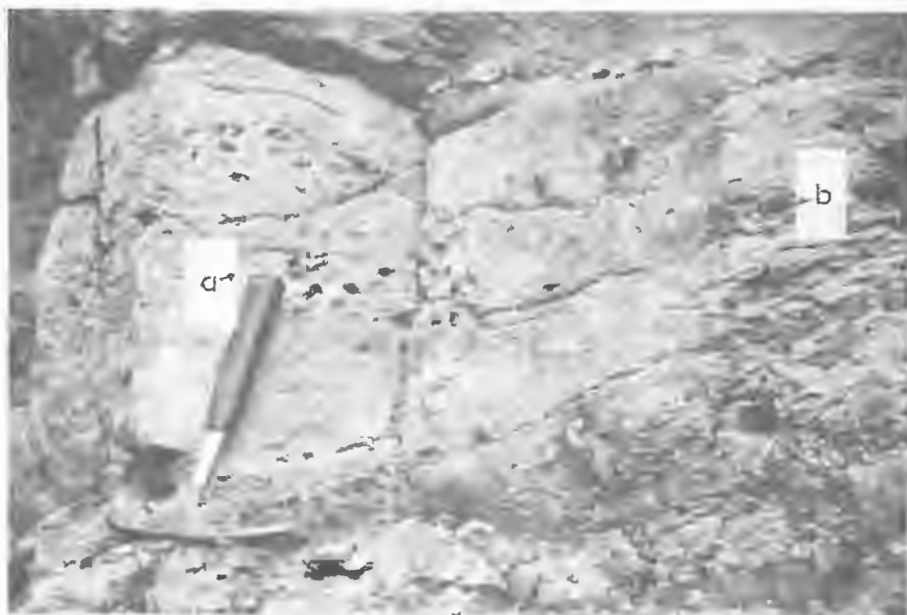
9



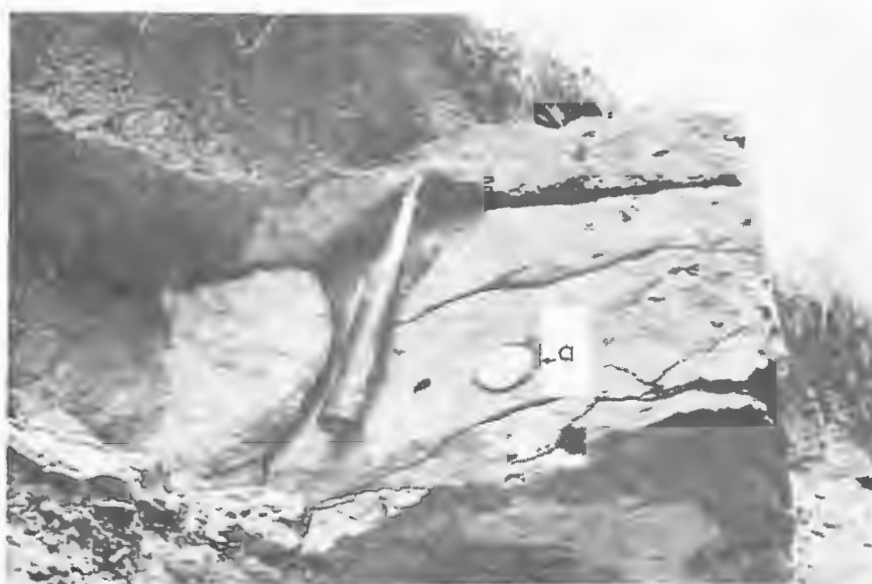
10

PLANCHE E

- Photographie 11 *"Grès médioliasiques" auct.* Carrière de Jeandelaincourt.
Nodule de l'unité GM 1.
- a) Accumulation de coquilles de Brachiopodes.
 - b) Litage plus ou moins souligné par des bioclastes ou valves péломorphosées.
- Photographie 12 *"Grès médioliasiques" auct.* Carrière de Jeandelaincourt.
Nodule de l'unité GM 1.
- Nodule ovoïde phosphaté pris dans le nodule de marne silteuse.



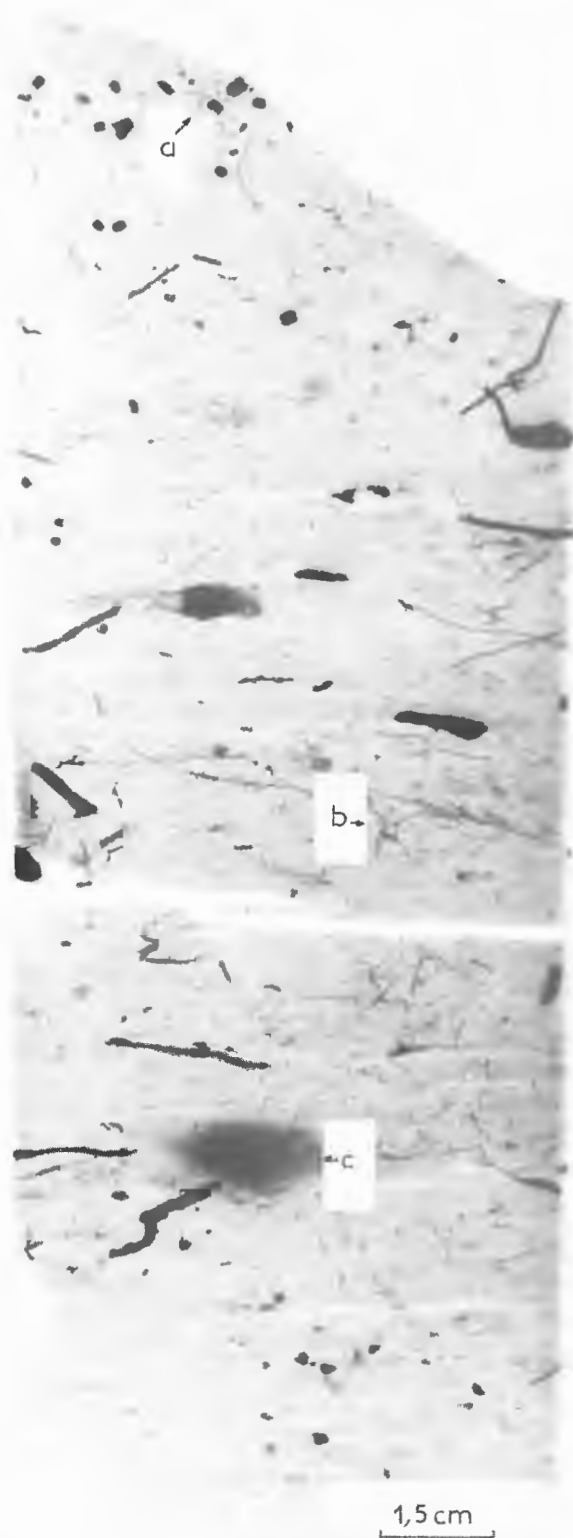
11



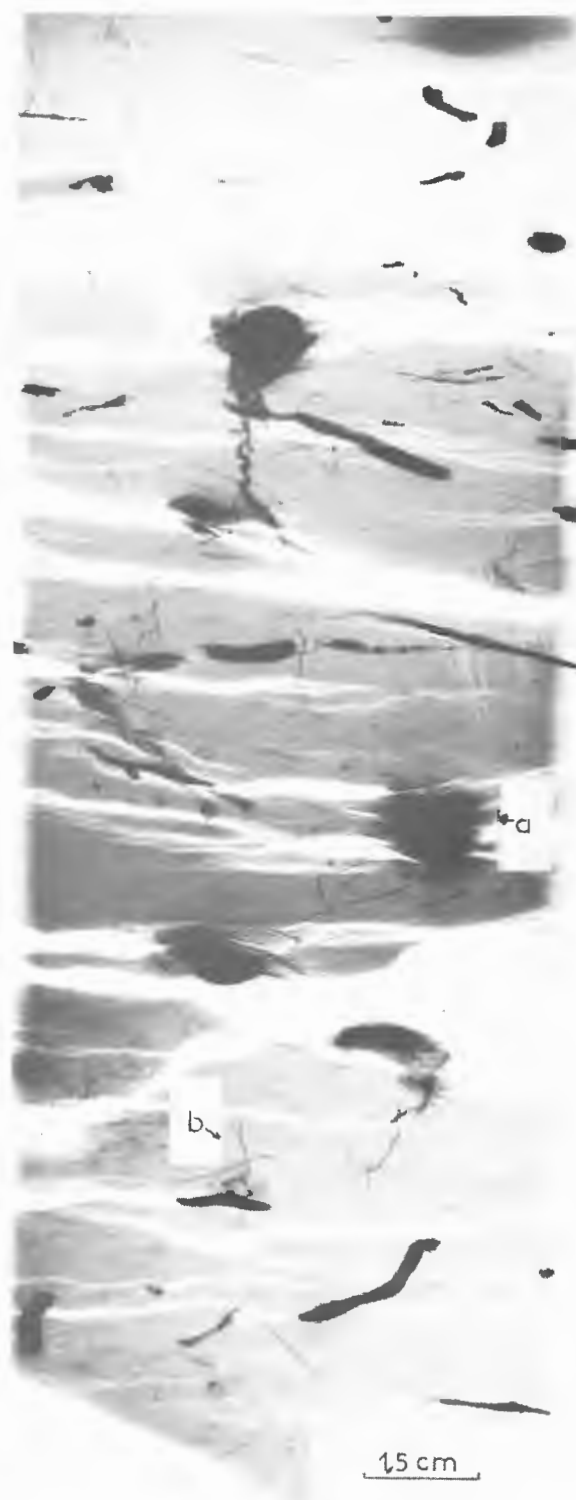
12

PLANCHE F

- Photographie 13 "*Grès médioliasiques*" *auct.* Silto-argilite calcaire.
Radiographie. Sondage LUDR 1, 18,64 m - 18,85 m.
- a) Articles d'Encrines non en connection anatomique
 - b) Fins terriers pyriteux.
 - c) Terrier type *Planolites*.
- Photographie 14 "*Grès médioliasiques*" *auct.* Siltite argileuse
calcaire. Radiographie. Sondage LUDR 1, 15,67 m -
15,88 m.
- a) Terrier type *Planolites*.
 - b) Fins terriers pyriteux peu abondants.
Fissuration très peu développée plus ou moins
parallèle au litage (influence des micas).



13



14

PLANCHE G

Photographie 15

"Grès médioliasiques" *auct.* Siltite marneuse et siltite argileuse calcaire. Radiographie. Sondage LUDR 1, 14,76 m - 15,02 m.

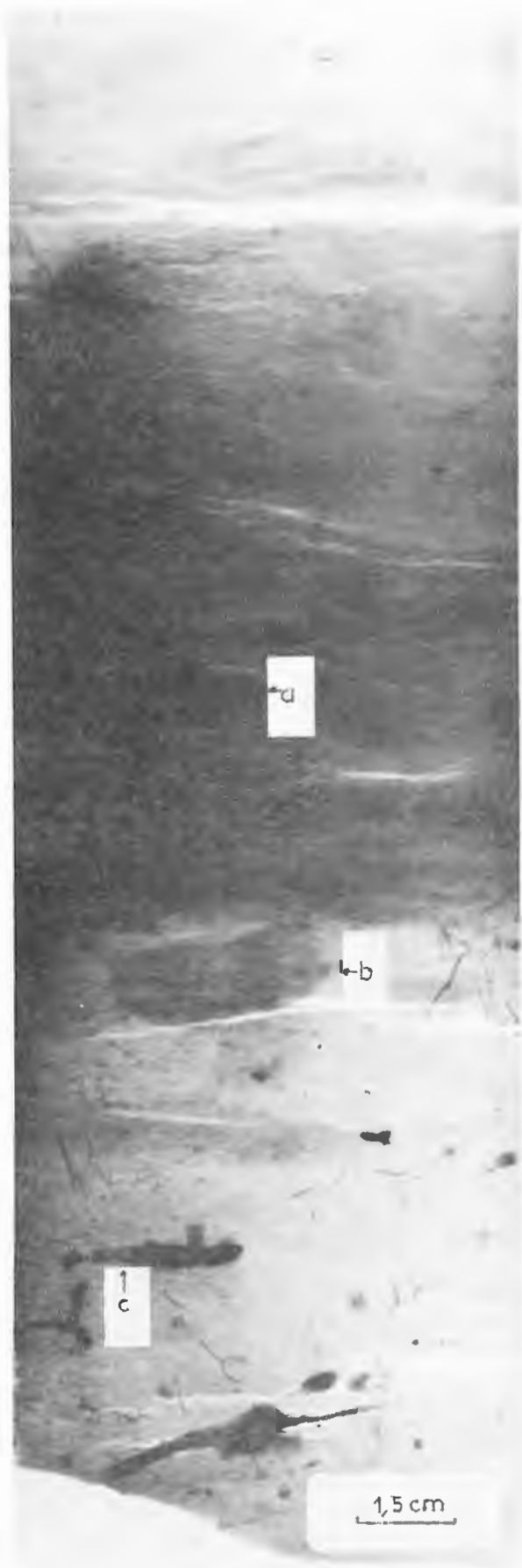
Le faciès siltite marneuse (partie foncée) débute brusquement au-dessus du faciès siltite argileuse calcaire (partie claire) mais repasse progressivement à celui-ci (sommet du cliché).

- a) Taches noires diffuses en observation macroscopique (Terrier type *Planolites* ?).
- b) Figure de bioturbation à la base du faciès siltite marneuse. A droite du cliché, de fins terriers pyriteux passent d'un faciès à l'autre.
- c) Fragment de tige d'Encrines.

Photographie 16

"Grès médioliasiques" *auct.* Siltite argileuse très calcaire. Radiographie. Sondage LUDR 1, 11,20 m - 11,36 m.

- a) Bioturbation donnant en examen radiographique une structure "oeillée". Un **terrier** de type *Planolites* y est associé .
- b) Articles d'Encrines.



15



16

PLANCHE H

Photographies 17
et 18

"Grès médioliasiques" auct. Siltite argilo-
arénitique calcaire. Radiographies. Sondage LUDR 1,
6,23 m - 6,38 m, 6,54 m - 6,70 m.

- a) Amas pyriteux correspondant à des bioturbations.
Celles-ci semblent se localiser préférentiellement
à certains niveaux.

Photographie 19

Partie sommitale du sondage LUDR 1. Toarcien ?
Radiographie. Cotes 5,74 m - 5,82 m.

La densité optique du cliché traduit l'abondance
des bioclastes et de la pyrite. Celle-ci correspond
souvent à une bioturbation plus abondante.

- a) Terrier oblique.

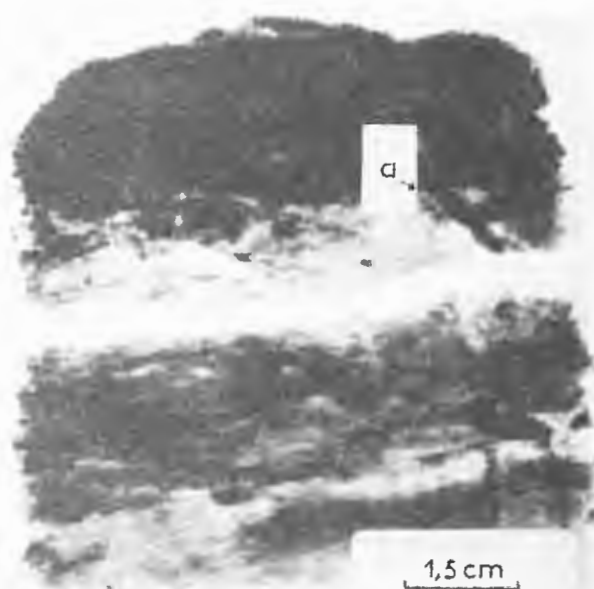
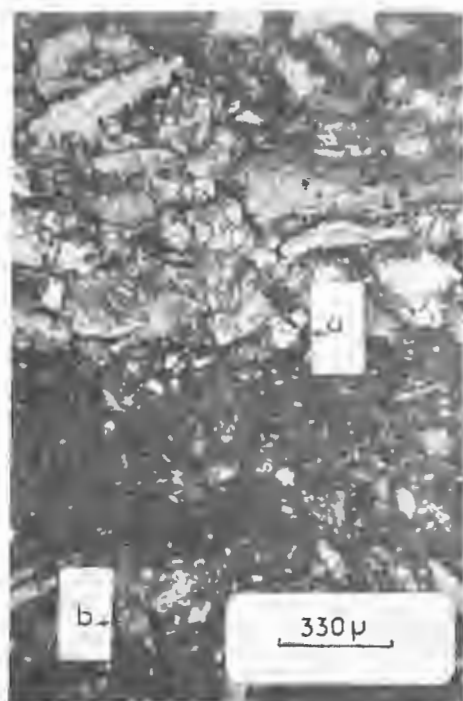


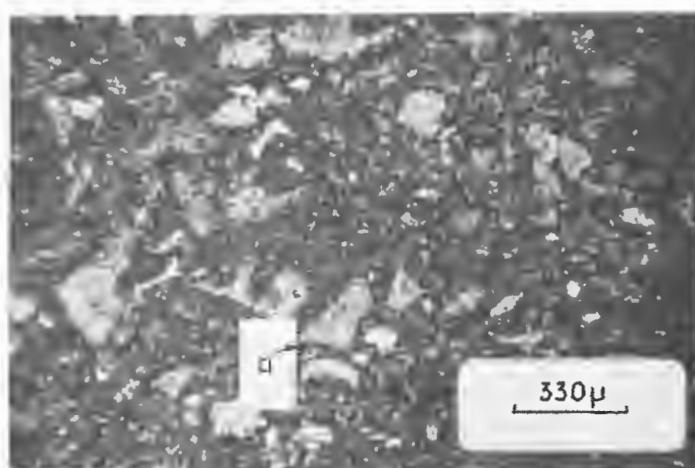
PLANCHE I

- Photographie 20 Carixien. Sondage BONS 2. Lamé 32₂. Lumière naturelle.
a) Contact biomicrospathite P - biomicrospathite W.
b) Biomicrospathite W. Un radiole d'Oursin est bien visible en regard de la flèche.
- Photographie 21 Carixien. Sondage BONS 2. Lamé 31. Lumière naturelle.
Biomicrospathite W.
Les fragments d'Encrine forment la partie dominante des allochèmes (a).
- Photographie 22 Carixien. Sondage BONS 2. Lamé 32₃. Lumière naturelle.
Biomicrospathite Wa.
Le microfaciès est peu différent du précédent. Il en diffère surtout par une teneur en argile un peu plus élevée.
- Photographie 23 Carixien. Sondage BONS 2. Lamé 28₁. Lumière naturelle.
Marne à bioclastes.
Le fond de la lame est particulièrement foncé. Les fragments d'organismes (a) sont abondants.
- Photographie 24 "*Argiles à Amalthées*" auct. Sondage BONS 2. Lamé 24.
Lumière polarisée analysée.
Argilite silteuse.
Quelques quartz de la taille des silts (a) et un peu de micas (b) parsèment le fond argileux de la lame.
- Photographie 25 "*Argiles à Amalthées*" auct. Carrière de Jeandelaincourt.
Lamé 2-1. Lumière naturelle.
Argilite silteuse calcaire.
Le microfaciès est peu différent du précédent mais néanmoins un peu plus riche en quartz a), et bioclastes b).

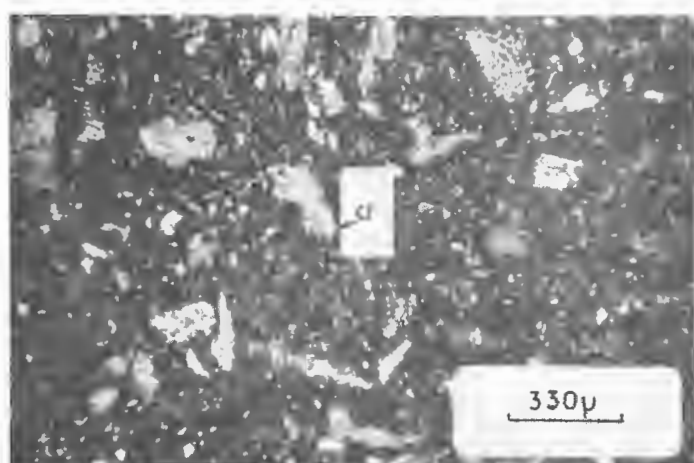
PLANCHE I



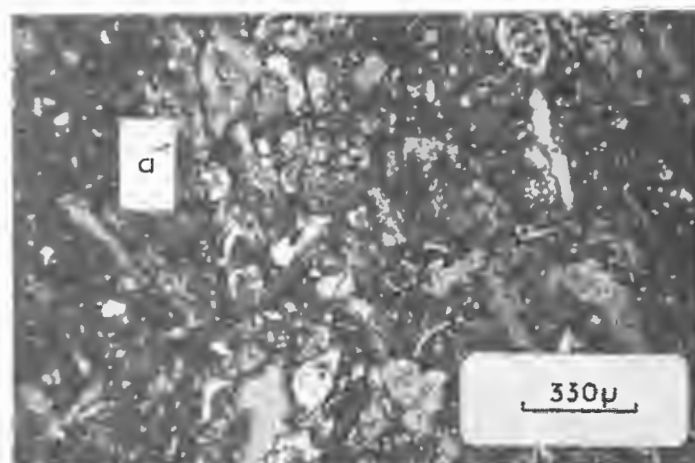
20



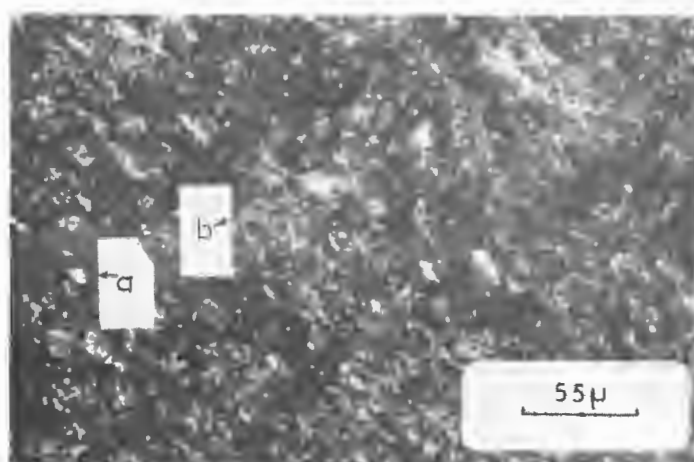
21



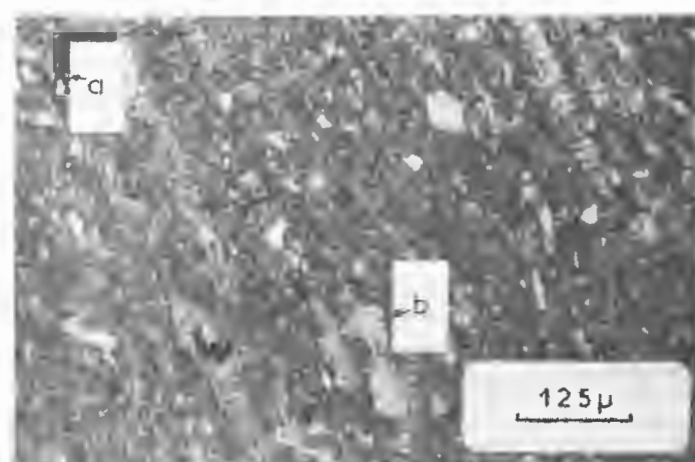
22



23



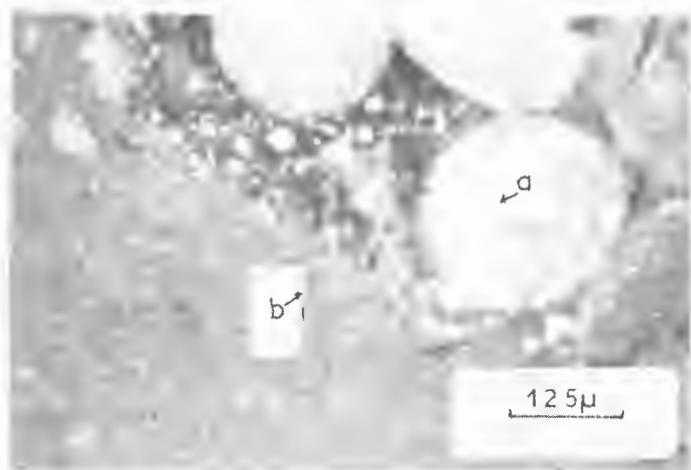
24



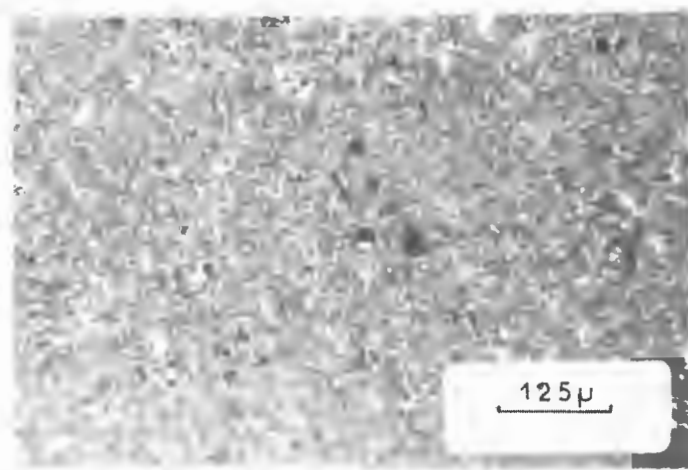
25

PLANCHE J

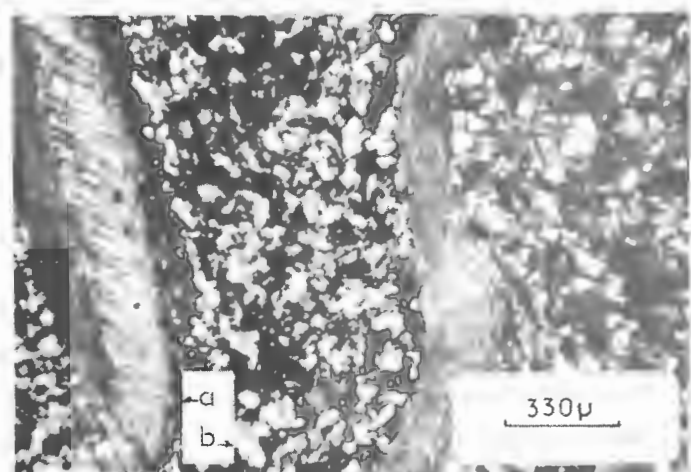
- Photographie 26 *"Argiles à Amalthées" auct.* Carrière de Jeandelaincourt.
Lame JEAN nod 1c₂. Lumière naturelle.
Nodule ovoïde calcaire 1c₂. Ce nodule est constitué principalement par de la calcite micritique.
a) Boulette fécale dans un terrier.
b) "Halo" de déformation sur le pourtour du terrier.
- Photographie 27 *"Argiles à Amalthées" auct.* Carrière de Jeandelaincourt.
Lame JEAN nod 4b. Lumière naturelle.
Nodule mamelonné calcaire 4b à *Thalassinoides*.
Le constituant principal est un carbonate micritique parsemé de quelques quartz et micas de la taille des silts.
- Photographie 28 *"Grès médioliasiques" auct.* Sondage LUDR 1. Lame 26₁.
Lumière naturelle.
Siltite argilo-arénitique coquillière.
a) Fragments de valve de Lamellibranche (Pectinidés ?).
b) Quartz.
- Photographie 29 *"Grès médioliasiques" auct.* Sondage LUDR 1. Lame 16₄.
Lumière polarisée analysée.
Siltite argilo-arénitique calcaire.
a) Quartz.
b) Ciment microspathitique.
- Photographie 30 *"Grès médioliasiques" auct.* Sondage LUDR 1. Lame 18.
Lumière naturelle.
Calcaire silto-argileux.
a) Quartz.
b) Ciment constitué de pseudospathite et de microspathite.
- Photographie 31 *"Grès médioliasiques" auct.* Sondage LUDR 1. Lame 47.
Lumière polarisée analysée.
Marne silteuse.
a) Quartz.
b) Ciment microspathitique.



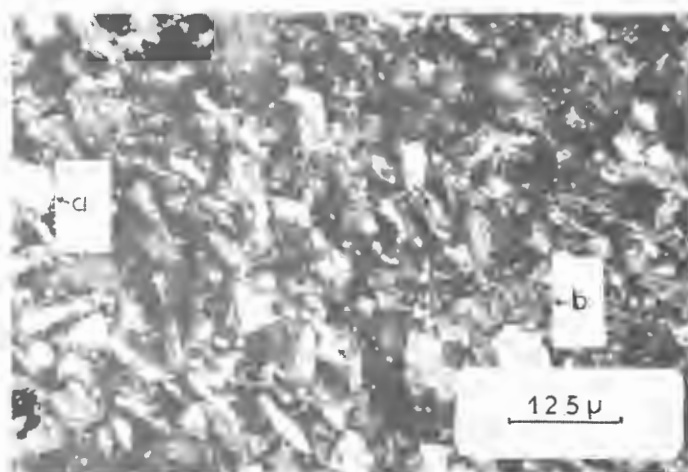
26



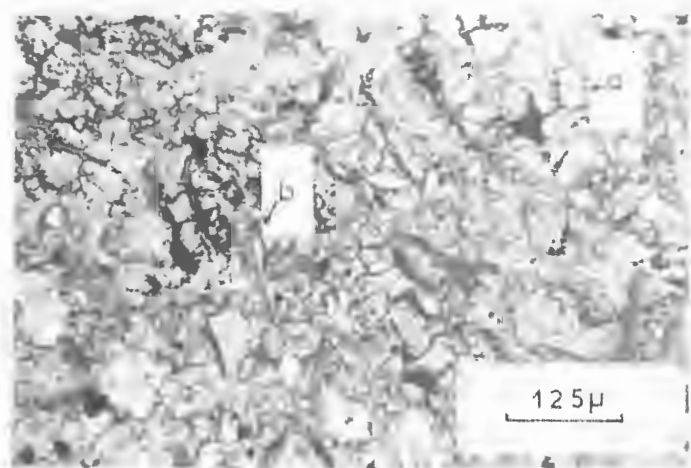
27



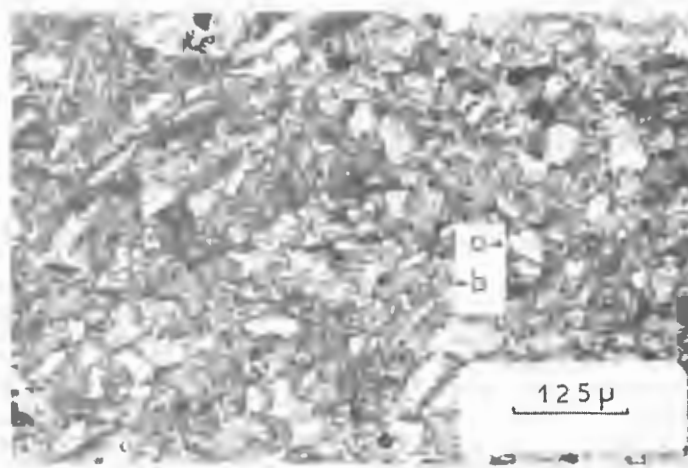
28



29



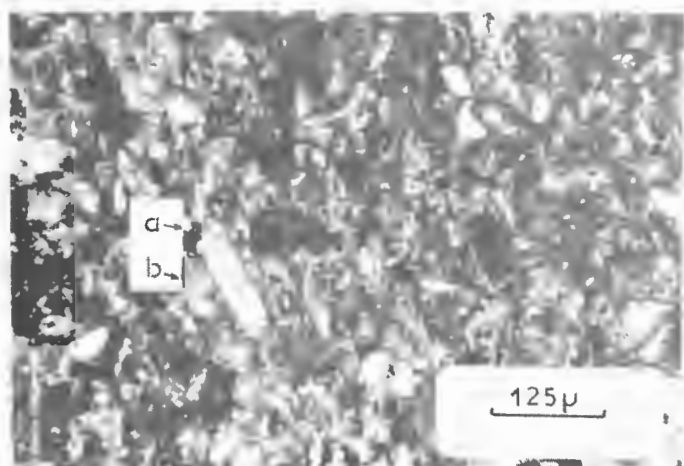
30



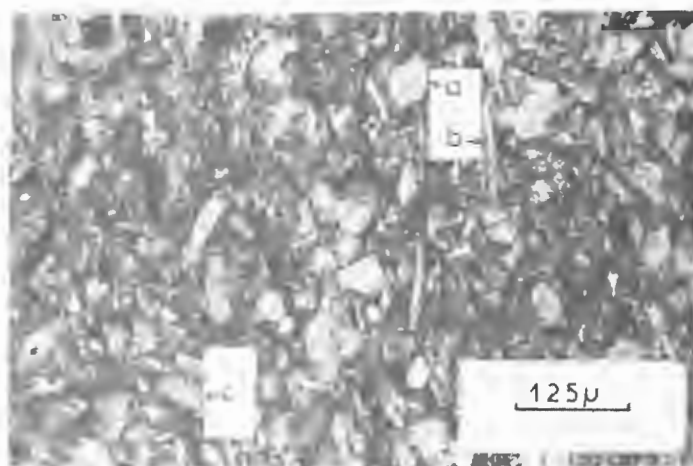
31

PLANCHE K

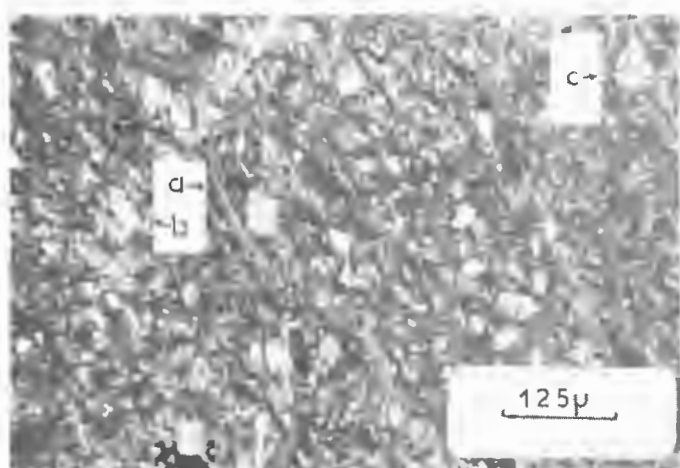
- Photographie 32 *"Grès médioliasiques" auct.* Sondage LUDR 1. Lamé LUDR 1 60. Lumière polarisée analysée.
Siltite marneuse.
Microfaciès peu différent du précédent mais toutefois moins carbonaté.
a) Bioclaste.
b) Quartz.
- Photographie 33 *"Grès médioliasiques" auct.* Sondage LUDR 1. Lamé LUDR 1 59₂. Lumière naturelle.
Siltite argileuse calcaire.
a) Quartz.
b) Mica.
c) Bioclaste.
- Photographie 34 *"Grès médioliasiques" auct.* Sondage LUDR 1. Lamé LUDR 1 74. Lumière naturelle.
Siltite-argilite calcaire.
a) Mica.
b) Quartz.
c) Bioclaste.
- Photographie 35 (Toarcien ?). Sondage LUDR 1. Lamé LUDR 1 12. Lumière polarisée analysée.
Biomicrospathite P.
a) Quartz.
b) Bioclaste.
- Photographie 36 *"Grès médioliasiques" auct.* Sondage LUDR 1. Lamé LUDR 1 48₁. Lumière naturelle.
Nodule ovoïde phosphaté.
a) Centre du nodule avec traces de bioturbation enrichies en phosphates.
b) Quartz.
- Photographie 37 *"Grès médioliasiques" auct.* Carrière de Jeandelaincourt.
Lamé JEAN nod 5G.
Nodule fossilifère phosphaté.
a) Localisation préférentielle du phosphate à l'intérieur d'une coquille.
b) Valve de Lamellibranche.
c) Quartz.



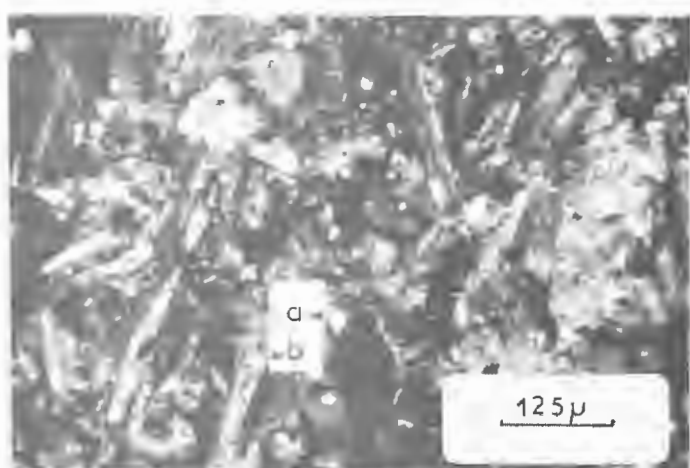
32



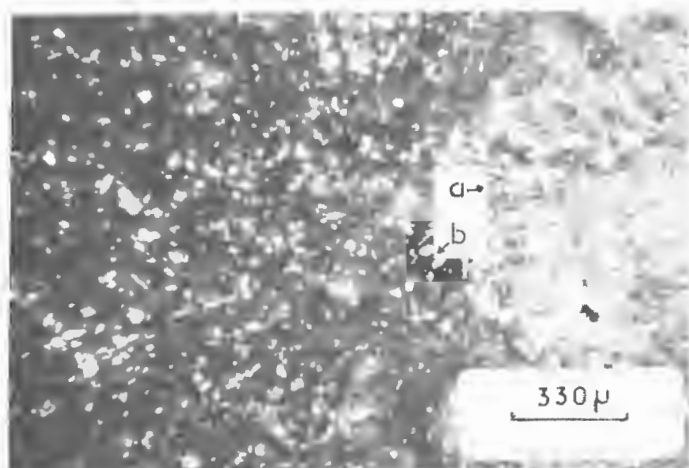
33



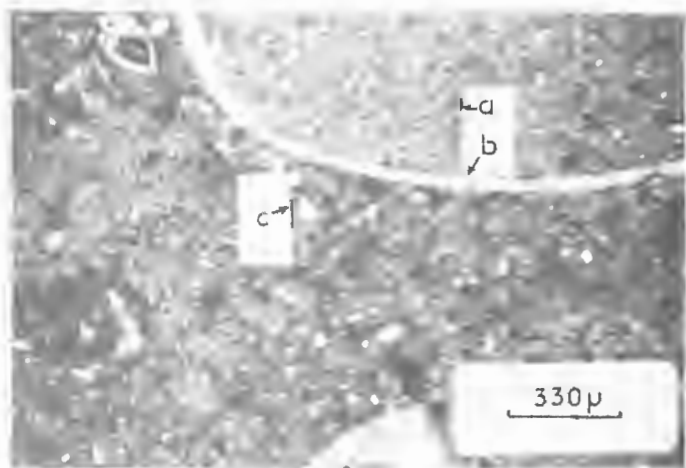
34



35



36



37

PLANCHE L

Photographie 38 "*Argiles à Amalthées*" auct. Carrière de Jeandelaincourt.
Nodule de la partie supérieure de l'unité 4b.

- a) Trace fossile de type *Thalassinoides* avec la dichotomie caractéristique.

Photographie 39 "*Argiles à Amalthées*" auct. Carrière de Jeandelaincourt.
Nodule de "l'horizon" 1g repris par une bioturbation de type *Chondrites* en surface.

Photographie 40 "*Argiles à Amalthées*" auct. Carrière de Jeandelaincourt.
Nodules de "l'horizon" 4e.

- a) Forme rappelant une trace fossile de type *Thalassinoides*. Petites perforations de lithophages.
- b) Lamellibranches (cf. *Ostrea*) fixés sur la face supérieure du nodule. Petites perforations de lithophages.
- c) Nombreuses perforations de lithophages (de grande et petite taille) et Lamellibranche fixé sur la face supérieure du nodule. (Des taraudages existent également, mais en moins grand nombre, sur la face inférieure).



38



39



40

A N N E X E

ANALYSES CHIMIQUES PAR FLUORESCENCE X

Sondage BONS 2

Cote	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ total	TiO ₂	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P. F.	TOTAL
28,21	49,07	19,03	6,05	0,92	5,51	2,84	0,05	2,58	0,88	12,75	99,68
28,64	48,89	18,80	5,92	0,91	5,64	2,73	0,05	2,56	0,88	13,03	99,41
28,80	46,95	17,91	5,93	0,87	7,90	2,89	0,04	2,50	0,87	14,06	99,92
29,00	47,91	17,89	6,49	0,90	7,01	2,62	0,05	2,54	0,85	13,30	99,56
29,50	47,05	18,11	6,18	0,89	7,70	2,71	0,04	2,49	0,85	13,86	99,88
31,30	48,24	19,64	7,65	0,94	3,38	2,79	0,05	2,73	0,87	12,36	98,65
31,45	49,71	18,93	7,19	0,91	2,81	2,57	0,05	2,73	0,88	11,58	97,36
32,08	45,10	17,39	6,23	0,80	8,84	3,06	0,05	2,53	0,85	14,57	99,42
32,26	31,12	13,05	4,98	0,57	21,54	3,01	0,14	1,95	0,61	21,97	98,94
32,47	27,88	11,28	5,24	0,51	23,92	2,91	0,13	1,76	0,51	25,51	99,75
32,59	13,20	5,52	3,10	0,24	39,98	1,87	0,08	0,81	0,35	34,71	99,86
32,67	10,47	4,01	2,46	0,20	43,22	1,45	0,07	0,71	0,26	36,74	99,59
32,97	18,91	8,10	4,40	0,41	33,27	1,73	0,21	1,53	0,48	30,80	99,84
33,15	11,85	5,01	2,83	0,21	41,40	1,89	0,06	0,86	0,25	35,68	100,04
33,49	12,03	4,29	3,22	0,20	40,10	2,61	0,10	0,75	0,28	36,30	99,88
33,51	16,00	5,83	4,07	0,27	35,31	2,71	0,13	0,99	0,37	34,42	100,10
33,83	13,98	5,09	3,65	0,23	38,28	2,20	0,13	0,92	0,31	34,87	99,66
34,02	19,83	7,56	4,74	0,33	31,15	2,44	0,14	1,41	0,39	31,04	99,03
34,22	11,72	4,96	5,71	0,34	39,50	1,29	0,13	0,79	0,32	35,00	99,76
34,24	7,40	2,41	8,93	0,20	43,07	1,13	0,11	0,24	0,23	31,32	95,04
34,47	3,55	1,67	3,93	0,10	48,83	1,53	0,13	0,20	0,13	38,96	99,03
34,77	4,65	1,75	4,05	0,13	47,89	1,55	0,27	0,24	0,13	36,35	97,01
34,88	16,53	6,76	1,97	0,30	38,76	2,14	0,04	0,90	0,26	31,44	99,10

Sondage LUDR I

4,95	23,70	8,73	6,11	0,39	21,79	3,89	0,06	1,55	0,28	29,90	96,40
5,40	18,50	7,06	13,57	0,32	21,61	7,70	0,11	1,21	0,18	22,39	92,65
5,80	35,75	12,25	12,15	0,63	16,00	2,35	0,10	2,04	0,32	15,43	97,02
6,25	59,55	12,15	4,43	0,73	7,67	1,78	0,07	2,27	0,93	10,07	99,65
6,40	57,93	11,84	4,72	0,70	8,79	2,02	0,03	2,14	0,89	10,79	99,85
6,61	55,00	10,68	6,59	0,64	9,41	1,67	0,02	1,92	0,89	13,05	99,87
7,10	25,55	5,13	2,13	0,28	33,42	2,32	0,06	0,90	0,43	29,43	99,65
7,42	60,70	10,80	4,00	0,69	8,53	1,65	0,08	1,97	0,91	10,00	99,42
7,54	57,60	9,54	4,10	0,63	11,18	1,92	0,07	1,79	0,90	11,79	99,52
8,18	61,30	12,01	4,21	0,72	7,09	1,70	0,08	2,14	0,93	9,34	99,52
8,80	60,40	14,30	4,58	0,84	5,05	1,62	0,08	2,47	0,98	9,36	99,68
9,43	16,10	5,08	2,14	0,26	38,40	2,80	0,05	0,79	0,25	32,20	98,07
9,99	60,75	13,42	4,32	0,75	5,93	1,65	0,07	2,32	0,94	9,28	99,43
10,48	51,85	10,96	4,72	0,63	11,55	2,95	0,06	1,91	0,84	14,62	100,09
11,13	58,65	12,34	3,71	0,75	7,29	1,96	0,01	2,14	0,97	11,30	99,12
11,27	59,12	11,79	3,84	0,69	8,35	1,78	0,01	2,13	1,02	10,77	99,50
11,50	59,20	13,10	4,17	0,78	6,96	1,78	0,09	2,17	0,96	10,01	99,22
11,60	55,02	12,21	3,48	0,72	10,89	1,64	0,03	1,97	1,01	12,46	99,43
11,69	56,70	12,47	4,18	0,73	9,04	1,89	0,05	2,06	0,91	11,42	99,45
11,99	50,05	9,83	4,03	0,59	14,02	2,78	0,05	1,69	0,85	16,01	99,90
12,04	49,49	9,54	4,64	0,61	14,32	2,46	0,03	1,68	0,92	15,94	99,63
12,10	53,37	11,61	5,07	0,70	10,09	2,38	0,03	1,95	0,93	13,06	99,19
13,27	49,30	11,01	4,19	0,66	14,20	2,20	0,01	1,84	0,87	15,26	99,54
13,36	36,20	8,55	4,13	0,48	24,10	2,16	0,05	1,38	0,60	22,31	99,96
13,45	39,23	8,87	3,45	0,63	21,87	2,49	0,04	1,42	0,64	21,14	99,78
13,55	57,05	12,41	3,60	0,78	8,93	2,10	0,02	2,13	1,00	11,05	99,07

(suite Sondage LUDR I)

Cote	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ total	TiO ₂	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P.F.	TOTAL
13,60	58,61	13,69	3,99	0,96	6,22	2,41	0,05	2,21	0,95	10,83	99,83
13,92	57,80	15,10	5,00	0,84	5,11	2,25	0,07	2,39	0,82	10,43	99,81
14,14	56,80	15,35	5,04	0,85	5,60	2,42	0,07	2,38	0,80	10,52	99,83
14,72	53,90	14,38	4,76	0,70	8,18	2,10	0,08	2,27	0,87	12,09	99,33
14,88	42,75	10,32	3,30	0,59	19,45	2,18	0,05	1,71	0,66	19,21	100,22
15,22	56,00	15,64	4,97	0,87	5,72	2,23	0,06	2,41	0,85	10,74	99,49
15,37	52,95	15,76	6,50	0,84	5,92	2,38	0,06	2,43	0,73	11,93	99,50
15,88	55,65	15,12	4,98	0,85	6,36	2,12	0,08	2,34	0,82	10,69	99,01
16,07	53,81	13,86	4,89	0,81	8,69	2,11	0,02	2,20	0,84	12,06	99,29
16,23	42,49	11,36	4,40	0,65	16,86	2,97	0,03	1,72	0,66	18,74	99,88
16,43	55,25	14,86	5,20	0,84	6,71	2,20	0,05	2,29	0,92	11,02	99,34
16,90	51,60	12,55	4,43	0,71	11,35	2,30	0,06	2,03	0,81	13,75	99,59
17,83	50,25	12,20	4,87	0,71	12,38	2,31	0,07	1,98	0,77	14,48	100,02
17,95	50,00	13,61	4,68	0,80	10,73	2,58	0,02	2,05	0,77	14,80	100,04
18,15	52,20	14,00	4,99	0,81	9,66	2,18	0,06	2,15	0,89	13,01	99,94
18,75	51,03	16,48	6,20	0,91	6,04	2,29	0,08	2,42	0,75	13,23	99,43
19,08	53,45	18,41	5,98	0,94	3,29	2,39	0,08	2,71	0,81	11,09	99,15
19,70	53,10	18,83	6,05	0,95	3,29	2,45	0,08	2,70	0,87	11,13	99,45

Repère

Carrière de JEANDELAINCOURT

Ia	49,52	19,71	7,06	0,86	3,82	2,37	0,04	2,82	1,00	12,26	99,46
If	47,60	19,81	5,87	0,98	4,53	2,38	0,05	2,64	0,54	15,19	99,69
Ig	44,51	19,29	7,48	0,89	6,02	2,45	0,05	2,49	0,45	16,28	99,91
2a ₂	46,85	19,74	6,64	0,94	4,97	2,41	0,04	2,66	0,73	14,49	99,47
2b ²	45,93	21,03	6,21	0,98	5,56	2,47	0,05	2,58	0,54	14,10	99,45
3a ₂	50,91	21,66	6,03	1,02	1,24	2,49	0,05	2,79	0,58	12,75	99,52
3a ₄	50,45	21,49	6,60	1,03	1,36	2,38	0,05	2,80	0,54	13,18	99,88
3b ²	51,07	21,38	6,29	1,06	1,34	2,45	0,05	2,92	0,58	12,63	99,77
3c ²	50,92	21,50	6,40	1,06	1,41	2,51	0,05	2,94	0,60	12,54	99,93
3c ¹	51,35	20,89	6,52	1,04	1,39	2,52	0,05	2,87	0,66	12,56	99,85
4a ²	54,41	20,84	5,82	1,07	1,15	2,21	0,04	2,79	0,70	10,92	99,95
4b ²	50,59	19,69	7,80	1,01	3,03	2,44	0,04	2,66	0,62	12,24	100,12
4d ²	52,60	21,07	6,00	1,05	1,80	2,51	0,04	2,81	0,61	11,41	99,90
4e	50,77	18,75	8,48	0,97	3,05	2,33	0,04	2,60	0,60	12,28	99,87
4f	53,08	19,66	5,82	1,03	2,81	2,26	0,04	2,75	0,61	11,83	99,89
5a ^{I-I}	52,69	17,52	6,09	0,96	5,44	2,41	0,05	2,50	0,65	11,88	100,19
5a ^{I-2}	48,20	16,93	7,37	0,91	7,50	2,47	0,05	2,48	0,55	13,51	99,97
5a ³	53,65	15,67	5,42	0,86	7,24	2,28	0,03	2,35	0,64	11,76	99,90
5c ³	55,11	15,53	4,44	0,90	7,31	2,09	0,03	2,45	0,70	11,46	100,02
5d	39,66	11,51	4,92	0,61	18,66	2,43	0,06	1,71	0,49	19,46	99,51
5e	47,38	14,17	4,43	0,78	12,36	2,47	0,07	2,11	0,64	15,22	99,63
5h	53,80	16,29	5,10	0,91	6,09	2,37	0,05	2,47	0,79	11,60	99,47
5i	55,19	18,31	4,87	0,98	3,42	2,34	0,03	2,77	0,63	11,08	99,62
5j	56,10	16,97	4,49	0,93	4,68	2,26	0,05	2,55	0,75	10,78	99,56
5k	54,21	15,99	4,63	0,89	6,38	2,45	0,04	2,47	0,71	12,01	99,78
nod Ia	18,03	7,72	4,95	0,28	33,47	1,84	0,55	0,89	0,49	26,73	94,95
nod Ig	10,26	4,31	3,49	0,20	43,20	1,15	0,20	0,39	0,50	21,58	85,28
nod 3a ₂	12,34	4,68	37,54	0,23	5,81	5,70	0,46	0,61	0,20	28,92	96,49
nod 4b ²	14,00	5,67	2,78	0,27	40,26	1,01	0,43	0,63	0,22	34,14	99,41
nod 5a ₃	15,10	5,72	5,82	0,24	40,03	1,76	0,04	0,63	0,79	13,90	84,03
nod 5f ³	15,10	5,98	2,44	0,27	40,88	1,69	0,03	0,71	0,91	11,73	79,74
nod >I	24,65	4,13	53,67	0,24	0,62	1,41	0,05	0,70	0,27	13,66	99,40

PLANCHES HORS TEXTE

LITHOLOGIE

A) Types de roches

	Calcaire à oolites + ferrugineuses et bioclastes		Concentration de valves
	Calcaire argileux		Calcaire silto-argileux
	Marne B		Marne silteuse
	Marne A		Siltite marneuse
	Argilite silteuse calcaire		Siltite argilo-arénitique calcaire
	Argilite silteuse		Siltite argileuse calcaire
			Silto-argilite calcaire

B) Eléments figurés carbonatés et éléments minéraux non carbonatés

////	Petits bioclastes ou très fines coquilles	Fe	Imprégnation ferrugineuse
★	Articles d'Encrines	x	Glauconie
n	Bivalves	◇ P, P	Phosphate en imprégnation, en nou.
⚓	Rostres de Bélemnite nombreux	.	Pyrite
⑥	Ammonite	⊙	Sphérule pyriteuse à auréole rouille

STRUCTURES SEDIMENTAIRES

Structures d'origine physique et traces d'activité organique

	Microrides		Les numéros correspondent aux types de bioturbation décrits ci-après.
	Microlaminations		Les types 8-9 d'allure non caractéristique en section, et 10, très petits, ne sont pas figurés.
	Limite de couche ou de lit a) nette ; b) peu nette		Structure "cone in cone"

Colonne : Abondance de la bioturbation

PA Peu abondante
A Abondante

MA Moyennement abondante
TA Très abondante

└ Arrêt brutal

| Passage progressif

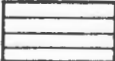
Colonne : Type de bioturbation

Les pistes ont été en principe figurées telles qu'elles se présentent en section sur les carottes de sondage. Seules les bioturbations correspondant aux colonnes 3, 4 et 5 sont schématisées.

- Colonne 1 Grands terriers verticaux
- Colonne 2 Grands terriers obliques (sans nom)
- Colonne 3 Type dont les sections verticales sont en forme de flammèches ou de parenthèses horizontales parfois $\pm$ convolutées (sans nom)
- Colonne 4 Petits Chondrites $\leq 0,5$ mm
- Colonne 5 Grands Chondrites ≥ 1 mm
- Colonne 6 Planolites
- Colonne 7 Taches noires $\pm$ diffuses (sans nom)
- Colonne 8 Type Rhizocorallium ?
- Colonne 9 Type Thalassinoides ?
- Colonne 10 Tubes pyriteux très fins (< 1 mm ϕ) $\pm$ contournés et bifurqués

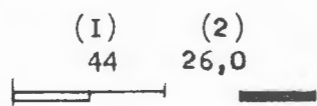
-  Abondant
-  Moyennement abondant
-  Peu abondant

DEBIT

-  Pas de débit en feuillets $\pm$ parallèles possible
-  Débit en feuillets $\pm$ parallèles possible
-  Débit en feuillets $\pm$ parallèles facile

ANALYSES

A) Granulométrie



% grains > 63 μ

% sablons

% < 2 μ

(1) Paramètre de classement de BIETLOT

(2) Médiane

B) Argiles

● (1)

▲ (2)

■ (3)

(1) Kaolinite/illite

(2) (Chlorite/illite) $\times 3$

(3) (Chlorite/kaolinite) $\times 3$

Les signes ○ △ □
correspondent aux
nodules

Sont également données : - la valeur du rapport I (002) / I (001) pour l'illite
- la largeur du pic de l'illite

C) Essai mécanique

Rc Résistance à la compression simple

ANALYSE SEQUENTIELLE

A) Séquences lithologiques

oo Oobiomicrospathite P ("Calcaire ocreux" auct.)

I Biomicrospathite P

II Biomicrospathite W

III Biomicrospathite Wa

IV Marne à bioclastes

} Carixien

1 Siltite argilo-arénitique coquillière

2 Siltite argilo-arénitique calcaire

3 Marne silteuse (ou calcaire silto-argileux)

4 Siltite marneuse (ou siltite argileuse très calcaire)

5 Siltite argileuse calcaire

6 Silto-argilite calcaire

7 Argilite silteuse calcaire

8 Argilite silteuse

} Domérien

B) "Séquence structurale"

a Accumulation d'éléments biogènes (valves, entroques, rostrés)

b Microrides (avec ou sans bioturbation)

c Microlaminations (avec ou sans bioturbation)

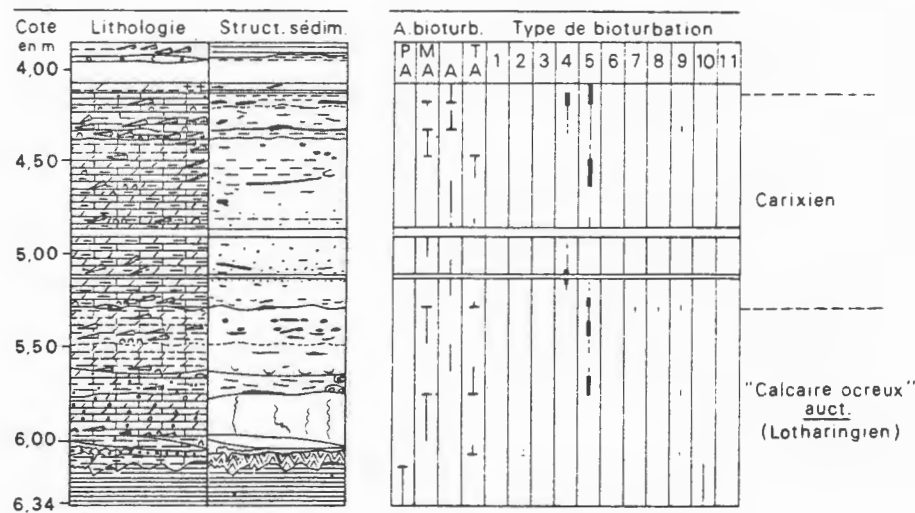
d Bioturbation seule, abondante à moyennement abondante

e Bioturbation seule, peu abondante

} pas de structure
sédimentaire re-
connaissable

Sondage TOMB - 2 — x : 885,12 ; y : 117,25 .

Coupe semi-schématique



LEGENDE DE LA COUPE DE LA CARRIERE DE JEANDELAINCOURT

LITHOLOGIE

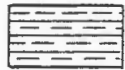
A) Types de roches



Calcaire argileux



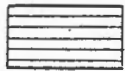
Concentration de valves



Argilite silteuse calcaire
(lithofaciès dominant)



Calcaire argilo-silteux



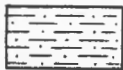
Argilite silteuse
(lithofaciès dominant)



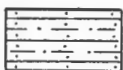
Marne silteuse

STRUCTURES SEDIMENTAIRES

- ~ Bioturbation (pistes et terriers)
- Ch ~ Traces de type Chondrites
- Terriers
- R-C Rides ou chenaux



Siltite marneuse



Siltite argilo-arénitique calcaire
Siltite argileuse calcaire
Silto-argilite calcaire

B) Nodules (dans l'ordre d'apparition de haut en bas)

- K ○ Nodules limoniteux + sphériques, 1 à 5 cm, 54 % Fe_2O_3
- J ● Nodules phosphatés, ovoïdes, souvent avec tégument d'Arthropode, 2 à 3 cm, 20 - 22 % P_2O_5
- I ○ Nodules (marne silteuse) très fossilifères, souvent phosphatés. Forme grossièrement ovoïde mais surface irrégulière, 5 à 20 cm, peuvent contenir jusqu'à 17 % P_2O_5
- H ○ Nodules (calcaire argileux) à perforations de lithophages, formes diverses, 2 à 10 cm
- G ○ Nodules (calcaire argileux), à surface mamelonnée, avec nombreuses traces fossiles (Thalassinoides) et terriers pyriteux, 100 à 200 cm
- F ○ Septarias (sidéritiques) ovoïdes, parfois pyrite, blende, 30 % Fe_2O_3 , 5 à 15 cm
- E ○ Nodules sidéritiques ovoïdes avec minéralisations (pyrite, blende, barytine), 5 à 10 cm, 45 % Fe_2O_3
- D ○ Nodules sidéritiques ovoïdes, parfois pyrite, blende, 5 à 10 cm, 35 % à 43 % Fe_2O_3
- C ○ Nodules (marne ou calcaire argileux) de forme souvent irrégulière, mamelonnés. (Thalassinoides), 10 à 30 cm
- B ○ Nodules (marne ou calcaire argileux) ovoïdes, 2 à 5 cm
- A ○ Niveau nodulaire (calcaire argileux) très aplati, riche en articles d'Encrines à la base, extension latérale d'ordre métrique

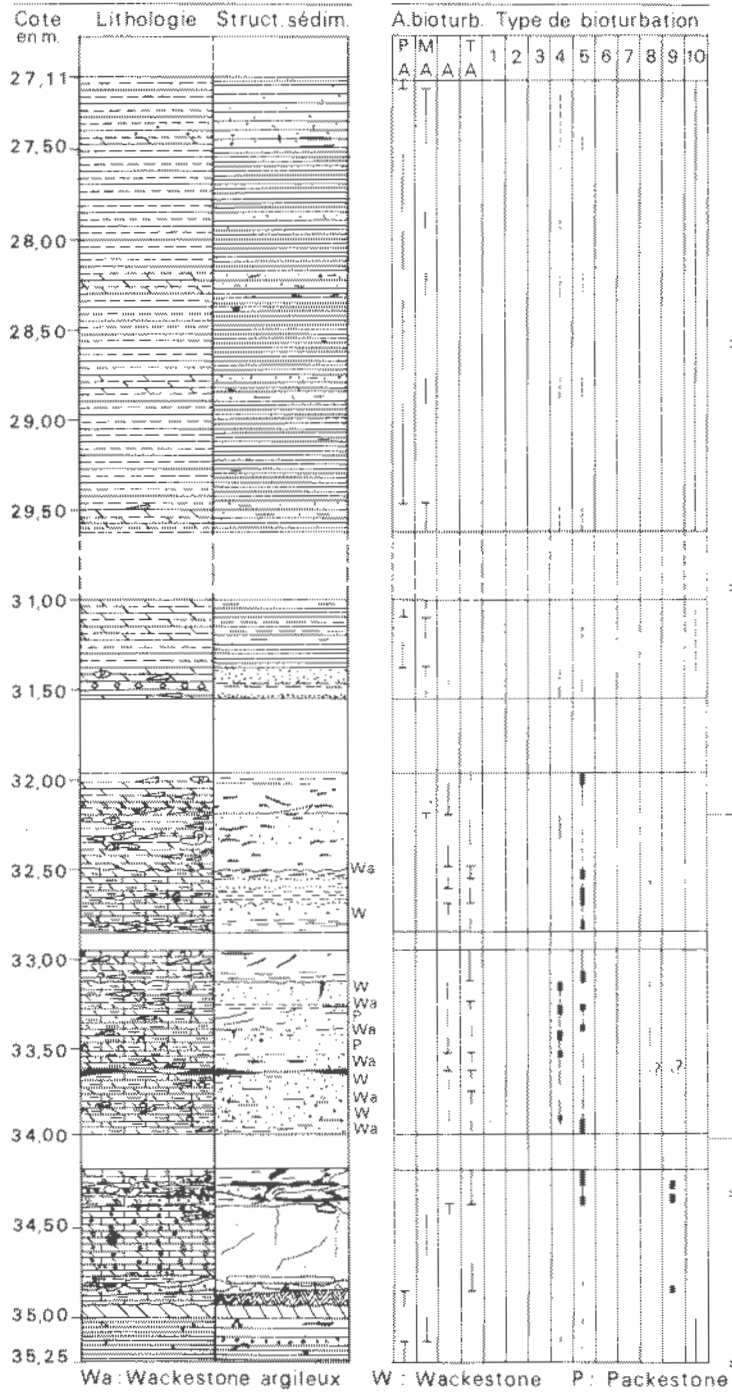
C) Eléments figurés et éléments minéraux

- ★ Articles d'Encrines nombreux
- ⊙ Ammonites nombreuses
- Bivalves nombreux
- Rostres de Bélemnite nombreux
- C Calcite
- Fe Imprégnation ferrugineuse
- ☞ Débris phytogènes nombreux

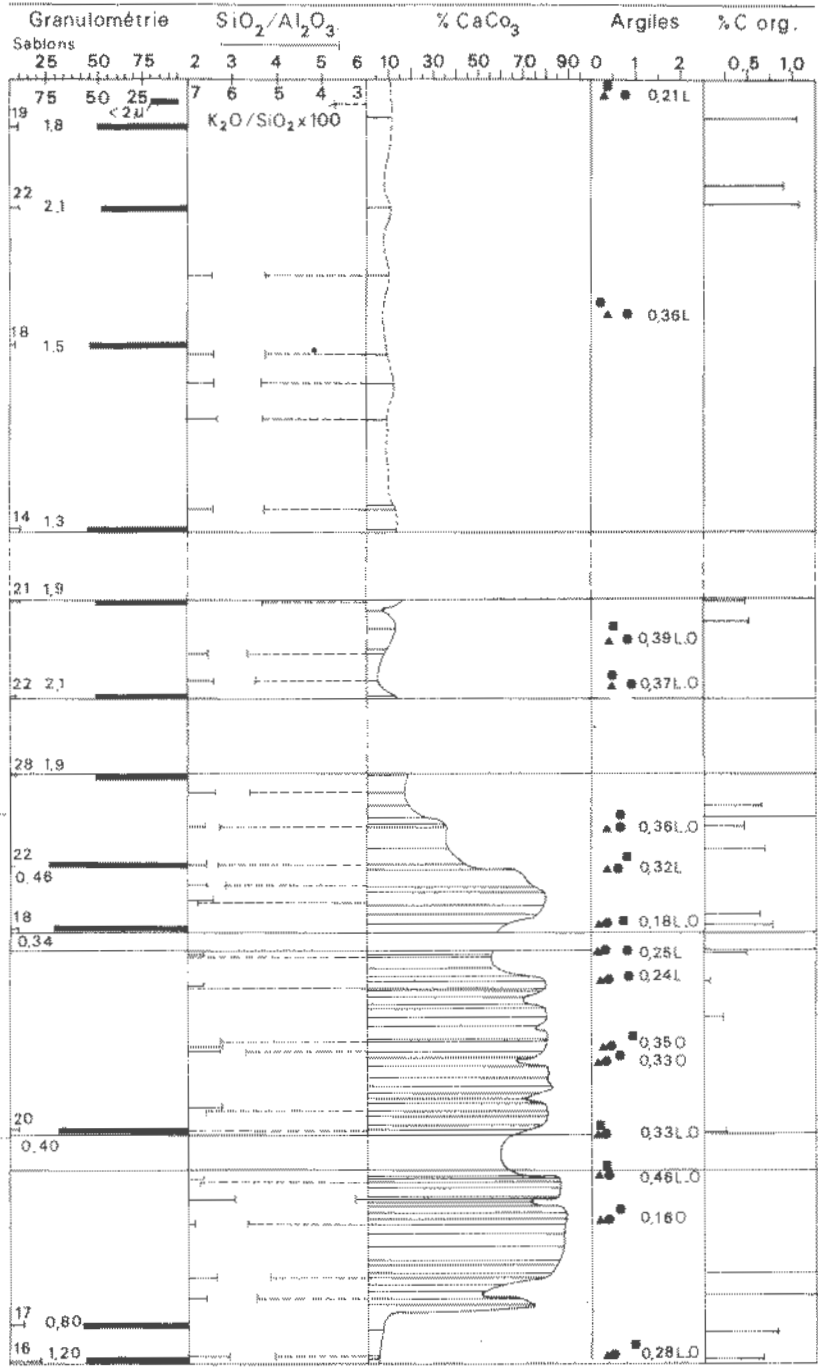
ANALYSES

La légende pour les analyses est identique à celle des sondages LUDR I - LUDR 3 - BONS 2 - TOMB 2. De 3a à 4a le carbonate des nodules est exprimé en %.

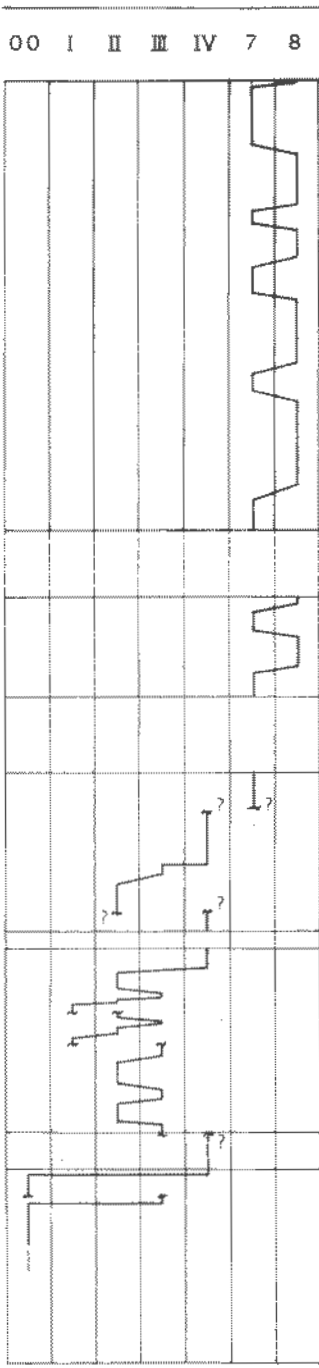
1 — Coupe semi-schématique



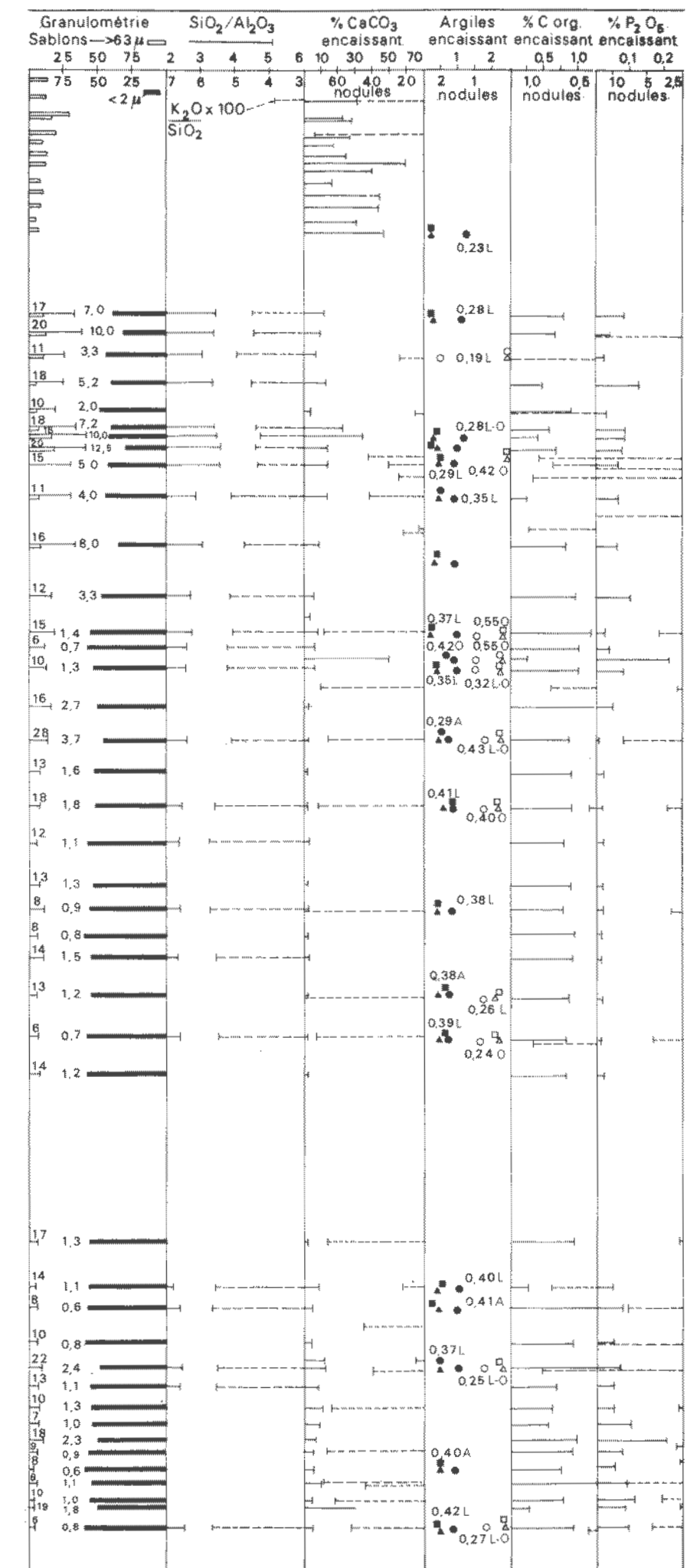
2 — Données analytiques



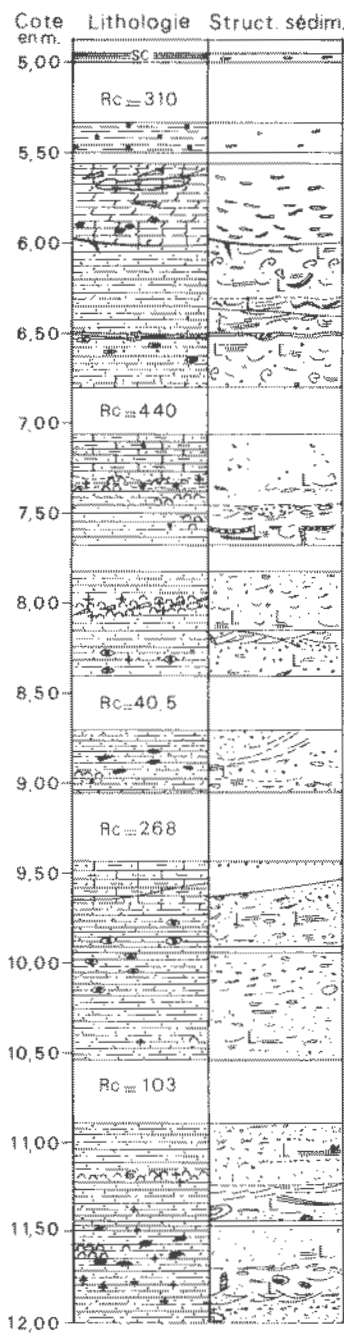
3 — Analyse séquentielle



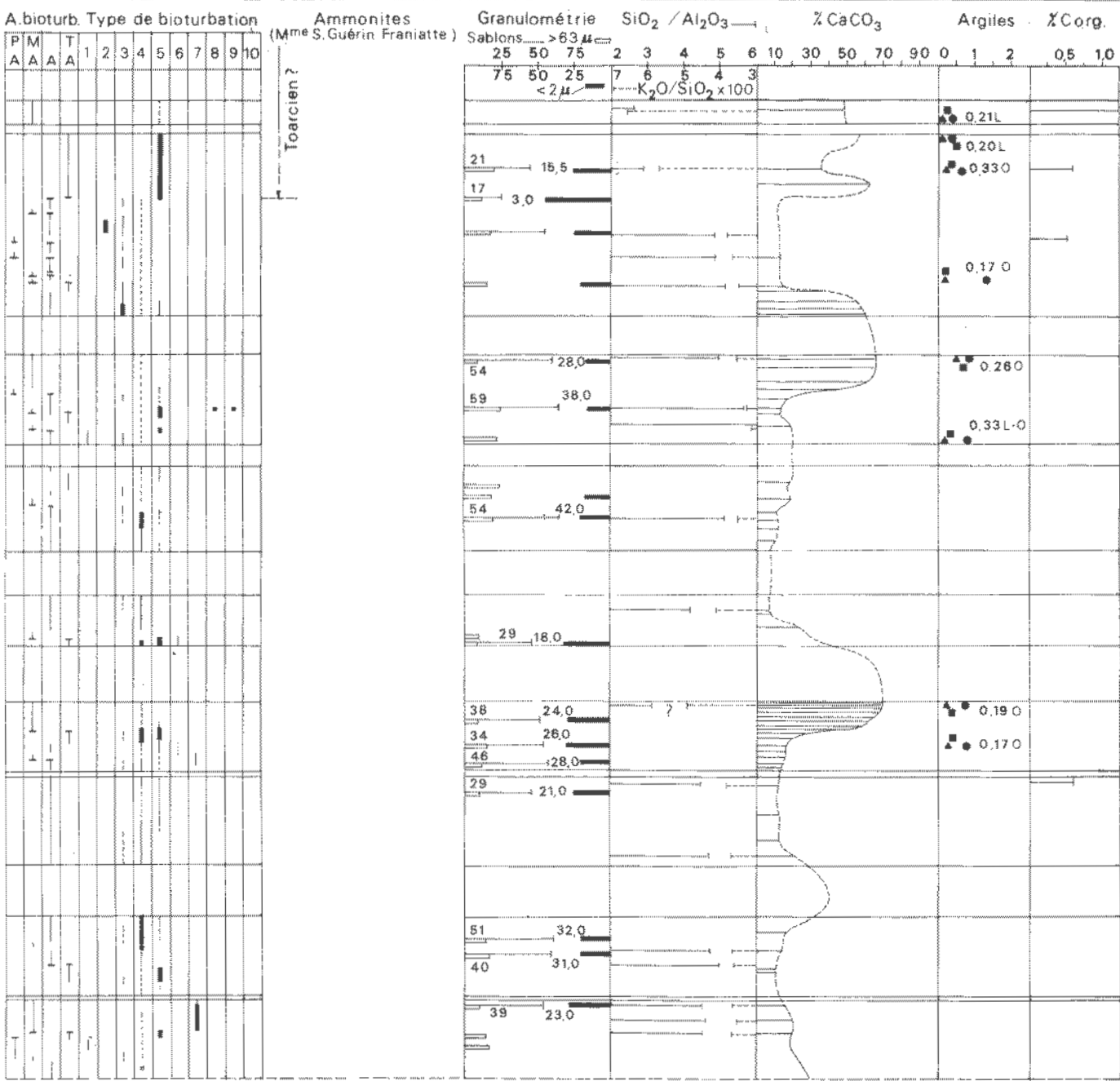
2 — Données analytiques



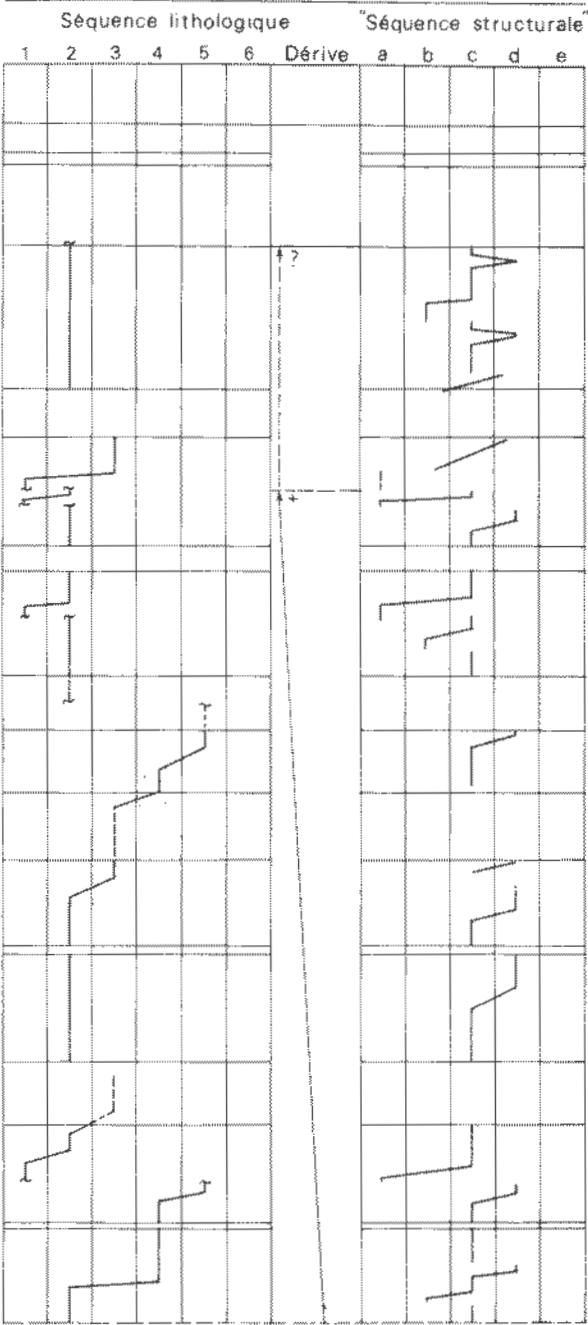
1 — Coupe semi-schématique

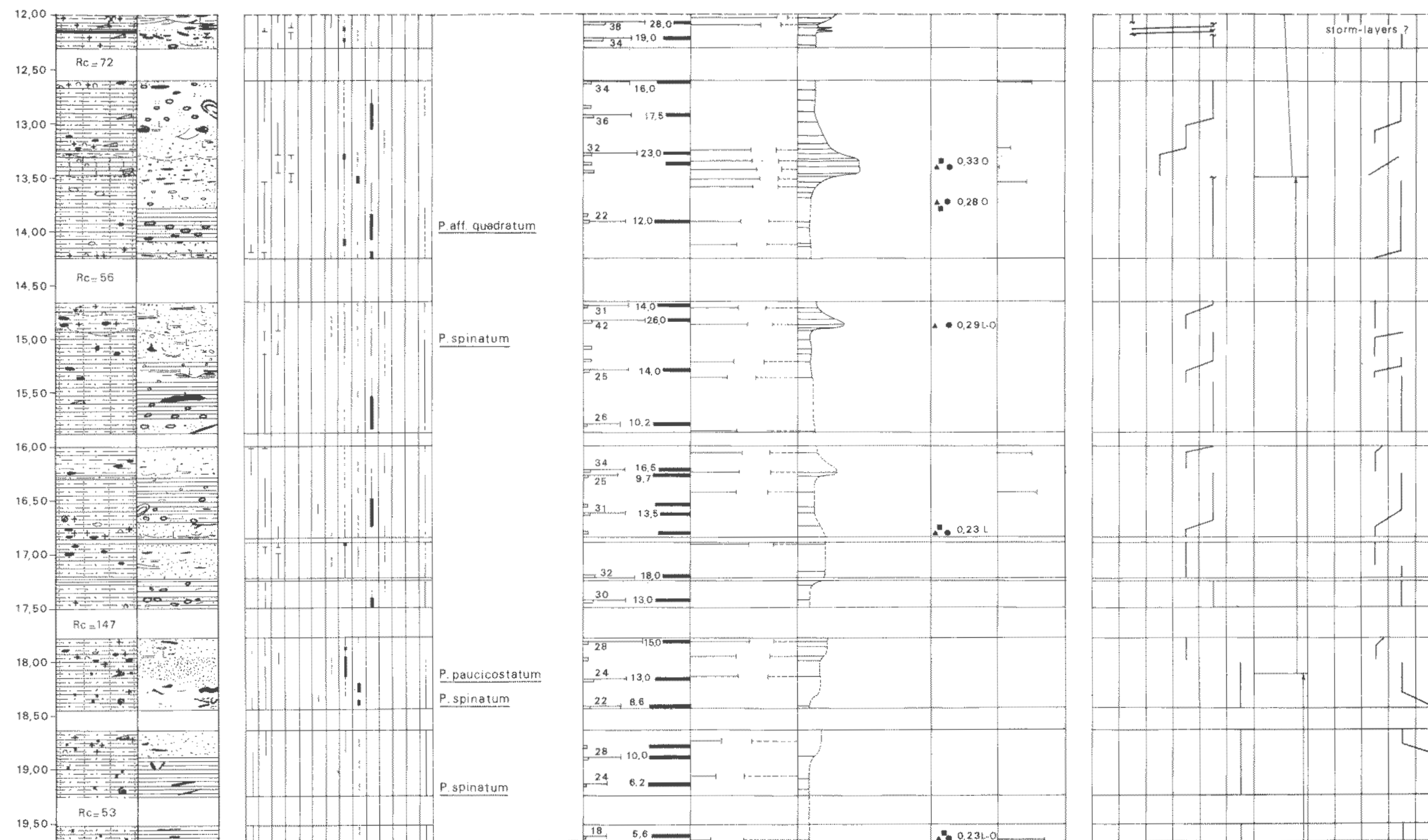


2 — Données analytiques

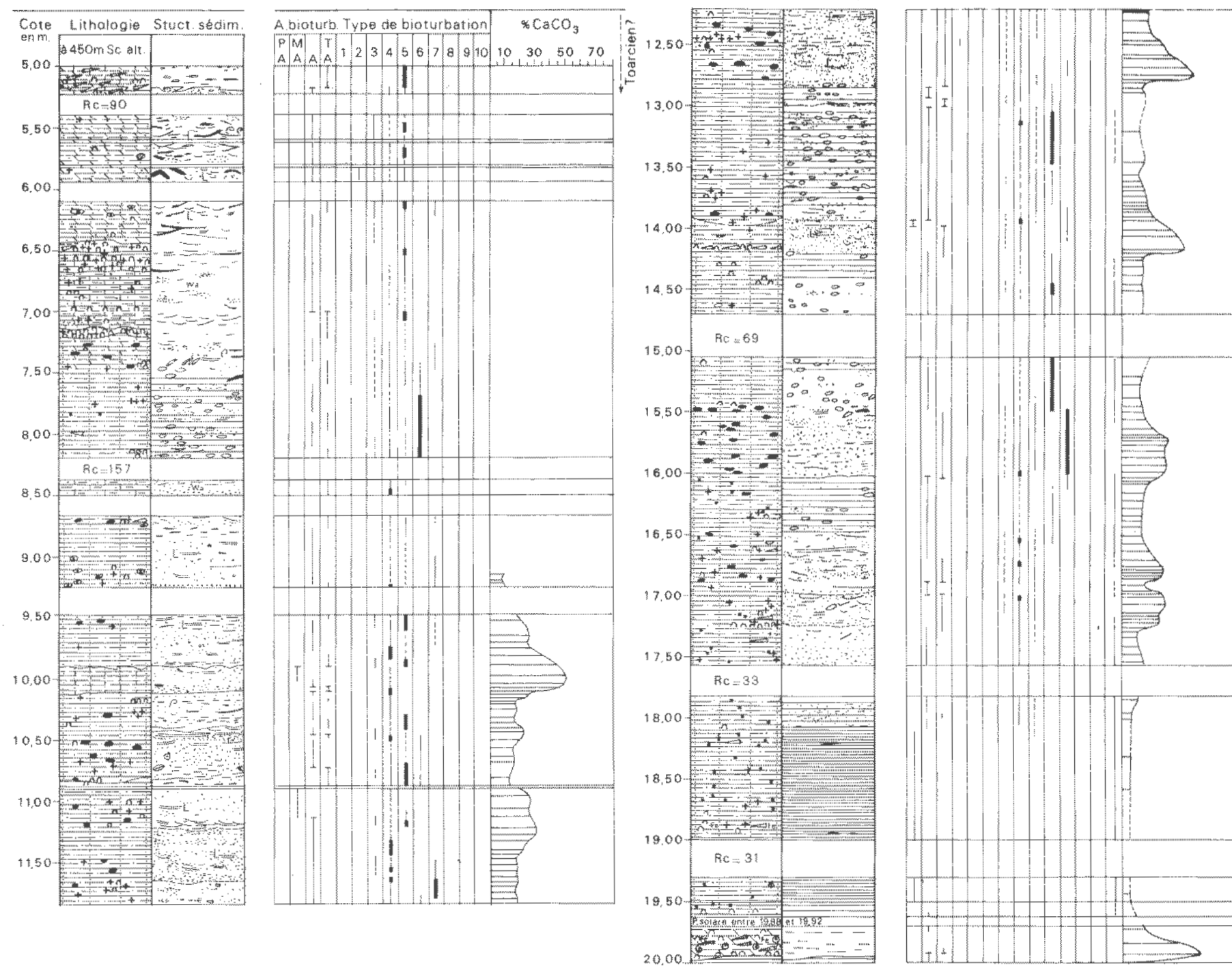


3 — Analyse séquentielle





1 — Coupe semi-schématique (partie inférieure)



NOM DE L'ETUDIANT : ALLOUC Jacques

NATURE DE LA THESE : *doctorat de SPECIALITE en GEOLOGIE*

VU, APPROUVE

et PERMIS D'IMPRIMER

NANCY LE 30/11/1977

LE PRESIDENT DE L'UNIVERSITE DE NANCY I



M. BOULANGE

