LE CARBONIFERE INFERIEUR DU BASSIN DE LAVAl, MASSIF ARMORICAIN. Stratigraphie, Sédimentologie , Evolution paléogéographique

Annick Pelhate-Peron

▶ **To cite this version:**

Annick Pelhate-Peron. LE CARBONIFERE INFERIEUR DU BASSIN DE LAVAl, MASSIF ARMORICAIN. Stratigraphie, Sédimentologie , Evolution paléogéographique. Stratigraphie. Université de Rennes, 1967. Français. NNT : . tel-01575984

HAL Id: tel-01575984

https://insu.hal.science/tel-01575984

Submitted on 22 Aug 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DE RENNES
BIBLIOTHÈQUE
INSTITUT DE GÉOLOGIE

Serie : C
N° d'Ordre : 70
N° de Série : 28

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE RENNES

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

Annik PELHATE - PERON

1re Thèse - LE CARBONIFERE INFERIEUR DU BASSIN DE LAVAL, MASSIF ARMORICAIN.

Stratigraphie, Sédimentologie, Evolution paléogéographique.

2e Thèse - Micropaléontologie des calcaires dinantiens du bassin de Laval.

Soutenues le 27 Juin 1967 devant la Commission d'Examen.

M.	**Y. MILON**	*Président*
Melle	**S. DURAND**	
MM.	**G. LUCAS**	*Examinateurs*
	R. CONIL	

GEOL 39

A J.P Lefort,

avec mes souhaits de découverte de Carbonifère sous la Manche

G Pelhate

UNIVERSITÉ DE RENNES
BIBLIOTHÈQUE
INSTITUT DE GÉOLOGIE

F Goupil

INSTITUT de GÉOLOGIE
de RENNES

Numéro d'inventaire Bibliothèque	3872

Serie : C
N° d'Ordre : 70
N° de Série : 28

INSTITUT de GÉOLOGIE
de RENNES
Numéro d'inventaire Bibliothèque 3872

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE RENNES

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

Annik PELHATE - PERON

1re Thèse - LE CARBONIFERE INFERIEUR DU BASSIN DE LAVAL, MASSIF ARMORICAIN.
Stratigraphie, Sédimentologie, Evolution paléogéographique.

2e Thèse - Micropaléontologie des calcaires dinantiens du bassin de Laval.

Soutenues le 27 Juin 1967 devant la Commission d'Examen.

M.	**Y. MILON**	*Président*
Melle	**S. DURAND**	
MM.	**G. LUCAS**	*Examinateurs*
	R. CONIL	

UNIVERSITE DE RENNES

FACULTE DES SCIENCES

DOYEN

M. BOCLÉ J.

ASSESSEURS

M. MAILLET P.
M. PRIGENT J.

DOYENS HONORAIRES

M. MILON Y.
M. TREHIN R.
M. SCHMITT M.
M. LE MOAL H.
M. MARTIN Y.

PROFESSEURS HONORAIRES

M. ANTOINE L.
M. CONDUCHE F.
M. FREYMANN R.
M. HAGENE P.
M. POISSON R.
M. ROHMER R.
M. TREHIN R.

MAITRES DE CONFERENCES HONORAIRES

M. MENEZ J. L.
M. GRILLET L.

MATHEMATIQUES

PROFESSEURS	MAITRES DE CONFERENCES ET CHARGES DE COURS
Mlle CHARPENTIER M.	M. GIORGIUTTI I.
M. GLAESER G.	M. RAVIART P.
M. GUERINDON J.	M. PRADINES J.
M. BOCLÉ J.	M. LEGOUPIL J.
Mlle DELAVAULT H.	M. HOUDEBINE J.
M. METIVIER M.	M. COATMELEC C.
M. CEA J.	M. BRUNEL A.
	M. TOUGERON J. C.

PHYSIQUE

PROFESSEURS	MAITRES DE CONFERENCES ET CHARGES DE COURS
M. VACHER M.	M. GUIDINI J.
M. VIGNERON L.	M. LE ROUX E.
M. LE BOT J.	M. DUBOST
M. MONOD-HERZEN G.	M. LE FLOCH J.
Mme ROBIN née SALOMOND	
M. ROBIN S.	
M. LE MONTAGNER S.	
M. MEVEL J. Y.	
M. MEINNEL J.	
M. REGENSTREIF E.	
M. BRUN P.	
M. SCHMOUKER J.	

CHIMIE

M. SALMON-LEGAGNEUR F.	M. LUCAS J.
M. VENE J.	
M. LEVAS E.	
M. PELTIER D.	
M. VALLET P.	
M. PRIGENT J.	
M. JOUAN P.	
M. FOUCAUD A.	
M. LANG J.	
M. CARRIE R.	
M. GUERILLOT C.	
M. KERFANTO M.	
M. WEIGEL D.	
M. DABARD R.	

ZOOLOGIE

M. RICHARD G.	M. MANIEY
M. MAILLET P.	M. REBECQ J.
M. BOISTEL J.	
M. RAZET P.	
M. ALLEGRET P.	
M. FOLLIOT R.	
M. POSTEL (Professeur associé)	

BOTANIQUE

M. NICOLLON DES ABBAYES H.	M. MAGNE F.
M. VILLERET S.	
M. CLAUSTRES G.	
Mlle GOAS M.	

GEOLOGIE

M. MILON Y.
Melle RENAUD A.
Melle DURAND S.
M. PHILIPPOT A.

Le Conseiller Administratif des Services Universitaires

M. BOURDIGUEL R.

A MON MARI

A MES ENFANTS

A LA MEMOIRE DE MON PERE

A MA MERE

AVANT - PROPOS

Monsieur le Doyen MILON me proposait, alors que j'étais assistante, "l'étude des dépôts littoraux du Golfe normano-breton", qui me conduisait au Diplôme d'Etudes Supérieures en 1956.

Monsieur MILON me suggèrait alors d'appliquer conjointement les données sédimentologiques, stratigraphiques et paléontologiques, à l'interprétation du Carbonifère du massif Armoricain. Je m'intéressai d'abord aux bassins stéphaniens de Kergogne et de Quimper ; mais, ces unités localisées dans le Carbonifère supérieur ne permettaient pas d'aborder le problème dans son ensemble.

Monsieur MILON et Mademoiselle DURAND décidèrent, en 1960, de limiter le champ de mes recherches au Carbonifère inférieur et m'orientèrent vers l'étude du bassin de Laval où diverses questions restaient à résoudre.

J'exprime ici ma profonde gratitude à Monsieur le Doyen MILON qui m'a fait profiter de sa connaissance approfondie de la région considérée et qui m'a donné, en toutes circonstances, les indispensables directives.

Mademoiselle DURAND, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes, m'a initiée aux méthodes essentielles de la sédimentologie et m'a prodigué ses conseils à tous instants. Elle a suivi, de très près, un travail qui se situait en dehors de ses recherches personnelles et n'a pas compté son temps pour donner à mon mémoire sa forme définitive. Qu'elle veuille bien trouver ici l'expression de ma vive reconnaissance.

Je voudrais exprimer ma profonde gratitude à Monsieur G. LUCAS, Professeur à la Sorbonne, qui a bien voulu accepter de juger mon travail. Je lui suis très obligée de m'avoir précisé, sur le terrain même, des points particulièrement dignes d'intérêt, puis d'avoir examiné mon manuscrit.

Monsieur CONIL, Chargé de cours à l'Université de Louvain, m'a accueillie en son laboratoire avec beaucoup de complaisance. J'ai ainsi profité de sa grande connaissance des Foraminifères du Dinantien. Je ne saurais trop insister sur l'aide qu'il m'a prodiguée et sans laquelle je n'aurais pu proposer des interprétations stratigraphiques ni établir, en particulier, des corrélations dépassant le cadre régional. Je tiens à lui exprimer ma sincère reconnaissance.

Je suis heureuse de remercier Monsieur l'Abbé P. BORDET, Professeur à l'Institut Catholique de Paris, Monsieur le Professeur JUNG et ses collaborateurs à la Sorbonne auprès desquels j'ai pu m'initier aux techniques pétrographiques.

Grâce à l'obligeance de Monsieur H. LARDEUX, Attaché de Recherches au C. N. R. S., j'ai pu avantageusement rencontré à l'Institut Français du Pétrole Monsieur M. LYS qui m'a aimablement communiqué la méthode d'extraction des Conodontes. Monsieur W. ZIEGLER a confirmé mes déterminations au cours d'un stage au Geologisches Landesamt de Krefeld. Je les en remercie bien vivement.

Je dois encore remercier plus particulièrement ceux qui m'ont accordé leur temps pour des discussions ou des échanges par écrit, toujours très profitables : Mademoiselle A. RENAUD et Monsieur A. PHILIPPOT qui furent mes Professeurs de géologie et qui se sont toujours intéressés à mon travail, Monsieur J. AUBOUIN, Professeur à la Sorbonne, Mademoiselle A. CAILLERE, Professeur au Museum National d'Histoire Naturelle, Monsieur A. CAILLEUX, Professeur à la Sorbonne, Monsieur J. COGNE, Professeur à la Faculté des Sciences de Strasbourg, Monsieur R. ENDO, Professeur émérite, Université de Saitama, Monsieur V. P. MASLOV, Professeur à l'Institut de Géologie de Moscou, ainsi que mes collègues maitres-assistants et assistants.

Mes remerciements s'adressent enfin à tous ceux qui m'ont apporté leur concours matériel : Monsieur HAYERE, aide technique, Messieurs BRIOT et MOREAU, Madame LANGLET, Mademoiselle GAUCHARD, aides de laboratoire, Mademoiselle CORBIERE qui a dactylographié le mémoire et Monsieur LHUISSIER, chargé de l'impression.

INTRODUCTION

J'indiquerai la place du bassin de Laval dans le massif Armoricain et ferai une mise au point des connaissances acquises par les travaux antérieurs et des questions que pose encore la géologie du bassin de Laval au Carbonifère inférieur. J'exposerai ensuite rapidement les méthodes de travail que j'ai utilisées.

DEFINITION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DU BASSIN DE LAVAL

Ed. BLAVIER, en 1834, différencie une série anthracito-calcaire qui contient "des couches de calcaire, d'anthracite, de grauwacke et de phyllades" ; cet ensemble "est compris entre les terrains de transition dont Château-Gontier est pour ainsi dire le chef-lieu et la bande de quartz grenu qui passe par Sainte-Suzanne et la Baconnière ". (id. op. p.66). La ville de Laval se situe au centre de cette région anthracito-calcaire : Ed. BLAVIER dénomme cette dernière:bassin de Laval, donnant au terme bassin son sens minier ; il définit ainsi un groupe de gisements exploités par plusieurs mines, formant une unité géographique et géologique. Ce bassin s'étend de Saint-Aubin du Cormier jusqu'à une ligne passant par Chémeré-en-Charnie, Loué, Brûlon et Sablé ; les bords nord et sud sont constitués par des séries dévoniennes, siluriennes et ordoviciennes : le Cambrien n'est présent que dans la région de la Charnie, au Sud des Coëvrons, tandis que le Carbonifère est conservé au centre. Cette zone de sédimentation, reprise dans divers épisodes tectoniques, apparaît allongée N O - S E dans la direction armoricaine ; elle constitue la partie orientale du synclinorium médian du massif Armoricain défini par Ch. BARROIS en 1897.

Vers l'Ouest, le bassin de Saint-Pierre-la-Cour constitué par du Dinantien et du Stéphanien, isolé par un seuil siluro-dévonien peut être rattaché au "bassin de Laval".

HISTORIQUE DES TRAVAUX ANTERIEURS

Ed. BLAVIER (1834; 1837) définit (voir paragraphe précédent) le bassin de Laval et donne des renseignements sur l'exploitation des dépôts de charbons dans le département de la Mayenne.

D. OEHLERT (1882) retrace l'historique des travaux antérieurs sur le Carbonifère du bassin de Laval et publie la carte géologique du département de la Mayenne levée par J. TRIGER. De VERNEUIL (1844; 1850) établit que le terrain anthracifère de la Sarthe qui comprend à la base des couches d'anthracite, puis des assises calcaires et ensuite de nouvelles couches charbonneuses, appartient à la période carbonifère ancienne (in D. OEHLERT id. op. p. 73). J. TRIGER (id. op. p. 76) distingue trois divisions, dans le Carbonifère, de haut en bas :

3 - Calcaire spathique
2 - Calcaire oolithique
1 - Calcaire à phtanite.

D. OEHLERT remarque que cette succession se retrouve dans la plupart des carrières (Changé ; Louverné ; Saint-Pierre-sur-Erve) et note que De VERNEUIL avait indiqué la texture oolithique de certains bancs calcaires à Juigné.

La première étude de D. OEHLERT, sur le Carbonifère du bassin de Laval, est relative à la carrière Saint-Roch à Changé (Mayenne) (1880) et à la coupe visible le long de la Mayenne au Sud de cette localité. Il définit le "Calcaire dit de Laval" comme un "calcaire schistoïde se terminant à sa partie supérieure par un ou plusieurs bancs de calcaire amygdaloïde, coloré en rouge". Le calcaire de Saint-Roch, fossilifère, situé au Nord du Calcaire de Laval, est considéré comme séparé de ce dernier par une faille; il est daté du Carbonifère supérieur. En 1882, (id. op.) D. OEHLERT décrit le calcaire noir avec veines de spath, affleurant à Louverné, Chémeré, dont le type le plus anciennement connu est celui de Sablé et décide de l'appeler "Calcaire de Sablé", par opposition au "Calcaire de Laval". Dès cette époque, les deux faciès de calcaires que l'on rencontre dans le Carbonifère du bassin de Laval étaient bien individualisés. A Changé, il signale la présence, sur une épaisseur de soixante-dix mètres, de schistes avec bancs de grès contenant des tiges d'Encrines sur la rive gauche du ruisseau des Landes, puis des grauwackes fossilifères sur la rive droite dans le chemin creux de la Châtaigneraie.

D. OEHLERT, en 1887, trace les traits essentiels de l'évolution du bassin de Laval, au cours des temps primaires. Il note, en particulier, l'émersion du sol à la fin du Dévonien, se traduisant par l'absence

du Dévonien moyen et supérieur ; il reconnaît la transgression de la mer carbonifère, par suite d'une oscillation descendante, et,en conséquence, la discordance des dépôts du Carbonifère inférieur sur les différents termes de la série dévonienne. En 1894, il délimite les affleurements des terrains carbonifères, soit au centre du bassin de Laval, soit sous forme "d'enclaves à contours irréguliers" et il établit la stratigraphie suivante, de haut en bas :

- le Calcaire et les Schistes de Laval
- le Calcaire à Productus giganteus
- les assises du Culm (blaviérite, poudingues, schistes et grès avec anthracite).

Cette succession de termes était celle observée le long de la Mayenne aux environs de Changé, sans tenir compte de l'accident tectonique qu'il avait soupçonné en 1880. Il écrit (p. 2) que "l'anthracite ainsi que les schistes et les grès qui l'accompagnent, manquent au Nord tandis que,inversement, le Calcaire à Productus giganteus si bien développé au Nord ne se retrouve pas dans la région sud". Il émet, dès lors, l'hypothèse "que les schistes et les grès du Culm, lorsqu'ils sont très puissants, sont un faciès équivalent du calcaire".

La partie orientale du bassin de Laval (feuille de La Flèche) est élargie et D. OEHLERT (1898, p. 2) note l'apparition de synclinaux secondaires "résultant des mouvements qui ont eu lieu postérieurement au dépôt du Dévonien inférieur et dont l'accentuation jusqu'au redressement définitif, a individualisé de petits bassins carbonifères actuellement indépendants". Lors de son étude du bassin de Bouère, il reconnaît que les Grauwackes à Paléchinides représentent "peut-être tout ou partie du Calcaire à Productus giganteus qui manque dans cette région du bassin" et que, d'autre part, "la grauwacke fossilifère forme la ceinture la plus externe, après quoi viennent les calcaires marbres... et enfin, au centre les Schistes de Laval". Il identifie les matériaux des puissantes couches de poudingues et de grès grossiers des premiers dépôts du Carbonifère, comme étant des produits de l'érosion des couches siluriennes et dévoniennes, tectonisées avant la transgression carbonifère (D. OEHLERT, 1900).

En 1905, D. OEHLERT publie la notice explicative de la feuille de Laval ; la stratigraphie du Carbonifère inférieur est présentée de la façon suivante, de haut en bas :

"- h IV a-b trois assises

- schistes dont la puissance est exagérée par des plis.
- calcaires gris, ou rosés, à structure noduleuse rappelant le faciès griotte.
- à la base : Grauwackes à Paléchinides.

Cet ensemble occupe le centre du synclinal carbonifère entre Changé et Laval.

- h_V Calcaire noir compact à Productus giganteus ... n'existe que sur le flanc nord du synclinal de Laval.

- h vi La base du Carbonifère est généralement indiquée par la présence de la blaviérite (D. OEHLERT 1896)... La blaviérite est surmontée par des poudingues, avec galets de grès et de calcaire, siluriens et dévoniens, auxquels sont associés des galets de blaviérite ; puis viennent des schistes avec des couches d'anthracite ... auxquels succèdent des alternances de schistes et de grès bréchoïdes caractéristiques du faciès Culm. Le mode de distribution de ces dépôts indique qu'ils correspondent à une transgression qui... a dépassé les limites du Dévonien et même du Silurien".

En 1909, D. OEHLERT indique la dissymétrie des deux flancs du synclinal de Laval et le renversement des couches sur le flanc sud. Dans cette note, il signale la présence d'Endothyra dans le Calcaire à Productus giganteus (p. 3).

Lors de la réunion extraordinaire de la Société Géologique de France dans la Sarthe et la Mayenne en 1909, D. OEHLERT montre aux participants les plus belles coupes du bassin et dans un important compte-rendu (1911), il décrit notamment les principaux affleurements du Carbonifère et développe les idées sur la stratigraphie du Carbonifère, déjà énoncées dans ses travaux antérieurs. Il signale pour la première fois, dans le massif de Saulges, le faciès oolithique du Calcaire de Sablé.

En 1913, G. DELEPINE établit que le Calcaire de Sablé ne contient pas Productus giganteus, mais que ce fossile n'est autre que Chonetes comoïdes SOW. = Daviesiella llangollensis DAV. L'étude de l'ensemble des fossiles récoltés dans plusieurs carrières: carrière du Rocher, près d'Argentré (Mayenne), carrière Saint-Roch à Changé (Mayenne), carrière de Port-Etroit à Solesmes (Sarthe), lui permet de conclure à l'âge viséen inférieur de ces formations. Il n'a pas été tenu compte de cette rectification pour la publication de la nouvelle feuille de Mayenne (1965) sur laquelle le Calcaire de Sablé est dit "Calcaire à Productus giganteus".

En 1922, G. DELEPINE et Y. MILON rapprochent le Calcaire de Laval du calcaire waulsortien de Belgique, tout du moins en certaines localités. En 1924, Y. MILON découvre la faune suivante dans la lentille calcaire de Saint-Pierre-la-Cour :

Productus subloevis v. christani DE KON.
Productus pustulosus PHIL.
Productus corrugatus MAC COY

et date ainsi le calcaire du Viséen inférieur (zone C^2 - S^1 de la classification de VAUGHAN, 1905) ; Y. MILON émet l'hypothèse que le récif de Bouère,

bien qu'azoïque, est du même âge. En 1928, Y. MILON note que "là où le Calcaire de Laval est bien représenté celui de Sablé n'existe pas et inversement" et qu'à Changé "des accidents tectoniques rapprochent des formations primitivement éloignées" (p. 40).

En dehors des calcaires de type waulsortien, Y. MILON reconnaît dans les calcaires crinoïdiques rosés de type Quenon ou Saint-Berthevin, "des faciès d'accompagnement du Waulsortien massif à veines bleues" (ibid. p. 57), il signale les calcaires "griottes" à Encrines de Laval et les calcaires bleu foncé de Forcé, comparant ces derniers à des termes de passage au faciès "marbre noir" tel qu'il est défini en Belgique.

La faune de la Grauwacke à Paléchinides a, d'après Y. MILON (ibid. p. 47), d'assez grandes affinités avec celle du calcaire noir de Quenon (Ille-et-Vilaine), faciès parallèle au calcaire waulsortien (ibid. p. 53) et doit se placer "un peu au-dessus des calcaires de Sablé, tout en faisant partie du Viséen inférieur" (ibid. p. 47). Dans ce même ouvrage, il publie le tableau stratigraphique suivant, exprimant les nouveaux résultats acquis, modifiant les idées de D. OEHLERT :

Dépôts calcaires	Dépôts schisteux à végétaux	Age
Pas de sédimentation calcaire	Schistes de Laval	Sudétien et Viséen supérieur
Faciès Marbre noir / Faciès Waulsortien ou Calcaire de Laval / Grauwacke à Paléchinides / Faciès Calcaire de Sablé	Schistes à plantes	Viséen moyen et inférieur
Pas de sédimentation calcaire	Schistes inférieurs à Rhodea et Blaviérite	Tournaisien ou Culm inférieur

TABLEAU I - Tableau stratigraphique des formations carbonifères du bassin de Laval, d'après Y. MILON (1928).

En 1930, G. DELEPINE, reprenant l'étude des Polypiers prélevés dans les carrières déjà citées et dans celles de Louverné et de Juigné (ferme de Vrigné), constate que la faune présente "un nombre relativement grand d'espèces qui, dans le Sud-Ouest de l'Angleterre et en Belgique, appartiennent aux niveaux élevés du Viséen : Lithostrotion martini M.E. et H., Lithostrotion irregulare PHILL., Diphyphyllum concinnum LONDS., Carcinophyllum vaughani SAL., Cyathophyllum murchisoni M.E. et H." Cet auteur rapproche cette association de faune de celle connue dans le Nord-Ouest de l'Angleterre où, selon lui, Lith. martini M.E. et H., Lith. irregulare PHILL. sont connus dès le Viséen inférieur (C^2-S^1) et associés avec les espèces de Zaphrentis et Caninia propres à ce niveau et au Tournaisien (1930, p. 39).

H. PAUL (1942) pense que la place de la Grauwacke à Paléchinides est au-dessus d'une série pélagique considérée par lui, comme analogue au Kieselkalk du Culm pélagique allemand et qu'il a vue à Changé et à Forcé, au-dessus du Calcaire de Laval. La grauwacke, dépôt néritique, serait à la base ou interstratifiée dans les Schistes de Laval et commencerait ainsi une série régressive. Cette position de la grauwacke ne paraît pas avoir été observée sur le terrain ; elle est déduite d'arguments sédimentologiques auxquels l'auteur ajoute des considérations paléontologiques : la faune ne permettant pas de situer la grauwacke au-delà du Viséen supérieur, H. PAUL,en s'appuyant sur la thèse de Y. MILON, pense qu'elle se trouve au sommet du Viséen moyen. Ceci paraît correspondre à une interprétation du tableau stratigraphique reproduit plus haut, en négligeant la phrase de la page 47 (Y. MILON,1928), qui situe cette grauwacke dans le Viséen inférieur.

Lors de la révision de la feuille de la Flèche au 1/80 000ème, P.R. GIOT (1948) reconnaît qu'à Grez-en-Bouère, la Grauwacke à Paléchinides se situe au-dessus du Culm. Il confirme ainsi ce que D. OEHLERT avait signalé, dès 1898. Dans ce même compte-rendu, A. PHILIPPOT (1948, p. 46) précise la structure de la région de Sablé-sur-Sarthe et de Saulges.

D'après la notice explicative de la feuille de Laval (2ème édition), tenant compte de l'opinion de H. PAUL, la Grauwacke à Paléchinides est au-dessus du Calcaire de Laval. Cette interprétation a été reprise par G. DELEPINE (1956) dans le Lexique Stratigraphique International.

D'autre part, dans la note de 1942, H. PAUL conteste que les calcaires de Forcé soient des faciès d'accompagnement des récifs waulsortiens et estime qu'il s'agit de faciès de passage au Calcaire de Sablé, calcaire carbonifère lité. Il signale, dans une carrière à 500-1 000 m à l'Ouest de Forcé, une série schisteuse renfermant des Trilobites mal conservés, des tiges d'Encrines et Pleurodictyum dechenianum KAYSER. Ces formes sont présentes dans le Culm pélagique d'Allemagne et "rappellent, si on fait abstraction de l'absence de Chonetes, la faune de Trilobites découverte par W. PAECKELMANN (1928) dans l'horizon du Kieselkalk... dans le Herzkamper Mulde" (H. PAUL,1942,p. 119). Ce même auteur décrit une série calcareo-

siliceuse, située au-dessus des calcaires "griottes" du Saut-Gauthier, le long de la vallée de la Mayenne au Sud de Changé (série signalée dès 1911, par D. OEHLERT, p. 657) et correspondant, pour H. PAUL, aux calcaires siliceux du Culm du Schiefergebirg et du Harz. H. PAUL (ibid. p. 119) conclut donc que "comme dans le Herzkamper Mulde (Wuppertal), le calcaire carbonifère du synclinorium médian de la base du Viséen au Viséen moyen est surmonté au moins localement de calcaires siliceux de dix-huit mètres de puissance".

La flore des Schistes de Laval a été étudiée dans de nombreux gisements (terrils de puits de mines) par un seul auteur : le chanoine A. CARPENTIER. En 1919, il signalait Sphenopteris elegans BR. au puits de la Sanguinière (Sarthe), Cardiopteris polymorpha GOEPPERT à la Baconnière (Mayenne) et Cardiocarpon minimum CARPENTIER en 1920. En 1924, il établit que les schistes de Viré-en-Champagne et de la Baconnière sont homotaxiques et correspondent en partie au Culm supérieur de Mouzeil. Les schistes de Poillé et de la Sanguinière (près Juigné, Sarthe) contenant Lepidodendron acuminatum GOEPP., Lepidodendron cf. roberti NATHORST se placeraient donc vers la base du Culm supérieur de Mouzeil. En 1925, il signale la présence de Sigillaria minima BRONGNIART emend. E. BUREAU. A. CARPENTIER conclut, en 1934, que la flore de Viré-en-Champagne, par la fréquence de Sphenopteris adiantoïdes et de Sphenopteris dubuissonni BRONG., se place dans le Namurien au niveau des schistes de Mouzeil.

D'après A. CARPENTIER, G. DELEPINE et H. MARTEL (1935), la comparaison de la faune (Leaia tricarinata M. et W. forme minima PRUVOST, Estheria striata MUNSTER, Estheria dawsoni JONES, Rhizodopsis sauroides WILLIAMSON, Strepsodus sauroides BINNEY, Megalichthys hibberti AGASSIZ, Coelacanthus mucronatus PRUVOST), contenue dans les schistes de Poillé (Sarthe) et dans ceux d'Epineux-le-Seguin, avec celle des bassins houillers du Nord de la France permet de leur donner un âge namurien et même peut-être westphalien inférieur. Les associations végétales indiquent un âge dinantien et namurien inférieur ; les échantillons ayant été recueillis sur des terrils, il semblerait donc que les niveaux à Mollusques soient plus récents.

COMPLEMENTS NECESSAIRES A LA CONNAISSANCE DU CARBONIFERE INFERIEUR DU BASSIN DE LAVAL

Ce résumé des travaux antérieurs fait apparaître les questions posées par le Carbonifère du bassin de Laval qui restaient à résoudre en 1960, lorsque l'étude du bassin de Laval-Sablé m'a été proposée.

- La nature pétrographique, le mode de dépôt, la place du Culm inférieur dans l'orogénèse hercynienne étaient à préciser, cette formation n'étant connue que par des descriptions très sommaires.

- La position de la Grauwacke à Paléchinides était discutée, la macrofaune étant mal conservée ; l'étude pétrographique et sédimentologique des sédiments de cette formation, complètée par des levés de terrains afin d'observer les relations avec les autres faciès du Carbonifère inférieur, devait permettre de rechercher la signification paléogéographique de la Grauwacke à Paléchinides.

- Mises à part les Goniatites, les fossiles carbonifères (Brachiopodes, Coelentérés et Mollusques) bien qu'ayant une répartition géographique étendue, n'ont qu'une valeur stratigraphique limitée, c'est-à-dire valable pour différencier Dévonien-Carbonifère ou Tournaisien-Viséen , car ils ont peu évolué ou sont liés aux variations de milieu (G. DELEPINE,1955) : tel est le cas par exemple de Productus cora d'ORB. (Carbonifère in genere) ou Delepinea comoïdes MUIR-WOOD 1962 (R. MOORE,1965) (Tournaisien-Viséen) ou Daviesiella llangollensis DAVIDSON (Viséen), des Caninia (Tournaisien supérieur - Viséen moyen), etc... Certaines formes sont liées au faciès,tels Productus cora et Syringothyris cuspidata (G. DELEPINE,1927).

Les Foraminifères, bien que benthoniques pour la plupart, ont une large distribution par suite de leur mode de reproduction par formes planctoniques et une évolution rapide ; les Conodontes,pour des raisons que nous ignorons,présentent une large répartition. Leur étude a été précieuse pour établir la stratigraphie détaillée des calcaires dinantiens.

- La distinction entre "Calcaire de Laval" et "Calcaire de Sablé" étant contestée par H. PAUL pour certaines localités citées par Y. MILON, il convenait de reprendre l'étude détaillée de ces calcaires afin de préciser les définitions et leurs conditions de dépôt. Pour celà, il fallait apporter des compléments aux études pétrographiques et micropaléontologiques ébauchées par Y. MILON (1928). Il était important de vérifier le synchronisme présenté par Y. MILON (id. op.) entre les calcaires waulsortiens typiques (Bouère, par exemple) et les faciès d'accompagnement (calcaires de Saint-Berthevin, Laval-Saut-Gauthier), ce qui n'avait pu être fait jusqu'alors : la macrofaune et les Foraminifères faisant défaut dans ces faciès.

- Les constituants minéralogiques des Schistes de Laval étaient aussi inconnus que ceux du Culm inférieur. Leur analyse devait être intéressante pour tenter de retrouver leur genèse et de reconstituer la paléogéographie de cette série qui termine la sédimentation du Carbonifère inférieur dans le bassin. Leur âge, d'après les travaux de A. CARPENTIER, doit être Viséen supérieur-base du Namurien inférieur. L'analyse sporopollinique, ne pouvant pas apporter de précisions supplémentaires, sans échelle stratigraphique locale (renseignement écrit de M. J. DANZE, Faculté des Sciences de Lille), n'a pas été entreprise.

EN RESUME, ce travail a comporté :

- des recherches micropaléontologiques (Foraminifères-Conodontes) en vue d'établir des corrélations stratigraphiques entre les Calcaires de Sablé et de Laval, et les bassins dinantiens de Belgique et d'Allemagne ;

- des études sédimentologiques de tous les termes du Carbonifère inférieur afin de retrouver les évènements et les conditions géographiques qui ont déterminé leur formation.

Ces recherches font apparaître sous un jour nouveau, d'une part les relations entre les diverses formations dinantiennes du bassin de Laval, et d'autre part les rapports entre les dépôts dinantiens et les terrains plus anciens.

Un nouveau schéma structural se dessine à partir de ces relations et permet de suivre l'évolution du bassin au cours de la tectogénèse hercynienne.

METHODES DE TRAVAIL

I - RECHERCHES SUR LE TERRAIN.

Mes recherches sur le terrain n'ont pas eu pour objet de tracer une carte structurale du bassin de Laval. Les tracés des cartes géologiques de Laval, Mayenne, La Flèche, relatifs au Dinantien sont, dans l'ensemble, exacts ; néanmoins, au cours de mes levés, j'ai pu constater que la structure est plus morcelée ; il en a été tenu compte dans le prélèvement des échantillons. D'autre part, à la faveur d'affleurements nouveaux (Changé, Laval), quelques rectifications de détail ont paru nécessaires.

La région étudiée est un pays couvert d'herbages et des coupes étendues ne sont visibles que le long de vallées importantes : Mayenne, Sarthe, Erve, Jouanne ou dans des carrières. Malheureusement, les exploitations de calcaires, à part celles de Port-Etroit à Solesmes, de Boisjourdan à Bouère et de Feue-Vilaine à Saint-Pierre-la-Cour, sont actuellement abandonnées et de nombreuses carrières telles Quenon (Ille-et-Vilaine), Le Bourgneuf, Saint-Ouen-des-Toits, Le Jard (Bouère, Mayenne), la carrière Baudoin (Grez-en-Bouère) et Saint-Loup-du-Dorat sont entièrement noyées ou en voie de comblement (carrière de Forcé, carrière de Mondon, Changé).

La région centrale du bassin, aux alentours de Meslay-du-Maine, est dépourvue de vallées importantes et se trouve, en outre, recouverte par des limons et des formations tertiaires très épaisses de telle sorte qu'il n'a pas été possible d'étudier le Culm inférieur dans cette région ni de reconnaître s'il existe une zone calcaire entre le Culm inférieur et les Schistes de Laval.

Par contre, des affleurements nouveaux, intéressants ont pu être examinés à la faveur de chantiers de construction à Laval même ou à Changé. Des sondages ont pu être utilisés dans le bassin de Saint-Pierre-la-Cour grâce à l'obligeance de M. M. AUBERT, géologue.

Le travail essentiel sur le terrain a consisté en un levé séquentiel des différents termes du Dinantien. Il est nécessaire d'effectuer ce levé dans des affleurements dégagés sur une assez grande distance, afin de disposer d'une coupe aussi complète que possible de la série étudiée. En conséquence, le Culm inférieur a été étudié d'après des sondages à Saint-Pierre-la-Cour, en affleurement le long de la voie ferrée Sablé-Le Mans, le long de la vallée de la Mayenne au Nord et au Sud de Laval, dans la région de Saint-Brice (Mayenne) dans des carrières encore accessibles.

Les Calcaires de Sablé ont été prélevés dans toutes les carrières

où les fronts de taille sont dégagés actuellement, le long de la vallée de la Mayenne, de l'Erve, de la Jouanne, de la Sarthe, le long de la voie ferrée Sablé-Le Mans.

Les Calcaires de Laval ont été observés dans quelques carrières : L'Euche (Saint-Pierre-la-Cour), Boisjourdan (Bouère) La Couldre (Changé) les Richardières (Sud de Saint-Brice-Mayenne), le long de la vallée de la Mayenne, de la Jouanne au Sud de Forcé, dans des chantiers en construction à Laval.

Certains affleurements restreints ont été étudiés, car même une coupe partielle est utile "pour juger du style de la sédimentation des lithofaciès et de leurs successions" (A. LOMBARD 1956, p. 275).

Dans l'examen de la coupe choisie, l'unité la plus petite repérée a été souvent le banc, puisqu'il constitue dans la plupart des cas une entité lithologique. Cependant, quand un banc présentait des caractères différents (texture, granoclassement) dans son ensemble, plusieurs échantillons étaient prélevés. J'ai toujours pris soin de noter l'épaisseur du banc et le genre de contact avec les bancs voisins.

De très nombreux échantillons ont été recueillis et étudiés au laboratoire (1800) afin de suivre les variations ou la constance des caractères pétrographiques et paléontologiques pour les différents niveaux des affleurements.

II - RECHERCHES AU LABORATOIRE.

A - ETUDE PETROGRAPHIQUE

1°) les désignations des roches faites sur le terrain traduisent les aspects divers observés à l'œil nu et principalement le mode de stratification, la schistosité plus ou moins nette et le grain de la roche. L'étude au microscope polarisant fait apparaître la nature des constituants minéralogiques ; l'analyse modale des composants et du ciment permet de reconnaître un certain nombre de types pétrographiques dont la présence et la succession sont liées, pour une grande part, à la tectonique des continents voisins et révèlent, par conséquent, l'évolution sédimentologique du bassin.

Les types pétrographiques des roches sédimentaires clastiques : grès, grauwackes, schistes ont été établis d'après les définitions données par F. J. PETTIJOHN (1957), les classes granulométriques correspondent sensiblement à celles de A. GRABAU (1904) soit : les conglomérats ou rudites (au-dessus de 1980 μ), les sables ou arénites (1981 μ - 43 μ), les boues ou lutites (inférieures à 43 μ).

L'étude pétrographique des roches calcaires a été entreprise en tenant compte des travaux de R. L. FOLK (1959 ; 1962), de M. W. LEIGHTON et C. PENDEXTER (1962), de C. MONTY (1963).

Les divers types de calcaires sont classés par ces auteurs, en différenciant deux unités structurales de premier ordre : les éléments figurés et le ciment ou la matrice.

Les éléments figurés sont :

- les oolithes (FOLK. LEIGHTON et PENDEXTER. MONTY.)
- les fossiles (FOLK. LEIGHTON et PENDEXTER. MONTY.)
- les bothrolites (MONTY) ou lumps (LEIGHTON et PENDEXTER) "corpuscules complexes résultant de l'agrégation de plusieurs corpuscules par cimentation sur le fond marin" (MONTY, 1963 p. B 96)
- les chondrolites (MONTY, 1963 p. B 98) "corpuscules calcaires lutitiques à arénitiques présentant une matrice cryptogrenue ou différenciée en petits agrégats cryptocristallins cimentés par une calcite légèrement plus grenue".
- les pellets (LEIGHTON et PENDEXTER. FOLK), ou chondroïdes (MONTY, p. B 102), "corpuscules généralement cryptogrenus et arrondis dont l'origine et la signification ne peuvent être révélés par la simple étude de terrain et l'examen microscopique".
- les intraclasts (FOLK. LEIGHTON et PENDEXTER) ou endoclastes (MONTY, p. B 100), "produit du remaniement, effectué dans le domaine marin d'un sédiment préalablement déposé, ou d'agrégats carbonatés en voie de dépôt".

Les différents auteurs cités ci-dessus distinguent les calcaires à ciment spathique et ceux à matrice ou ciment cryptogrenu. Ce dernier est appelé micrite (M. W. LEIGHTON et C. PENDEXTER 1962, p. 35). J'ai utilisé la classification en lutites, arénites, rudites (A. GRABAU, 1904 ; F. J. PETTIJOHN, 1949 p. 14), en adoptant, pour les arénites calcaires, les limites (1 mm-64 μ) définies par R. L. FOLK (1959) et C. MONTY (1963).

La nomenclature des roches calcaires fait apparaître la nature des éléments figurés, leur granularité et la qualité du ciment (MONTY, p. B 115). Ainsi, une roche constituée en majeure partie de fossiles fracturés, de taille médiane voisine de 500 μ, enrobés dans un ciment spathique, s'appellera bioclastspatharénite. J'ai parfois préféré à cette nomenclature qui peut paraître un peu barbare, des noms plus simples : par exemple, le terme de calcaire organoclastique pour cette même roche ; ce terme, en effet, est directement applicable sur le terrain où, si le grain est assez grossier, il est facile d'observer sur une cassure fraîche, les débris organoclastiques, en particulier les entroques miroitantes. Ce terme est employé par H. PIRLET (1963) pour certains calcaires corpusculaires du Viséen supérieur de Belgique.

- l'étude des colloïdes de certains niveaux du Culm inférieur et des Schistes de Laval a été entreprise afin de vérifier si la composition du substratum se répercutait sur la nature des éléments (J. ESTEOULE et A. P. 1965). Les éléments fins ont été extraits par simple sédimentation à l'eau pour ne pas altérer certaines argiles labiles. La détermination a été effectuée par examen des clichés de diffraction des rayons X sur poudres non orientées, associé à l'analyse thermique différentielle.

2°) L'étude granulométrique des quartz des sédiments clastiques non quartziteux, des oolithes et endoclastes des calcaires a été effectuée sur plaque mince, à l'aide d'une platine intégratrice, par la méthode linéaire mise au point par A. CAILLEUX (1959, t. I, p. 135). J'ai ainsi établi des courbes cumulatives à l'aide desquelles j'ai déterminé les caractéristiques suivantes :

- le grain moyen M qui "divise le produit en deux parties égales en poids : les gros grains dont les dimensions dépassent celles du grain moyen et les grains fins dont les dimensions sont plus faibles ". (A. BIETLOT, 1941 p. M 109). La détermination a été faite comme l'indique cet auteur : abscisse du point d'intersection de l'horizontale d'ordonnée 50 % avec la courbe cumulative. "L'erreur graphique sur sa détermination est assez faible, car la courbe cumulative coupe l'horizontale de 50 % suivant un angle assez voisin de 90°" (id. op. p. M 110).

- l'indice d'hétérométrie Hé (A. CAILLEUX, 1959 t. III p. 154) correspond à l'étalement minimum des dimensions des grains représentant 25 % de la masse cumulée ; il est mesuré, dans la partie la plus redressée de la courbe, en utilisant l'échelle des ϕ.

Afin de préciser le mode de sédimentation, les diagrammes CM de R. PASSEGA (1957) ont été tracés. Ces diagrammes sont établis en choisissant deux paramètres granulométriques sur les courbes d'un sédiment meuble et en les reportant sur un graphique à deux modules logarithmiques. R. PASSEGA porte, en abscisse, la dimension du grain moyen déduite de la courbe cumulative, et en ordonnée, la dimension du "un pourcentile", tel que seulement 1 % des grains sont plus gros que lui, également déduite de la courbe cumulative. J. THOREZ (1964) a tenté une application de cette méthode de représentation graphique à partir de mesures sur plaque mince, en portant, en abscisse, la "granularité moyenne" des corpuscules détritiques de quartz et de feldspath et, en ordonnée, la "clasticité". La granularité moyenne est le diamètre moyen le plus fréquent, la clasticité représente le diamètre apparent du plus gros grain visible, en lame mince.

En traçant la courbe enveloppe des points obtenus, on construit un diagramme CM qui, d'après les travaux de R. PASSEGA, caractérise parfaitement le mode de transport des particules.

Les diagrammes CM doivent être établis, comme l'a fait J. THOREZ (1964 p. B 440), pour chaque séquence majeure décelée dans les séries étudiées. La possibilité d'appliquer la méthode des diagrammes CM est liée aux résultats d'analyse de terrain. Etant donné les affleurements peu importants, en direction, du Culm inférieur, j'ai tracé des diagrammes critiquables, car ne possédant que peu de points. Néanmoins, leur situation sur le graphique me permettait de dessiner l'allure caractéristique du diagramme.

3°) Etude morphométrique

L'indice d'émoussé des grains $\frac{2rl}{Ls}$ (A. CAILLEUX,1959, t. I p. 109) a été calculé sur plaque mince pour différentes classes dimensionnelles des grains des sédiments du Culm inférieur et les valeurs médianes ont été déduites.

4°) Minéraux lourds

Quelques échantillons de roches prélevées de place en place dans les séries du Culm inférieur, des Schistes de Laval ont été broyés afin d'extraire les minéraux lourds, par décantation dans le bromoforme. Les pourcentages calculés n'ont qu'une valeur relative puisqu'il s'agit de broyats de roches.

Lorsque les minéraux étaient suffisamment abondants pour apparaître sur une plaque mince, je les ai intégrés dans l'analyse modale.

5°) Etablissement de la série virtuelle locale et de la courbe lithologique pour chaque série sédimentaire étudiée

G. MILLOT écrit en 1964 (p. 103) "Analyser dans une série sédimentaire la nature et l'ordre des sédiments est un premier travail indispensable. Il doit être distingué de la recherche de l'origine première des matériaux sédimentés. Et cette origine est le résultat de deux facteurs distincts bien que toujours mêlés : l'évolution tectonique et l'évolution climatique des reliefs d'alimentation".

Les études pétrographiques, minéralogiques, granulométriques des séries étudiées m'ont permis tout d'abord de déterminer la nature des sédiments et d'établir une série virtuelle locale (A. LOMBARD,1956 p. 283).

L'ordre ou la succession des termes lithologiques ainsi distingués fait apparaître un certain nombre de séquences (A. LOMBARD id. op. p. 270), représentées par la courbe lithologique (id. op. p. 284). La base des séquences doit être choisie "de façon à ce qu'elle délimite dans la coupe des groupes naturels et ne tranche pas à travers ces derniers" (P. MICHOT,1953 p. B 228).

La succession des séquences est influencée par la tectonique ;

"Vivante, elle engendre les détritiques ; morte, elle laisse le champ aux chimiques ; croissante, elle favorise les séries négatives ; décroissante, elle oriente les séries positives" (G. MILLOT,1964 p. 101).

Cette étude séquentielle permet donc de reconstituer, d'une part l'évolution sédimentologique du bassin et,d'autre part,d'avoir une idée de la paléogéographie de la région étudiée, à l'époque envisagée.

B - MICROPALEONTOLOGIE

L'étude de la macrofaune du Viséen calcaire du bassin de Laval a été faite par G. DELEPINE (1913; 1930) et Y. MILON (1924). Certains calcaires (calcaire waulsortien de Bouère, faciès d'accompagnement des calcaires waulsortiens) dépourvus de macrofaune n'avaient pu être datés.

Afin de pouvoir établir des zonations chronostratigraphiques et des corrélations entre les différents faciès, il m'a paru intéressant d'entreprendre l'étude des Foraminifères nombreux dans les Calcaires de Sablé (Y. MILON,1928) et la recherche des Conodontes.

L'intérêt des études de microfaune et spécialement des Foraminifères dans le Carbonifère a été signalé par M. LYS (1964), des niveaux datés avec certitude par la macrofaune ayant livré des associations microfauniques caractéristiques pouvant servir de références. Les associations du Dinantien de Belgique et de l'Avesnois ont fait l'objet d'un mémoire détaillé (R. CONIL et M. LYS,1964) et de mises au point récentes (id. auct. 1965; 1966).

Les faciès les plus favorables aux Foraminifères sont les bases organoclastiques des séquences à granulométrie décroissante. Néanmoins, les calcaires argileux de type Port-Etroit, les calcaires oolithiques du type calcaire de Bonne-Fontaine en Vaiges se sont révélés assez riches. Je n'ai, par contre, jamais observé de Foraminifères dans les calcaires crinoïdiques de la base des récifs waulsortiens, ni dans les calcaires microcristallins (Calcaire de Forcé), ni dans les calcaires amygdaloïdes du Saut-Gauthier (Changé).

Les Foraminifères ont été étudiés en lame mince et déterminés à l'aide des travaux de R. CONIL et M. LYS (1964; 1965; 1966). Certaines déterminations ont été revues par M. R. CONIL au laboratoire de Paléontologie de l'Institut Géologique de Louvain (Belgique), au cours d'un stage.

Les Conodontes et les Foraminifères paraissent s'exclure. Mais "l'intérêt des Conodontes demeure très grand au Carbonifère" (M. LYS id. op. p. 192). Des zones faunistiques ont été déterminées à l'intérieur du Carbonifère inférieur d'Allemagne et en se basant sur des espèces caractéristiques

associées à la macrofaune de Goniatites (G. BISCHOFF, 1957 ; A. VOGES, 1959; 1960 ; H. BOGER, 1962 ; W. ZIEGLER, 1963). Récemment, E. PAPROTH et R. CONIL (1967) ont établi les corrélations entre la Belgique, l'Avesnois et l'Allemagne, à l'aide des Foraminifères et des Conodontes ; j'ai tenté de poursuivre ces corrélations jusque dans le massif Armoricain.

Les Conodontes sont abondants dans les calcaires crinoïdiques, les calcaires amygdaloïdes, c'est-à-dire dans les niveaux dépourvus de macrofaune et situés dans la zone de sédimentation des faciès waulsortiens.

La méthode d'extraction employée a été celle que M. LYS a eu l'amabilité de m'enseigner à l'Institut Français du Pétrole.

1 - Traiter 500 g à 1 kg d'échantillon.

2 - Ecraser l'échantillon avec une presse hydraulique, les morceaux obtenus doivent avoir un diamètre de 3 cm.

3 - Mettre dans un bécher de 2l, l'échantillon fragmenté et l'acide monochloracétique technique à 50 %.

4 - L'attaque doit se faire, au début à froid, puis chauffer à 70-80° sous hotte, par l'intermédiaire d'un bain de sable électrique. Enlever périodiquement la poudre formée afin d'éviter une attaque trop intense.

5 - Remettre de nouveau de l'acide monochloracétique.

6 - L'attaque dure de 48 heures à 4-5 jours.

7 - Ensuite laver abondamment.

8 - Tamiser sous l'eau courante afin d'éliminer les particules argileuses qui peuvent obstruer les ornementations des Conodontes, par l'intermédiaire de deux tamis Tyler 30-40 et 300.

9 - Sécher.

10 - Traiter la poudre obtenue par séparation au bromoforme. Laver à l'alcool.

La détermination des Conodontes a été faite, en se référant aux types observés au Geologisches Landesamt, à Krefeld (Allemagne), laboratoire du Dr ZIEGLER.

Les Algues, étant apparues comme un constituant essentiel de certains faciès du Calcaire de Sablé, ont aussi été étudiées. Les travaux utilisés pour la détermination des Algues ont été principalement le mémoire de V. P. MASLOV (1956), l'ouvrage de R. CONIL et M. LYS (1964), les travaux de J. H. JOHNSON et K. KONISHI (1956), J. H. JOHNSON (1963).

Les méthodes utilisées pour tenter d'isoler des spores ou des microorganismes conservés à l'état de matière organique dans le Culm

inférieur n'ont donné aucun résultat.

L'examen, en plaque mince,de quelques échantillons a montré des débris à contours fermés qui doivent correspondre à des spores, mais celles-ci sont transformées en matière charbonneuse et,de ce fait,sont réduites en fine poussière au cours des préparations par des procédés physico-chimiques.

° °
°

ETUDE DES DIFFERENTES FORMATIONS

DU CARBONIFERE INFERIEUR DU BASSIN DE LAVAL

Les diverses formations sont étudiées dans l'ordre suivant :

Culm inférieur
Calcaire de Sablé
Grauwacke à Paléchinides
Calcaire de Laval
Schistes de Laval

Le plan pour chaque chapitre est le suivant :

I - Localisation et description des affleurements

II - Etude des échantillons au laboratoire (pétrographie essentiellement)

III - Analyse séquentielle

IV - Micropaléontologie (chapitres 2 et 4). Les microfossiles ne sont cités que comme des marqueurs stratigraphiques

V - Conclusions

CHAPITRE I

LE CULM INFERIEUR

Les formations de base du Carbonifère inférieur du bassin de Laval ont été étudiées par D. OEHLERT qui en a dessiné les contours avec beaucoup de précision.

Les sédiments : poudingues, schistes et grès ont été décrits succinctement et réunis sous le nom de Culm inférieur. Cette formation est transgressive sur les couches dévoniennes, siluriennes et même, dans certaines zones, sur les formations ordoviciennes. Les témoins de cette transgression sont parfois isolés les uns des autres, notamment à l'Est d'Origné, au Sud de Laval. La carte géologique montre alors des taches de Culm entourées d'affleurements paléozoïques antécarbonifères.

Le Culm inférieur est observable sur le flanc nord du bassin de Laval jusqu'à Vaiges. Il est mal représenté à l'Est de cette limite, soit qu'il ait été supprimé par faille, soit, plus vraisemblablement, parce que la sédimentation carbonifère a été calcaire dès la base. Par contre, sur le flanc sud, il forme des affleurements étendus depuis l'extrémité périsynclinale occidentale jusqu'à Sablé. Il entoure d'une ceinture continue le bassin de Saint-Pierre-la-Cour où il est surmonté par les niveaux supérieurs : Grauwacke à Paléchinides, Calcaire de Laval.

Y. MILON (1923) signale un niveau marin à Productus burlingtonensis HALL = Productus (Dictyoclostus) vaughani MUIR-WOOD dans les schistes à Rhodea de Bois-Gamats, au Sud de Laval sur la rive gauche de la Mayenne. Cette partie du Culm n'est donc pas limnique, mais doit être considérée comme semi-paralique. D'autre part, Dictyoclostus vaughani MUIR-WOOD est une forme du Tournaisien (Tn 2b) de Belgique. (F. DEMANET, 1958, p. 61) ; ainsi le Culm de cette région serait en partie tournaisien.

La flore de cette même localité, étudiée par le chanoine CARPENTIER (1925), composée de fins débris de Rhodea, de fragments d'Adiantites, de débris d'Asterocalamites et surtout d'écorces de Lepidodendron corrugatum DAWSON ne permet aucune conclusion stratigraphique.

VALLEE DE LA MAYENNE : FLANC SUD DU BASSIN

I - LOCALISATION ET DESCRIPTION DES AFFLEUREMENTS

Sur le flanc sud du bassin de Laval (fig. 1) dans la région d'Entrammes, les sédiments du Culm sont transgressifs sur une formation complexe notée "s4-3", sur la carte géologique au 1/80 000 de Château-Gontier, appartenant à la fois au Silurien supérieur et à la base du Dévonien.

Le substratum antécarbonifère ayant pu fournir des matériaux qui se retrouvent dans les poudingues, est ainsi constitué : l'Ordovicien inférieur est représenté par le "Grès Armoricain", l'Ordovicien moyen par les Schistes à Calymènes et l'Ordovicien supérieur se montre sous deux faciès : Schistes à Trinucleus et Grès à Calymenella. Le Silurien inférieur ou Valentien est constitué par un niveau de grès : le "Grès Culminant"; des schistes et quartzites avec ampélites caractérisent le Wenlockien et le Ludlovien. La partie supérieure de cet étage passe insensiblement au Gédinnien qui présente le même faciès.

Le Siegénien comprend , à la base, les Grès à Platyorthis monnieri, au sommet, les Schistes, Calcaires et Grauwackes à Athyris undata. Les termes lesplus élevés du Dévonien existant dans la région sont les Schistes, Calcaires et Grauwackes à Phacops potieri de l'Emsien-Couvinien inférieur.

Les premiers affleurements de Culm étudiés sont situés dans le chemin d'accès à la ferme de la Véronnière, à partir de la route joignant Entrammes à Nuillé-sur-Vicoin (point A, fig. 1).

A la base de la série, les échantillons semblent pouvoir être rapportés à la blaviérite. Cette roche a été examinée par J. de LAPPARENT (1909) qui considère la blaviérite comme une rhyolite épanchée au commencement du Carbonifère et plus précisément à la base du Culm. En plaque mince, les échantillons de la Véronnière apparaissent entièrement sériciteux et les quartz ont des contours quelconques : ils correspondent au premier type de pâte décrit par J. de LAPPARENT (1909, p. 97).

Faisant suite à cette roche éruptive, des sédiments plus ou moins schisteux, gris clair à gris-noir, stratifiés, présentent un pendage 30° Sud. Certains niveaux à grain fin montrent, au microscope polarisant, dans une pâte extrêmement abondante et riche en phyllites micacées, de petits débris de quartz. La matrice paraît avoir flué et s'est souvent infléchie, pour entourer les débris plus importants. D'autres échantillons montrent,à l'œil nu, des grains nettement plus gros et paraissent constitués surtout de débris de roches volcaniques apparentées à la blaviérite et de fragments de roches quartziques. Au microscope, on constate que des lits de matériel fin, parfois assez épais, se rencontrent en stratification entrecroisée avec les lits plus grossiers. Dans ceux-ci, on observe de très grands cristaux de

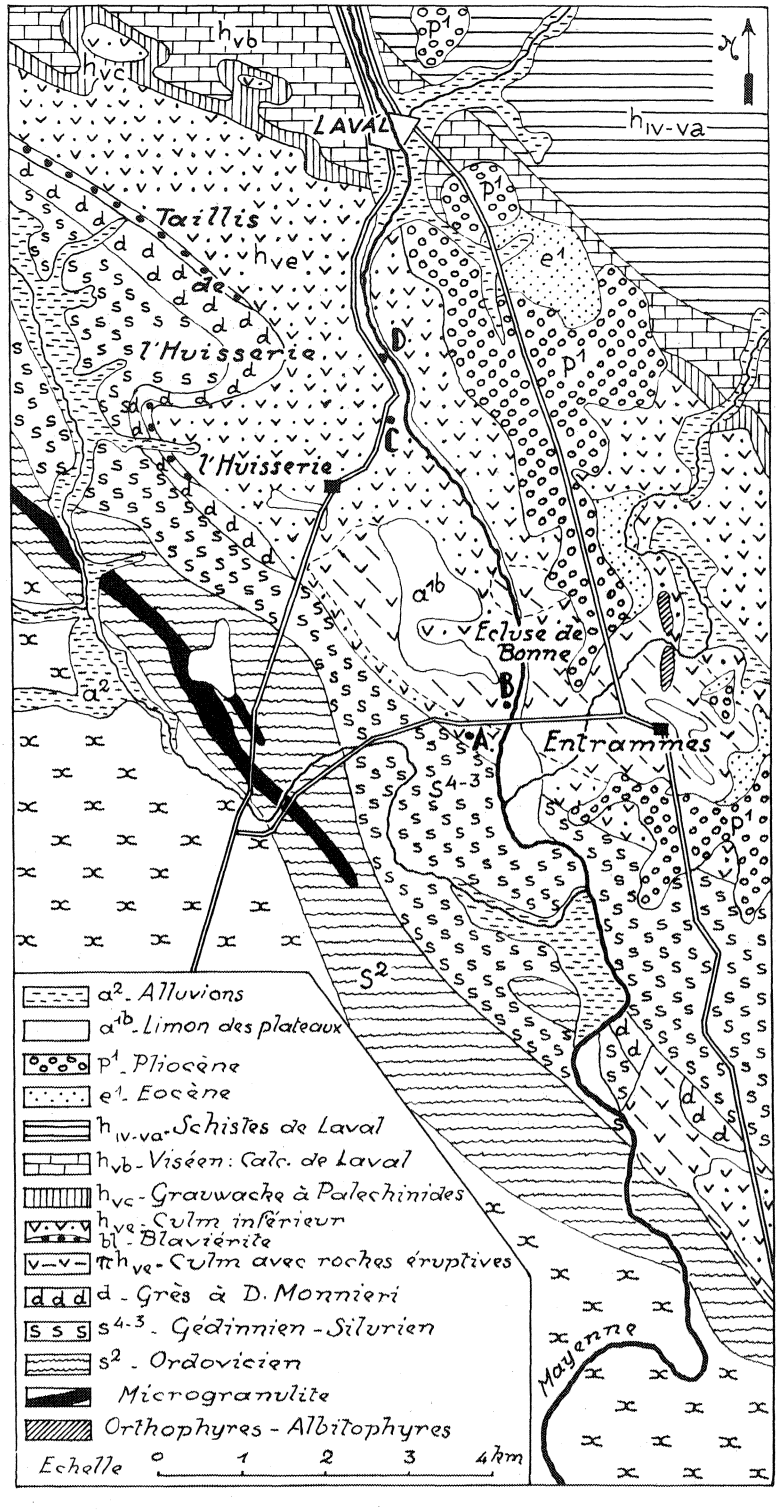


Fig. 1 - Flanc sud du bassin de Laval, de part et d'autre de la Mayenne, d'après la carte géologique au 1/80 000.

feldspaths et de quartz à extinction roulante. Les zones fines présentent de nombreux petits plissottements. Le caractère essentiel qui ressort de l'examen des plaques minces est le manque de classement des différents éléments. En outre, l'altération des roches ne permet pas de distinguer si ces sédiments sont de véritables tufs volcaniques ou s'il s'agit de roches sédimentaires remaniant des éléments volcaniques. Il semble, cependant, que les niveaux grossiers du haut de la série correspondent à des tufs.

Les schistes ardoisiers affleurant le long de la route d'Entrammes à Nuillé présentent une schistosité de flux. Les produits phylliteux (muscovite, séricite, chlorite et un peu de biotite) sont nettement orientés suivant la direction de schistosité. La présence de graphite accompagné de poches d'étirement comparables à celles observées pour quelques grains de quartz, indique que la roche a subi un dynamométamorphisme (P. FOURMARIER, A. PELHATE, B. AUVRAY, 1965 p. 22).

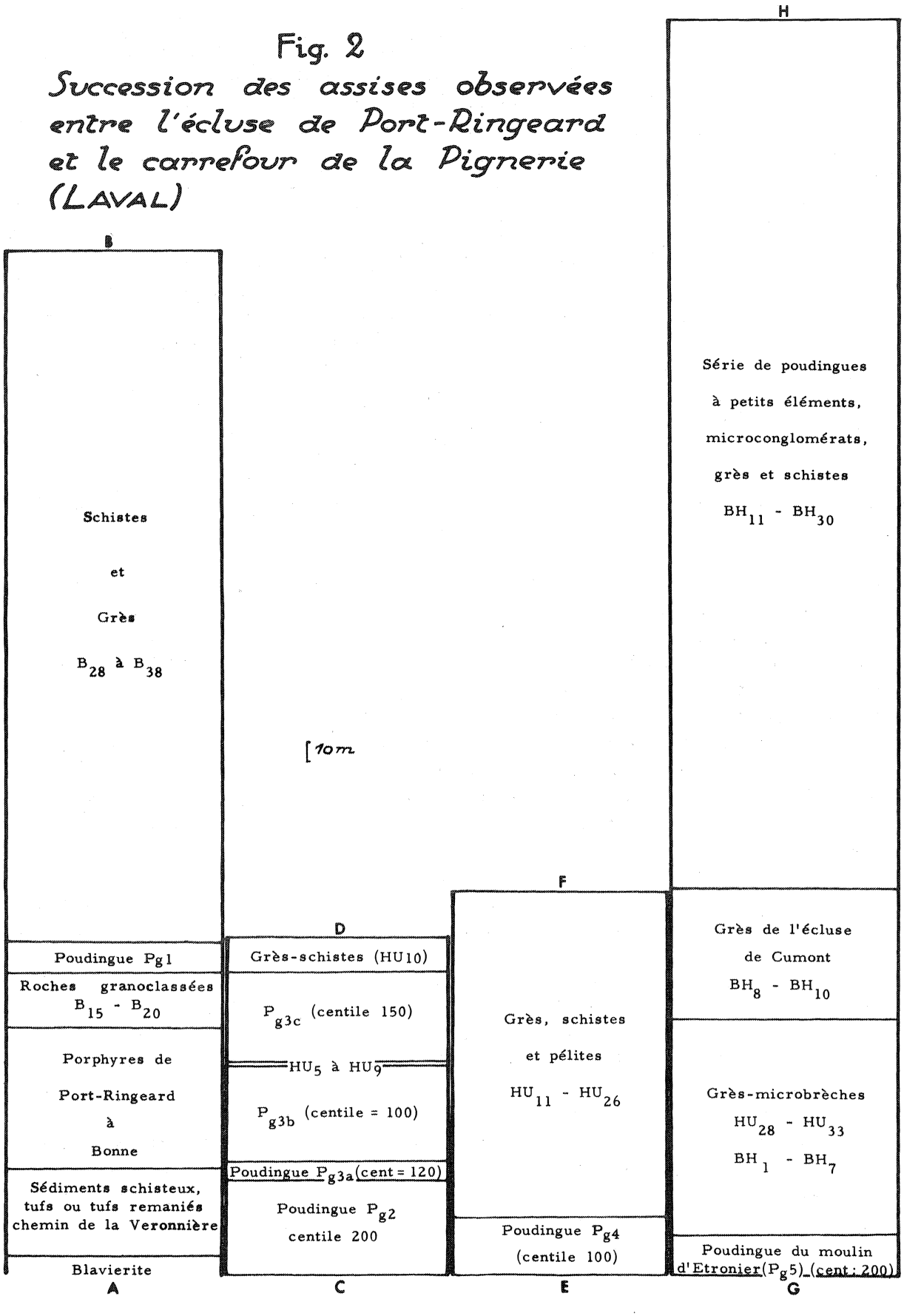
La coupe a été, ensuite, poursuivie le long de la rive droite de la Mayenne, du Sud vers le Nord, à partir de l'écluse de Port-Ringeard (B, fig. 1) sur le chemin de halage et dans les bois qui dominent la Mayenne. Les échantillons prélevés, à partir de l'écluse de Bonne et jusqu'à la fin de la coupe, ont été numérotés et affectés respectivement des lettres B (Bonne), HU (l'Huisserie), et BH (Bois de l'Huisserie) fig. 1 et 2.

Des porphyres rhyolitiques sont intercalés dans le Culm. Ils ont été étudiés par E. RAGUIN et R. ZVEREFF (1946). Ce sont des "rhyolites à phénocristaux de quartz, d'albite et d'orthose". Ces formations s'observent entre l'écluse de Port-Ringeard et celle de Bonne. Au sommet de cette série volcanique, les rhyolites dévitrifiées et altérées sont en contact avec des roches grisâtres assez lourdes, qui sont, soit grenues et granoclassées, (B 17; B 18), soit micacées et affectées alors d'une schistosité plus ou moins marquée (B 15; B 16). Ces niveaux stratifiés ont une direction N. 115° E et un pendage vers le Sud-Ouest.

Au-dessus de la série volcanique, apparaît un poudingue de 10 m de puissance environ (Pg 1). Les galets constitués de quartz, de schiste, de blaviérite et surtour de grès, n'ont pas d'orientation privilégiée. Le ciment est grossier et de couleur verdâtre, très dur, de sorte qu'il est impossible d'extraire les galets pour étudier avec précision leur morphométrie. Faisant suite à ce poudingue, affleurent des roches d'aspect semblable à celles qui ont été décrites précédemment, mais présentant un granoclassement à grande échelle, depuis l'échantillon de base B 28, à très gros grain en passant par un niveau à grain moyen B 29 pour aboutir à des pélites très fines dans lesquelles le ciment argileux prédomine nettement sur les grains de quartz très petits (B 30; B 31) ; dans les affleurements suivants, la seule différence, à l'œil nu, entre les divers sédiments réside dans le grain de la roche et on voit se répéter à plusieurs reprises la succession : sédiments grossiers, fins

Fig. 2

Succession des assises observées entre l'écluse de Port-Ringeard et le carrefour de la Pignerie (LAVAL)



et très fins (B 32; B 33; B 34; B 35; B 38).

Apparaît ensuite un poudingue Pg 2, de 2 m de puissance, constitué de galets de grès blanc et noir et de quartz. Le ciment est abondant par rapport aux galets (23,5 % de galets, 58,5 % de ciment). Le premier centile, déterminé suivant la méthode de A. CAILLEUX (1959, t. I, p. 149), est égal à 200 mm. Un joint de roche gris clair sépare ce banc Pg 2 des autres bancs de poudingues Pg 3. Le premier niveau Pg 3 a un premier centile égal à 120 mm. La puissance est d'environ 50 m. Le ciment est légèrement verdâtre et est constitué de débris de roches quartziques et de quelques grains de quartz extrêmement fins de dimension allant de 124μ à 43μ, emballés dans une pâte abondante et micacée.

Les galets les plus gros sont formés,pour la plupart,par du grès (grès quartziteux, grès micacé), les galets les plus petits par du quartz filonien. Les différents bancs de poudingues Pg 3b et Pg 3c, respectivement de premier centile 100 mm et 150 mm sont séparés par de petits lits de roches gréseuses et schisteuses gris-vert (HU 5; HU 6; HU 7; HU 9). Une autre succession de poudingues Pg 4 affleure ensuite avec les mêmes caractères que les précédents (premier centile 150 mm).

Puis les affleurements montrent sur une distance de 200 m, une alternance plus ou moins régulière de grès grossiers et fins, micacés, de pélites de couleur grise et noire (HU 10; HU 11; HU 12; HU 13; HU 14; HU 15; HU 16; HU 19; HU 20; HU 24; HU 25; HU 26). La direction déterminée sur le niveau de grès micacé HU 11 indique N. 130° E et le pendage est de 50° vers le Sud-Ouest. Les strates HU 14 et HU 15 affectent une position sensiblement horizontale le long du chemin de halage, parce qu'elles se présentent alors en direction. Plus loin,les couches ont la direction N.110° E ; le pendage a changé de sens et se fait vers le Nord-Est suivant un angle de 60° ; puis il s'oriente à nouveau vers le Sud-Ouest dans les derniers affleurements de microconglomérat HU 25 et de grès micacé HU 27, sans qu'il ait été possible de localiser l'axe du pli, en raison de l'état fragmentaire des affleurements situés dans les bois dominant la Mayenne.

En remontant la vallée, on observe de nouveau un poudingue à très gros éléments (Pg 5). Celui-ci affleure sur le chemin de halage un peu avant le moulin d'Etronier (Point C, fig. 1). Les galets sont constitués de quartz, de grès fin noir psammitique, de grès quartziteux blanc, de grès feldspathique ; ils sont assez anguleux et on est tenté de parler de brèche. Le premier centile est égal à 200 mm. Le quartz est particulièrement abondant et tranche nettement sur la pâte grisâtre.

La coupe se poursuit le long de la route qui va, de l'Huisserie à Laval et qui longe, à cet endroit, la Mayenne. Les échantillons prélevés proviennent d'affleurements recouverts par les bois, qui surplombent la rivière ; ils sont constitués d'une succession de grès, de microconglomérat (HU 28), de grès micacé, de pélites gris clair, de schistes à débris organiques (HU 30), de microconglomérat (HU 31), de pélites claires,de grès micacé, de grès

grossier, de grès micacé feuilleté (BH 1) présentant une direction N.120° E et un pendage de 20 ° vers le Nord-Est, de microconglomérat (BH 3), de schistes noirs (BH 4), de pélites fines vert sombre (BH 5), de microconglomérat, de grès fin noirâtre ; cet ensemble ayant une puissance de 25 m environ.

Après une faible discontinuité dans les affleurements, on observe, sur 4 m de puissance, d'abord des grès micacés présentant une certaine schistosité, puis un poudingue à éléments d'un cm environ, puis,de nouveau,des grès micacés.

Ensuite, de puissants affleurements de grès surplombent l'écluse de Cumont (Point D, fig. 1). La roche se présente alors en gros bancs de 0,80 à 1 m d'épaisseur. Dans ces strates, s'observe un net granoclassement : à la base, on trouve un sédiment très grossier à éléments visibles à l'œil nu, sous forme de petits galets (BH 9; BH 10), au sommet la roche a un grain fin. Intercalée dans cette série gréseuse, se situe une zone pélitique noire, à environ 5 à 6 m de la base des grès de Cumont.

De nouveau, la série reprend :

- poudingue à petits éléments, microconglomérat, grès fin lité blanc et noir, schiste noir.
- poudingue à petits éléments, grès fin noirâtre, schiste, grès micacé, grès grossier (BH 11), microconglomérat, schiste, grès lités en petits bancs avec passées schisteuses de pendage 50° Sud-Ouest et de direction N 130° E, schistes à débris de plantes (BH 12), microconglomérats (BH 13), à pendage 55° Nord-Est, schistes, grès, microconglomérats (BH 14).
- poudingue à petits éléments (BH 15), grès schisteux, de direction N. 130° E et à pendage de 70° vers le Nord-Est, grès fins micacés (BH 16), schistes, microconglomérat.
- poudingue à petits galets longs de 1,5 cm environ, grès fins, grès micacés (BH 17), grès fins argileux (BH 18), grès grossier, microconglomérat, grès dur, schistes noirs (BH 20) sur plusieurs dizaines de mètres, grès de couleur grise avec filonnets noirâtres (BH 21), pélites (BH 23).
- En continuité avec ces formations et en face de la borne 3 km Laval, des grès à débris de plantes (BH 24) à direction N. 140° E et pendage de 80° vers le Nord-Est, puis des grès fins noduleux, des schistes, des grès, des schistes noirs se succèdent jusqu'au carrefour de la Pignerie.

Au-delà, les affleurements deviennent insuffisants et le contact avec les niveaux supérieurs de la série (Grauwacke à Paléchinides, en particulier) n'est pas visible.

II - ETUDE DES ECHANTILLONS AU LABORATOIRE

A - ETUDE PETROGRAPHIQUE

Les désignations des roches faites sur le terrain, traduisent les aspects divers observés à l'œil nu et principalement le mode de stratification, la schistosité plus ou moins nette, et le grain de la roche. Une telle

description donne l'impression d'une succession monotone d'un grand nombre de termes superposés.

L'étude au microscope polarisant, en faisant apparaître la nature des constituants et la microstructure de la roche, permet de reconnaître un certain nombre de types pétrographiques dont la succession révèle l'évolution sédimentologique du bassin.

1°) les poudingues ont des galets de nature minéralogique différente : (n° 1 et 2 de la série virtuelle locale)

- quartz filonien,
- grès qui, d'après l'examen en plaque mince, correspondent plus précisément à des quartzites, à des grès micacés ou à des grès zonés se clivant facilement,
- roche volcanique dont l'altération rend la détermination difficile ; l'absence de calcite en tant que minéral secondaire d'altération fait penser aux roches acides rhyolitiques.

L'origine des galets de grès zoné est à rechercher dans les grès de l'Ordovicien supérieur correspondant au Grès de Saint-Germain ; il s'agit en effet, d'après la notice explicative de la carte géologique au 1/80 000 de Château-Gontier, d'un "grès de couleur grise, zoné ... avec minces intercalations psammitiques". Les quartzites blancs et noirs appartiendraient au Grès Culminant valentien "constitué de bancs épais de quartzite noir devenant blanc à l'affleurement, injectés de nombreux filonnets de quartz".

La provenance des éléments des poudingues est donc très locale et les fragments volcaniques doivent provenir des rhyolites (blaviérite) de la base du Culm.

2°) roches d'aspect schisto-gréseux correspondant à des microconglomérats classées au n° 3 de la série virtuelle locale

Ces roches sont formées de grands cristaux de quartz, de feldspaths altérés et transformés en produits micacés, de lamelles de micas, de fragments de roches diverses : roches volcaniques altérées se rapprochant des rhyolites observées à la base du Culm et présentant, par exemple, des cristaux de quartz avec golfe de corrosion dans une pâte microgrenue, roches à structure cryptocristalline provenant, sans doute, de la dévitrification de verres volcaniques, roches granitiques composées de quartz associé à du feldspath ou à du mica, roches composées de quartz à extinction roulante, roches sédimentaires (grès quartzite ou grès micacé).

Le ciment, de couleur légèrement verdâtre en lumière naturelle, apparaît de teinte sombre, constellé de paillettes micacées en lumière polarisée. Cette pâte a été extraite par broyage et sédimentation ; la partie argileuse a été étudiée par analyse thermique différentielle et analyse aux rayons X. Il ressort, des résultats obtenus, que les différents ciments sont formés de produits micacés. La nature minéralogique plus précise de ce matériel sera décrite et

les conclusions qui en découlent relativement aux conditions de dépôt seront exposées au paragraphe B. Le ciment peut former un reticulum entre les différents éléments (voir analyse modale - tableau II - HU 5; HU 15; BH 3; BH 7; BH 10; BH 13; BH 27) ou peut constituer des plages étendues entre les fragments de roches (B 18; B 28; HU 24; HU 25).

	% quartz	% feldspaths	% micas	% roches sédimentaires	% roches granitiques et métamorphiques	% roches volcaniques	% ciment
HU_5	7,1	2,85		10,70	23,35	13,30	42,70
HU_6	22,5		26,3				51,20
HU_7	27		1,58		0,2		70,00
HU_9	32,6	3,74		1,12	3,14	0,2	60,00
HU_{11}	30,7	0,5	3,2		6,5		59,00
BH_{11}	50	2,66	1,33	0,85	2		42,5
BH_{19}	53,7	0,60	0,25	0,30	5,30	0,80	39

TABLEAU II : Analyse modale : Culm de la vallée de la Mayenne, flanc sud du bassin de Laval.

3°) roches d'aspect gris verdâtre correspondant à la définition des grauwackes. A l'œil nu, ces roches apparaissent sous deux aspects :

- certaines ont un aspect finement grenu avec un granoclassement souvent visible sur les petits bancs qui ont de 20 à 30 cm d'épaisseur, B 34 (pl. 1, fig. 2), HU 20; BH 11; BH 19 ; elles sont rangées au n° 4 de la série virtuelle locale.

- d'autres présentent, nettement visibles, des paillettes de micas sur des surfaces ondulées privilégiées, le long desquelles la roche se clive facilement, ce qui donne au sédiment une schistosité grossière, B 38; HU 6 (pl. 1, fig. 5) HU 7; HU 9; HU 13; HU 18; HU 26 ; elles sont classées au n° 5 de la série virtuelle locale.

Ces sédiments sont constitués en majeure partie de grains de quartz de forme anguleuse, de quelques feldspaths sans macle visible, de lamelles de micas et de chlorites, de quelques débris de roches identiques à celles des microbrèches, mais plus rares.

Le ciment est abondant et parfois même prédominant (cf. analyse modale, tableau II). Il est formé de produits argileux micacés et chloriteux, associés à de menus débris de quartz. Dans les échantillons grenus,

généralement plus grossiers, le ciment forme parfois des plages étendues. Quelques grains de quartz présentent des contours frangés et les cristaux aciculaires de chlorite pénètrent dans les grains de quartz. Dans les niveaux à schistosité grossière, on décèle nettement la disposition, suivant des plans plus ou moins parallèles, des lamelles de phyllites souvent moulées sur les grains de la roche, alors plus petits que dans les niveaux grenus.

F. J. PETTIJOHN (1957) définit,sous le nom de grauwackes et de subgrauwackes,des roches contenant 25 % ou plus d'éléments instables (feldspaths et fragments de roches) sans autre précision pour les grauwackes et en indiquant que pour les subgrauwackes, les fragments de roches sont plus abondants que les feldspaths. La différence essentielle entre ces deux types de roches réside dans la proportion de ciment et de matrice (p.301). Dans les grauwackes, la matrice interstitielle occupe au moins 15 % de la roche, dans les subgrauwackes elle est en moindre quantité (0 à 10 %).

Les roches étudiées ici sont caractérisées par l'abondance des fragments lithiques qui sont plus fréquents que les feldspaths. La matière interstitielle au grain extrêmement fin est en partie détritique (matrice), mais il est impossible de préciser les proportions relatives de ciment (chlorites authigènes) et de matrice (quartz fin, micas détritiques). Je crois donc sage de ne pas distinguer grauwacke et subgrauwacke. H. G. HUCKENHOLZ (1963) indique comme caractère essentiel des grauwackes le fait de renfermer une grande quantité de feldspath, micas et chlorites, associée à du quartz. E. F. MAC BRIDE (1963) insiste sur la présence de fragments de roches, sur le grand développement de la matrice. Il s'agit dans ces conditions de données pétrographiques précises et aucune confusion n'est possible, comme le pense P. G. BOSWELL (1960). En particulier, aucun critère génétique (profondeur et lieu de dépôt) n'est envisagé.

4°) <u>roches caractérisées, à l'œil nu, par la finesse de leur grain et leur couleur gris verdâtre</u>, commune d'ailleurs à la plus grande partie des sédiments du Culm.

Au microscope, on observe des grains de quartz dont le grain moyen est inférieur à 100μ (BH 1; BH 17; BH 26), peu ou pas de feldspath, quelques lamelles de mica de petite dimension ; le ciment est plus réduit que dans les grauwackes et paraît constitué surtout de chlorites ; c'est ce que j'appelerai grès argileux chloriteux, (correspondant au n° 6 de la série virtuelle locale).

5°) <u>roches schisteuses très fines de couleur gris-vert ou noir</u> (correspondant aux n° 7 et 8 de la série virtuelle locale), contenant quelques rares petits cristaux de quartz dans une pâte abondante,riche en débris micacés, en chlorites et en pyrite (B 30, pl. 1, fig. 1, BH 4; BH 5). L'échantillon B 30 est poreux et en plaque mince, on constate que les cavités correspondant à ces pores, sont de forme presque cubique et que certaines d'entre elles sont en voie de remplissage par des cristaux de micas et de

chlorites se développant à partir des parois. Ces cavités, d'après l'avis de Melle CAILLERE, doivent résulter de la dissolution de cristaux de pyrite et ont dû être remplies postérieurement par des phyllites.

Certaines de ces roches renferment des débris organiques sous forme de matière charbonneuse, qui leur donne une teinte noire (HU 23; HU 30 ; pl. 1, fig. 7 et fig. 8 ; BH 20; BH 25).

B - NATURE DES MINERAUX ARGILEUX DU CIMENT (fig. 3)

Les grès argileux contiennent des chlorites et des argiles micacées avec une grande quantité de quartz très fin. Le ciment des

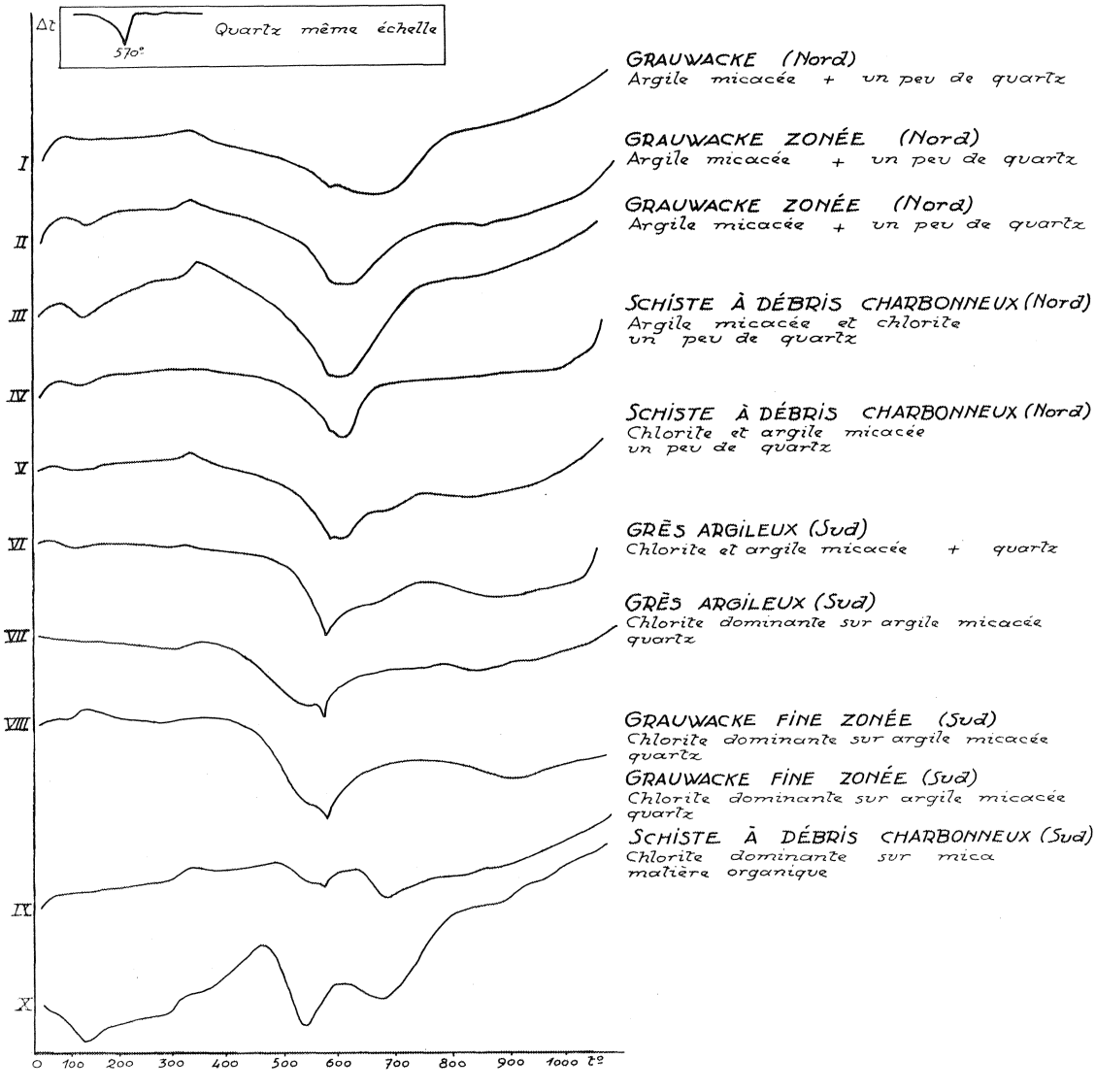


Fig. 3 - Courbes d'analyse thermique différentielle
Culm de la vallée de la Mayenne.

grauwackes est constitué d'un mélange de chlorites-micas associé à du quartz fin et dans lequel dominent les chlorites. Les schistes noirs sont formés d'un mélange chlorites-micas associé à une quantité sensible de matière organique et dans lequel les chlorites ont la plus grande part (J. ESTEOULE et A. P. 1965). Cet ensemble de minéraux correspond à celui signalé habituellement dans les grauwackes (J. C. GRIFFITHS, F. BATES and H. W. SHALDE, 1955).

C - DETERMINATION DES MINERAUX LOURDS

Quelques échantillons de roches prélevées de place en place dans la série étudiée depuis la base jusqu'au sommet, ont été broyés pour extraire les minéraux lourds.

La répartition de ces derniers dans les différents niveaux examinés figure au tableau suivant (tableau III).

	Niveaux étudiés	Bonne 37	Bonne 13	HU_{17}	HU 11 bis	HU_{26}	BH_9	BH_{15}	BH_{14}	BH_{27}
Nombre de grains pour 100 grains transparents	Zircon	*abondant*	*abondant*	91 %	67,5 %	34,8	50,00	65,5	60,5	79,7
	Rutile		+	1 %	7,6 %	9,50	4,50		2,25	1,6
	Anatase				1,9 %		2,25			
	Brookite		+							
	Tourmaline		+	8 %	11,5	53,70	41,00	35,5	35	16,9
	Grenat						1,50			
	Staurotide					1	0,75			
	Andalousite				9,6				2,25	1,1
	Disthène									0,5
	Clinozoïsite				1,9					
	Chlorite					1				

TABLEAU III - Pourcentage des minéraux lourds (Culm, vallée de la Mayenne, flanc sud du bassin).

Les sédiments du Culm de cette région sont caractérisés par des zircons surtout abondants à la base de la formation considérée, par la tourmaline présente à la base et en très grande quantité au sommet, par du rutile et de l'anatase et par quelques minéraux de métamorphisme (staurotide,

andalousite et grenat) de façon sporadique.

Ce cortège de minéraux lourds est semblable à celui rencontré dans la plupart des sédiments primaires antéstéphaniens du massif Armoricain (J. CHOUX,1956).

En dehors des minéraux ubiquistes (oxydes de titane, zircon et tourmaline), il convient de signaler les minéraux de métamorphisme dans certains échantillons, parfois en quantité assez notable (andalousite 9,6 % HU 11 et 2,25 % BH 14).

D - ETUDE GRANULOMETRIQUE ET MORPHOMETRIQUE

Les grains moyens et les indices d'hétérométrie des différents niveaux figurent sur le tableau IV établi à partir des courbes (fig. 4, 5, 6).

Niveaux étudiés	Grain moyen en microns	Indice d'hétérométrie
B 18	180	0,56
B 34	324	0,31
B 35	240	0,45
HU 9	190	0,40
HU 11	164	0,50
HU 13	140	0,40
HU 18 a	112	0,35
HU 20	154	0,45
HU 25	1500	0,78
HU 26	158	0,56

Niveaux étudiés	Grain moyen en microns	Indice d'hétérométrie
BH 3	2 000	0,70
BH 6	97	0,22
BH 10	790	0,45
BH 11	174	0,50
BH 13	640	0,62
BH 16	97	0,27
BH 17	98	0,25
BH 19	230	0,40
BH 26	68	0,34
BH 27	465	0,40
BH 31-32	153	0,45

TABLEAU IV - Grains moyens et indices d'hétérométrie, Culm, vallée de la Mayenne, flanc sud du bassin de Laval.

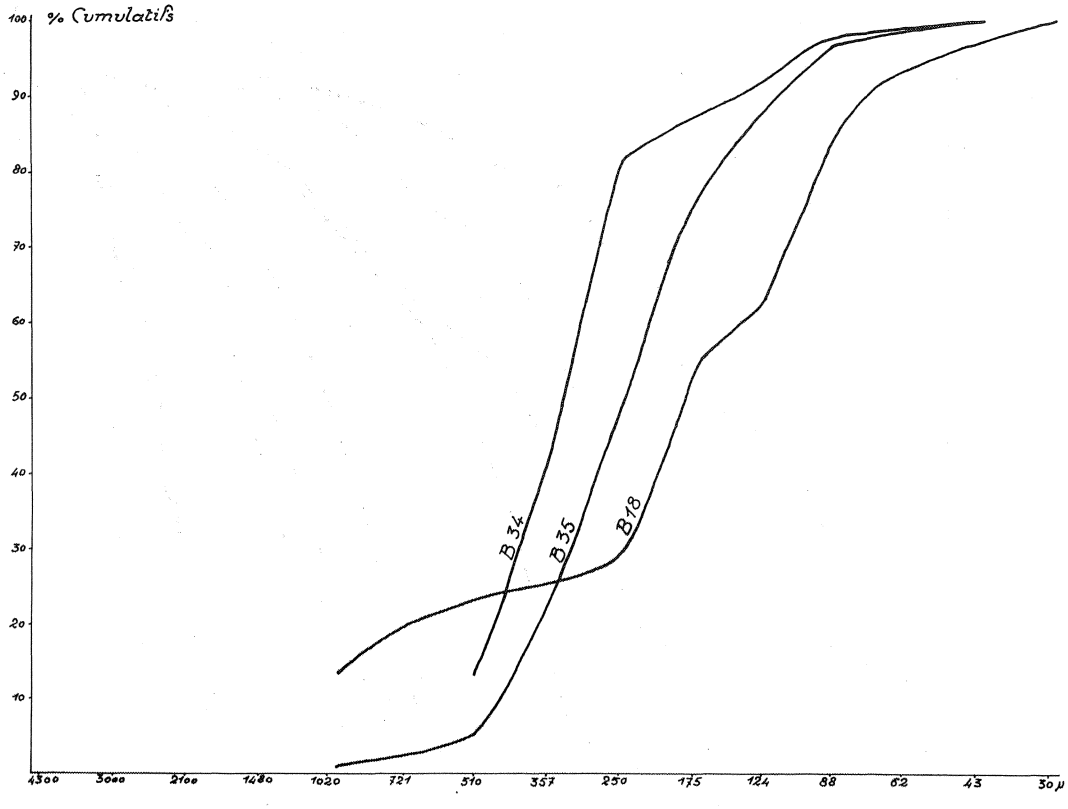


Fig. 4 - Courbes granulométriques (Bonne).

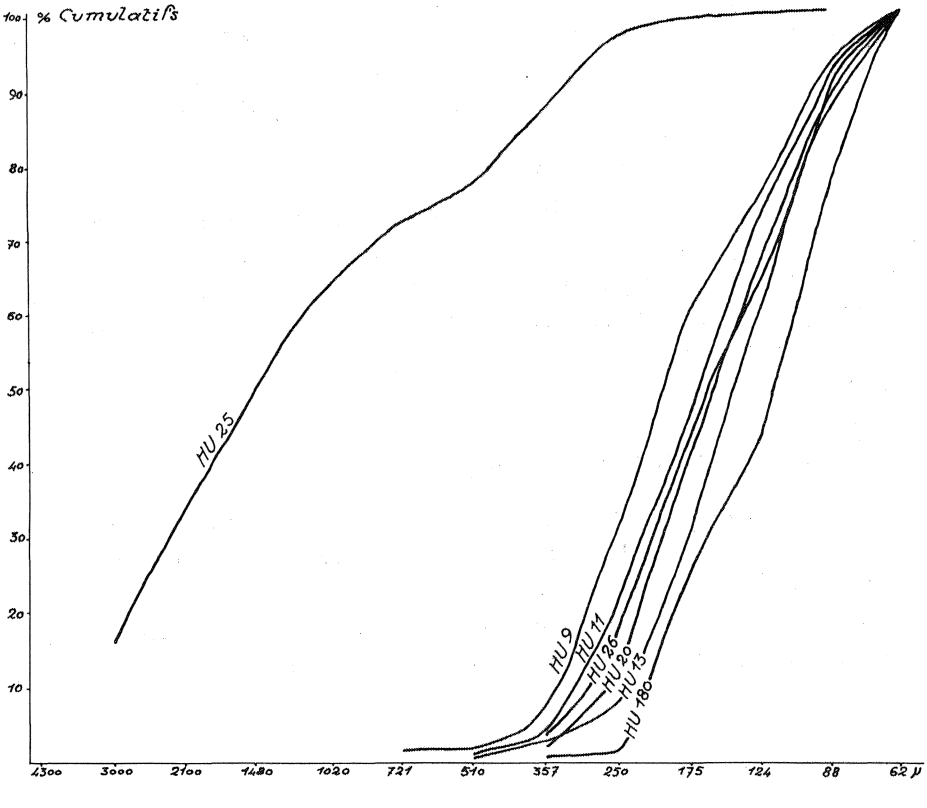


Fig. 5 - Courbes granulométriques (Bois de l'Huisserie).

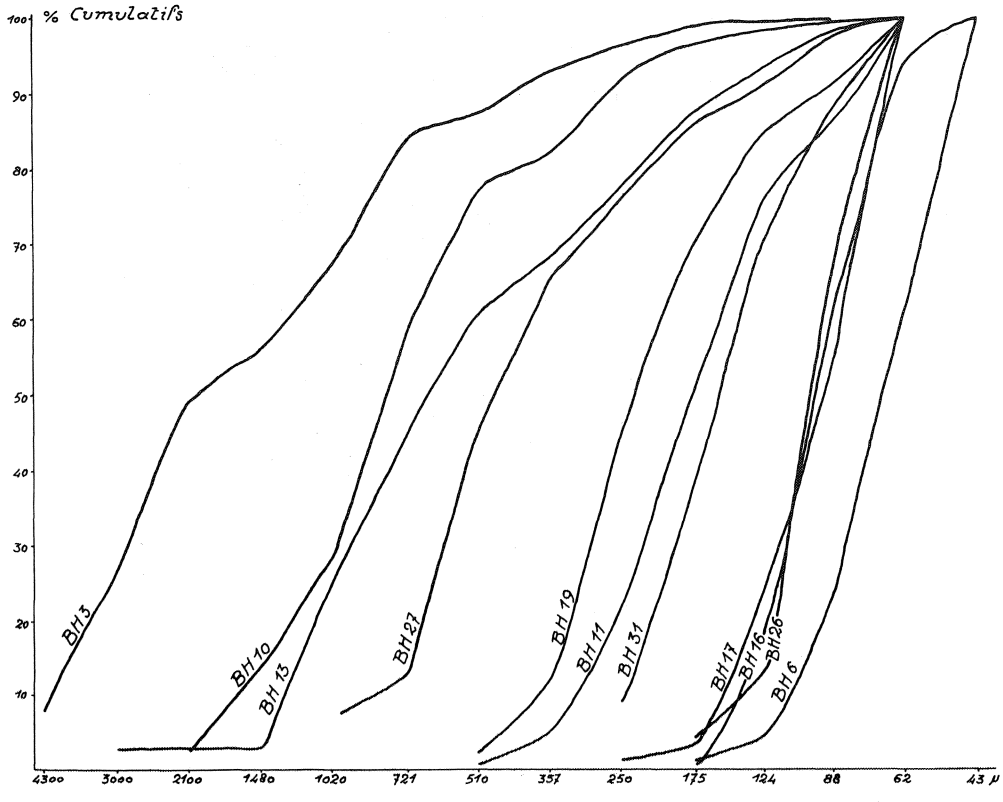


Fig. 6 - Courbes granulométriques (L'Huisserie)

Cet indice d'hétérométrie varie largement suivant les catégories de sédiments envisagés, aux environs de 0,70 pour les sédiments les plus grossiers (microbrèches B 18; BH 3; BH 10; BH 13; BH 27; HU 25), répartis autour d'un médian de 0,45 pour les grauwackes (B 34; B 35; BH 11; BH 19; BH 31; HU 9; HU 11; HU 13; HU 18.a; HU 20; HU 26), et seulement de 0,25 pour les grès argileux (BH 6; BH 16; BH 17; BH 26). La faible dispersion des valeurs d'indices autour de 0,45 traduit pour les grauwackes la constance de l'agent responsable de la sédimentation ; or, ces valeurs de 0,45 et O,25 sont comparables à celles signalées par A. CAILLEUX (1959, t. I, p. 179) et relatives à des plages marines, tandis que les valeurs trouvées pour les microconglomérats font penser à un faible remaniement d'un matériel fluviatile par la mer.

L'indice d'émoussé des grains $\frac{2\,r\,l}{Ls}$ (A. CAILLEUX, 1959, t. I, p. 109) a été calculé, sur plaque mince, pour différentes classes dimensionnelles des grains de chaque échantillon, et les valeurs médianes figurent au tableau suivant (tableau V).

Les valeurs obtenues se situent dans le cadre de l'éventail des sédiments marins, au moins, si l'on admet que ces résultats sont comparables

à ceux obtenus pour les grains d'un sable.

Niveaux étudiés	Dimensions des grains en microns						
	1480-1020	1020-721	721-510	357-510	250-357	175-250	124-175
HU_4			235	173			
HU_5					129	220	
HU_9					116	150	100
HU_{11}					210	167	
BH_{10}	138	171	209	280			
BH_{19}				174	220	286	
BH_{27}		130	114	148			

TABLEAU V - Indices d'émoussé (Culm Vallée de la Mayenne, flanc sud du bassin de Laval).

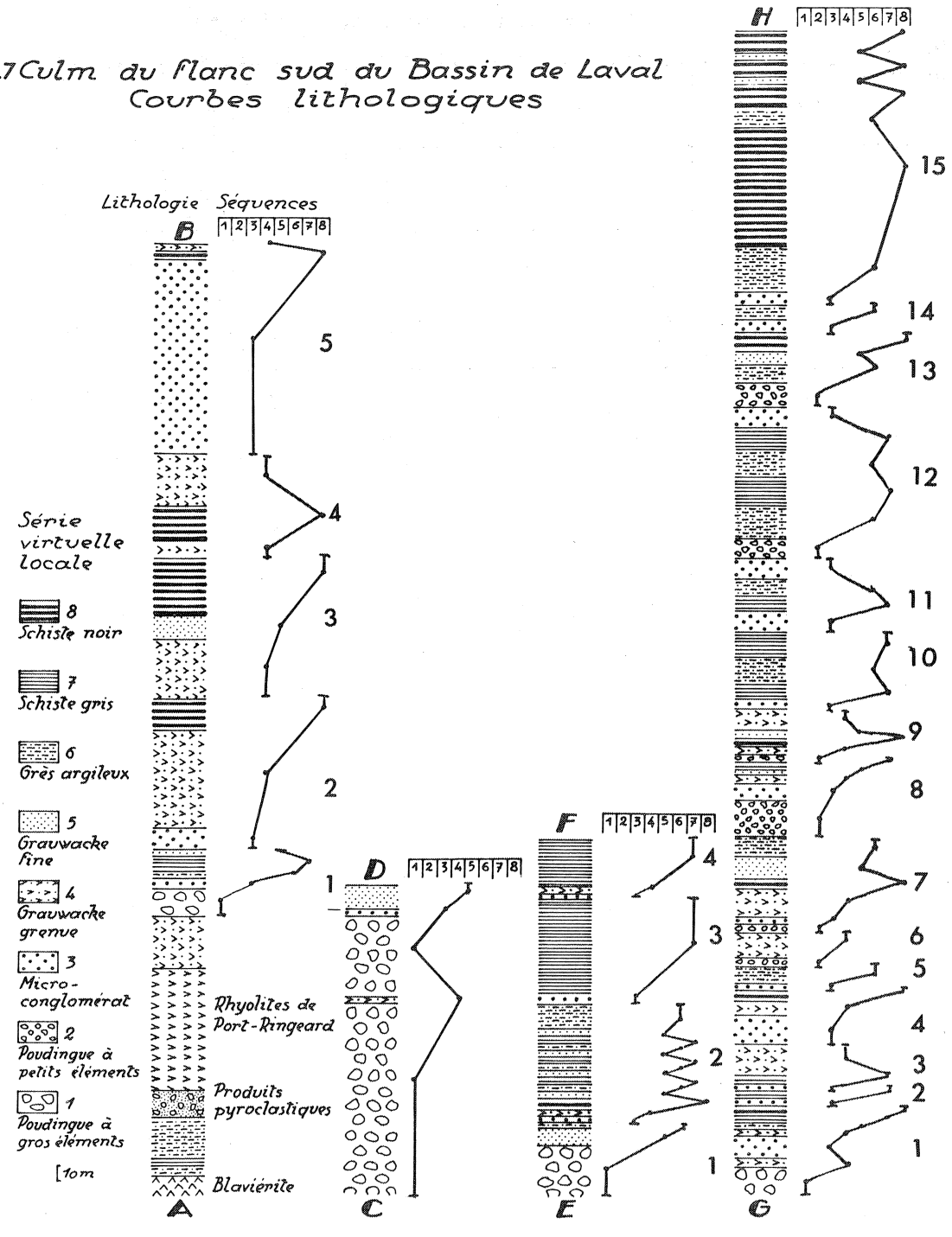
Ainsi que je l'ai indiqué (p. 23), la morphométrie des galets des poudingues à gros éléments n'a pu être entreprise, par suite de l'impossibilité de les dégager de leur ciment.

III - ESSAI D'ANALYSE SEQUENTIELLE (fig. 7)

Les résultats de l'étude pétrographique détaillée des sédiments du Culm permet d'établir ainsi la série virtuelle locale :

8. Schiste noir à débris végétaux
7. Schiste gris
6. Grès argileux
5. Grauwacke fine
4. Grauwacke grenue

Fig.7 *Culm du flanc sud du Bassin de Laval*
Courbes lithologiques



3. Microconglomérat

2. Poudingue à petits éléments d'un à deux centimètres

1. Poudingue à gros éléments (le premier centile variant de 120 mm à 200 mm).

Il s'agit d'une série détritique et colloïdale (A. LOMBARD, 1956).

En considérant les bancs de poudingues à gros éléments comme des discontinuités majeures dans la sédimentation, on peut dire que la série étudiée comprend quatre séquences de premier ordre, positives dans leur ensemble, la dernière, seule complète, allant des poudingues à gros éléments aux schistes noirs. Mais chacune de ces séquences est constituée de phases irrégulières formées par la succession de séquences de deuxième ordre, positives et négatives, variables par le nombre des termes et l'épaisseur (fig. 7).

Dans la séquence majeure AB, on peut déceler quatre séquences mineures de second ordre, en prenant comme terme de base soit les microconglomérats, soit les grauwackes grenues. Ces séquences ne sont pas rythmiques et sont soit positives, soit biséquentielles (+-).

La séquence majeure CD représente une seule phase de sédimentation.

La séquence EF comprend quatre séquences mineures. La deuxième séquence mineure est constituée d'un terme de base granoclassé, puis d'un ensemble de bancs débutant par des schistes noirs, et se poursuivant par une alternance de grauwacke fine, grès argileux, schiste.

Bien que les recherches aient été faites à une échelle différente, les résultats de cette analyse peuvent être comparés à ceux obtenus par C. GAGNY (1962) dans le Culm des Vosges méridionales. La séquence mineure 2 de EF peut être rapprochée de ce qui a été décrit par cet auteur (p. 157), et il est commode d'adopter le terme de "complexe terminal" qu'il propose, pour désigner ce qui, dans cette séquence, succède au terme de base granoclassé.

La séquence GH présente de nombreuses séquences mineures ; une certaine ressemblance peut être décelée entre les séquences 7, 9, 10 et 11, formées, d'une part, d'un terme de base granoclassé (poudingue à petits éléments, microconglomérat, grauwacke grenue) mais un de ces lithotopes peut être absent, et, d'autre part, d'un "complexe terminal".

Cependant, il faut signaler toutefois que, dans une telle séquence, la sédimentation terme de base - complexe terminal ne se répète pas dans toute la série, elle n'a été réalisée que pendant un certain temps.

IV - DIAGRAMMES DE PASSEGA

Afin d'essayer de préciser le mode de sédimentation, j'ai tracé les diagrammes CM de PASSEGA pour les séquences majeures EF et GH. Le diagramme CM obtenu pour le complexe terminal de EF (fig. 8) correspond à un

courant de traction marin ; la forme en L court distinguant les courants marins de ceux des rivières ; en effet, le courant marin transporte sa charge en suspension et peut cependant véhiculer un matériel plus grossier sur le fond, par traction. Des courants de ce type se rencontrent sous des profondeurs d'eau très modérée. Le diagramme CM établi pour la séquence GH est plus difficile à interpréter (fig. 9). Pour les termes de base, le diagramme est celui des turbidites. Pour les échantillons des complexes terminaux, le diagramme est celui d'un courant tractif. Donc, seuls les termes de base auraient été déposés par des courants de turbidité. La granulométrie confirme l'hypothèse émise par C. GAGNY (1964).

Ces turbidites sont des undaturbidites (A. RIZZINI et R. PASSEGA ,1964) : ce sont des dépôts présentant des diagrammes mixtes de dépôts de courants de traction et de courants turbides (F. VEZZANI et R. PASSEGA, 1963). Ces sédiments seraient des "dépôts intermédiaires entre les dépôts de vagues et les turbidites" ayant comme origine "des suspensions formées par de violentes tempêtes" (A. RIZZINI et R. PASSEGA,1964, p. 71). Les undaturbidites apparaissent par suite d'un apport important de sédiments sur une pente relativement faible (R. PASSEGA,1962) ou localisées dans un chenal, comme L. M. VAN STRAATEN (1959) l'a observé au front du delta du Rhône.

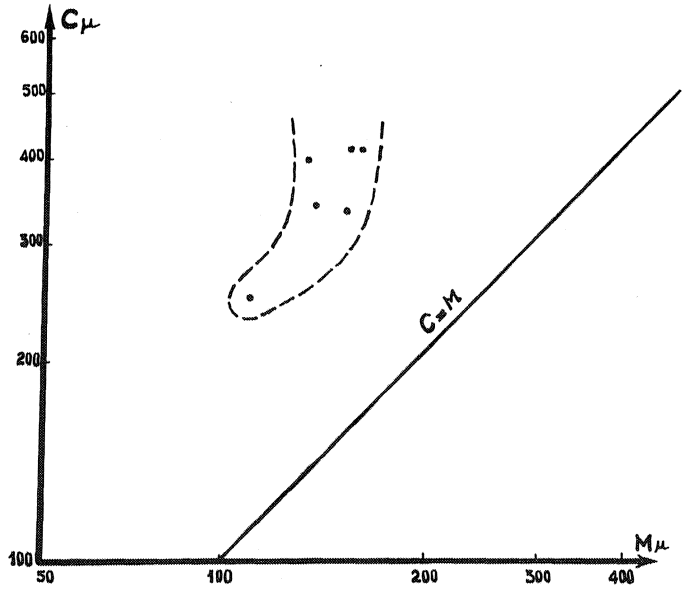


Fig. 8 - Diagramme CM : Séquence EF
Culm, vallée de la Mayenne, Sud de Laval.

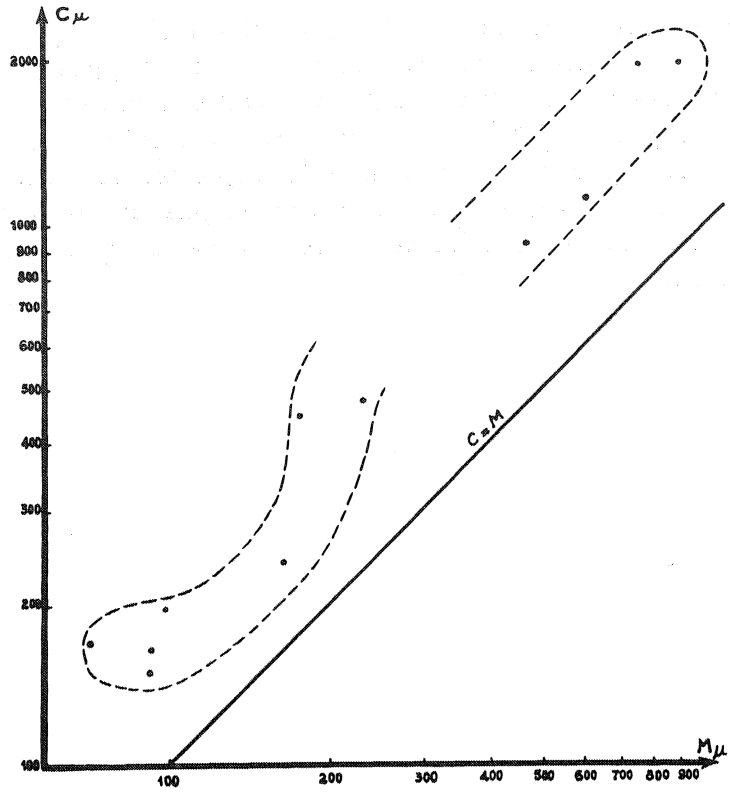


Fig. 9 - Diagramme CM : Séquence GH
Culm, vallée de la Mayenne, Sud de Laval.

Des quatre conglomérats situés à la base des séquences majeures, seul le conglomérat de la séquence CD est surmonté d'une série granoclassée. Cette particularité de la séquence CD a été décrite dans les conglomérats du Culm du Sauerland et du Oberharz par PH. KUENEN et J. E. SANDERS (1956) qui concluent, dans ce cas, à un dépôt de turbidité. Le fort pourcentage de ciment, dans la séquence CD, par rapport aux galets est en faveur de cette hypothèse. Pour ces auteurs, les conglomérats auraient été entrainés par glissement dans les eaux profondes. Cependant, les recherches récentes ont établi que les dépôts détritiques grossiers, actuels, n'atteignent pas le bord externe des plates-formes continentales (L. BERTHOIS, 1960).

V - CONCLUSIONS

- L'origine du matériel grossier est locale et se situe dans les formations sédimentaires siluro-dévoniennes et dans les roches volcaniques épanchées à la base de la série carbonifère. Les grauwackes conservent dans une

pâte argileuse des débris de ces roches voisines, associés à des fragments de roches granitiques ou métamorphiques.

- La mise en place de ce matériel s'est faite de façons différentes au cours du dépôt. A certains moments, par suite de l'apport important de sédiments et de la faible pente, des undaturbidites ont pris naissance, accompagnées peut-être par des conglomérats. Le remaniement superficiel de ce matériel se faisait par courant tractif (complexes terminaux). A d'autres périodes, l'apport détritique était moindre et,par suite, les débris végétaux amenés dans le bassin de sédimentation, à ce moment peu profond, pouvaient subir la houillification.

VALLEE DE LA MAYENNE : FLANC NORD DU BASSIN

(ENVIRONS DE CHANGE)

I - LOCALISATION ET DESCRIPTION DES AFFLEUREMENTS

Au Nord de Changé, le long de la Mayenne, les affleurements de Culm inférieur ne sont représentés que par des bandes étroites ; j'ai étudié, en détail, parce qu'elle se présentait en affleurement continu, la bande la plus septentrionale. Elle repose en discordance sur les Schistes et Grauwaches de décalcification du Siegénien, sa partie supérieure, tronquée par faille, est en contact avec les Grès à Platyorthis monnieri du Siegénien inférieur.

Le contact entre les schistes dévoniens très ardoisiers fossilifères et le Culm inférieur est visible dans le fossé de la route en face du moulin de Belle-Poule, en Changé. Les schistes dévoniens sont surmontés par des pélites, extrêmement riches en chlorites et en minéraux opaques, présentant des phénomènes de silicification secondaire. La direction des assises carbonifères est N 130° E, le pendage 70° vers le Sud-Ouest, la direction de la schistosité des assises dévoniennes est aussi N 130° E et le pendage de cette schistosité est 80° vers le Sud-Ouest de telle sorte que le contact entre les deux formations apparaît subconcordant.

La série carbonifère se continue par un poudingue à gros éléments de 1,70 m d'épaisseur (premier centile 100 mm (CH 1; CH 2; CH 3; CH 4). Viennent ensuite un microconglomérat (puissance 2,55 m) à granoclassement net (CH 5; CH 7), des roches verdâtres à aspect schistoïde sur 0,60 m (CH 8) ; puis, de nouveau, un microconglomérat sur 1,30 m (CH 9), des grès grossiers sur 0,40 m (CH 10), des grès fins (0,40 m) (CH 11), des grès grossiers (0,30 m) (CH 12), enfin des grès fins à schistosité grossière sur 0,50 m (CH 13).

Un deuxième poudingue à gros éléments est alors visible (1,20 m de puissance) (CH 14; CH 15; CH 16; CH 17). Affleurent ensuite des grès hétérogènes grossiers (0,95 m) (CH 18), des grès fins (0,60 m) (CH 19), des schistes psammitiques (0,95 m) (CH 20).

Viennent ensuite :

- un poudingue à gros éléments (1,90 m) (CH 21), des roches vertes à délit grossièrement schisteux (0,95 m) (CH 22), des grès (2,40 m) (CH 23), un poudingue à petits éléments (0,30 m) (CH 24), des schistes gris (1,50 m) (CH 25).
- un poudingue à gros éléments (2,00 m) (CH 26; CH 27; CH 28; CH 29; CH 30), un grès hétérogène grossier (1,00 m) (CH 31), un grès hétérogène fin (1,00 m) (CH 32), des psammites (0,45 m) (CH 33), une alternance de grès et de schistes (2,80 m) (CH 34), un grès hétérogène fin et des roches granoclassées à délit schisteux (4,25 m) (CH 35; CH 36; CH 37; CH 38; CH 39; CH 40).
- un poudingue fossilifère à éléments de 2 à 3 cm, (CH 41; CH 42) (0,30 m), à 40 m du premier poudingue observé, un grès hétérogène fossilifère (0,20 m) (CH 43), un grès fin fossilifère (0,50 cm) (CH 44). La taille des débris fossilifères varie en fonction des grains moyens des lithotopes successifs. Les éléments reconnaissables sont des débris de tiges d'Encrines, de tests de Brachiopodes, de Polypiers ; deux organismes entiers ont pu être dégagés : un Spirifer très déformé, indéterminable, et un Pleurodyctium.

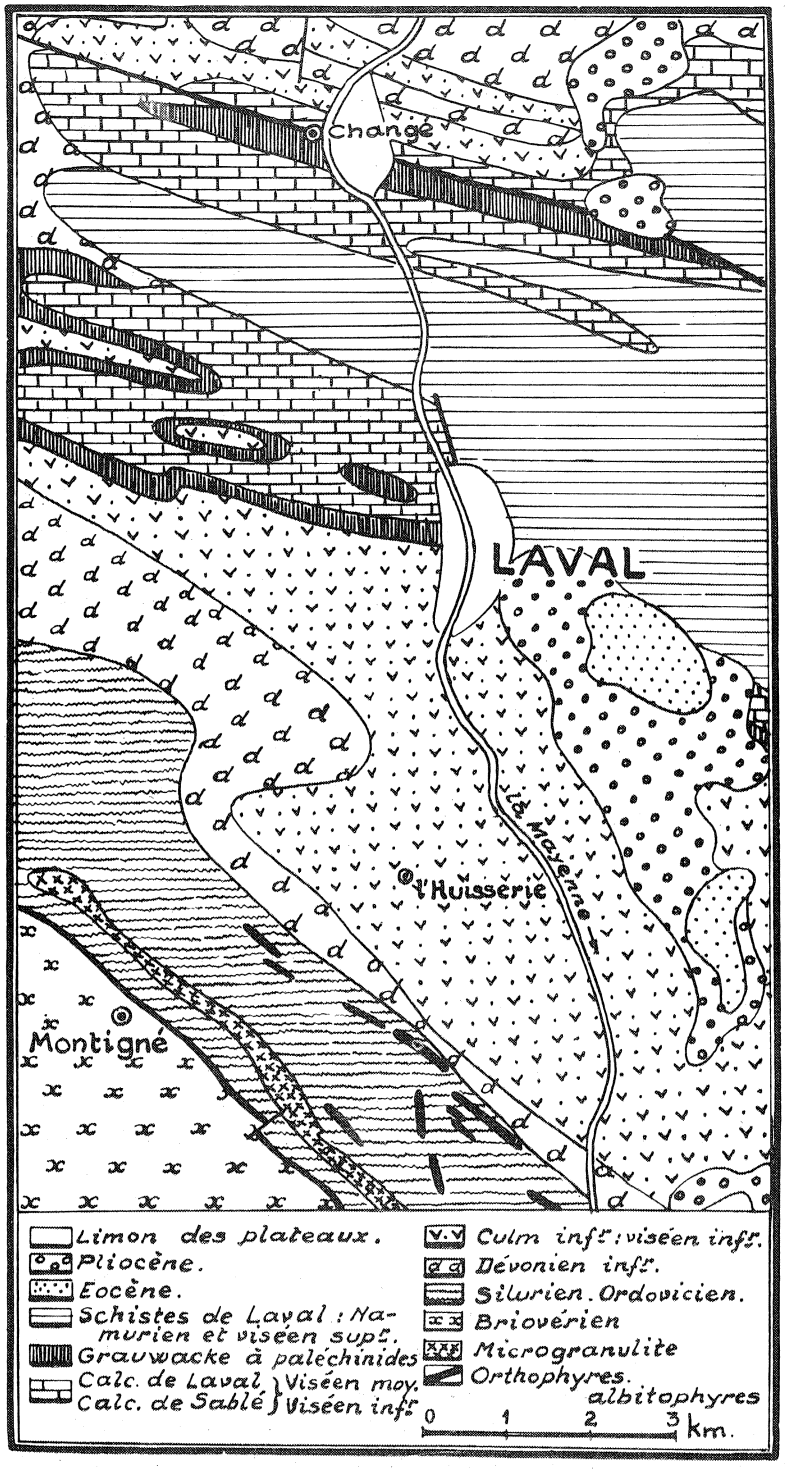


Fig. 10 - Situation des affleurements étudiés (d'après la carte géologique au 1/80 000 de Laval et Château-Gontier).

Le niveau fossilifère est surmonté par des roches à délit schistoïde (0,25 m), des grès (0,20 m), des schistes, un poudingue à petits éléments (CH 45), un grès hétérogène granoclassé (2,30 m) (CH 46), des schistes gris (0,45 m) (CH 47), des schistes (0,45 m) (CH 49), des schistes à débris charbonneux (0,25 m) (CH 50).

La succession suivante est, ensuite, observée :

- un poudingue à gros éléments de calcaire prédominant et à pâte schisteuse (0,30 m), un grès hétérogène (0,45 m) (CH 48), des grès psammitiques (1,10 m).

- un poudingue à gros éléments (1,40 m) (CH 51), un grès hétérogène grossier granoclassé (0,95 m), des schistes bleutés durs avec bancs plus grenus (2,80 m), des schistes francs et un grès fin (0,45 m) (CH 52).

- un poudingue à ciment gréseux avec galets de calcaire (0,95 m) (CH 53), un poudingue à ciment détritique hétérogène (4,25 m) (CH 54), un grès hétérogène fin (0,75 m) (CH 55), un grès fin à délit schistoïde (4,70 m) (CH 56), des schistes gréseux (1,40 m).

- un poudingue à gros éléments (premier centile 250 mm) (11,50 m) (CH 57), un poudingue à petits éléments (0,25 m) (CH 58), un grès hétérogène grossier (0,45 m) (CH 59), des schistes (4,70 m) (CH 60).

- un poudingue à gros éléments (1,50 m) (CH 61), un grès hétérogène grossier (2,30 m).

- un poudingue à gros éléments (1,40 m), un poudingue à petits éléments (1,40 m), un grès hétérogène grossier 1,00 m (CH 62), des schistes gris, un poudingue à petits éléments et à pâte schisteuse, un grès hétérogène grossier sur 4,70 m.

Les affleurements sont masqués par la végétation sur quelques mètres et puis, de nouveau, affleurent :

- un poudingue à gros galets, à ciment détritique et à délit schisteux (9,50 m) (CH 63), un grès hétérogène à grain fin (CH 64), des pélites à délit schisteux, un grès hétérogène grossier sur 4,70 m.

- un poudingue à gros galets granoclassé (CH 65), un poudingue à galets de plusieurs dizaines de centimètres de longueur (2,80 m), des grès arkosiques (2,30 m) (CH 66).

- un poudingue à gros éléments (sur 2 m), des schistes (8 m), des grès argileux (1,50 m) (CH 67), des grès noirs (1,50 m) (CH 68), des schistes noirs (0,80 m) (CH 69), des grès (0,70 m), des schistes (1,90 m), des grès (1,90 m).

II - ETUDE DES ECHANTILLONS AU LABORATOIRE

A - ETUDE PETROGRAPHIQUE

1°) Dans les poudingues, la nature des galets reflète la lithologie du substratum antécarbonifère sur lequel le Culm repose en discordance. Les galets sont formés soit de Grès à Platyorthis monnieri, soit de grès gédinniens, mais surtout de calcaires fossilifères du Siegénien moyen et de roches porphyriques à quartz globulaire dont le gisement originel est à rechercher ; une roche semblable n'est connue actuellement que dans des filons recoupant le granite de Montflours.

Le ciment est azoïque et sa composition est celle du lithotope suivant.

2°) Les grès hétérogènes grossiers doivent être définis comme des microconglomérats (CH 5; CH 9; CH 18 ; CH 31; CH 43; CH 48; CH 59; CH 62) : ils sont constitués, en effet, de grains de quartz très souvent craquelés ou présentant parfois des golfes de corrosion, mais aussi de débris de roches granitiques ou volcaniques (certains éléments sont séricitisés et rappellent la blaviérite), de fragments de porphyres globulaires et de grès avec ou sans ciment calcaire ; en certains points, ils renferment des éléments calcaires (microconglomérat fossilifère de la séquence 5 (CH 42) (pl. 4, fig. 1 et 2) dans lesquels on peut reconnaître des sections de Crinoïdes et des fragments de tests de Brachiopodes. De grandes plages de chlorites constituent la plus grande partie du ciment.

3°) Les roches verdâtres à aspect de grès à l'œil nu correspondent, comme sur le flanc sud à des grauwackes (CH 10; CH 19; CH 23; CH 32; CH 35; CH 36; CH 44.) On y retrouve les mêmes minéraux et débris lithiques que dans les microconglomérats, mais avec une granulométrie plus fine. Des fragments de calcite n'ont été rencontrés que dans deux niveaux (CH 43; CH 53). Les feldspaths, surtout potassiques, sont plus nombreux. Les micas et chlorites sont abondants. Le ciment est largement développé et parfois même prédominant.

- Dans les grauwackes d'aspect grenu, le ciment se localise soit par plages, soit sous forme d'un reticulum entre les grains. Dans ce cas, les cristaux aciculaires de chlorites pénètrent dans les grains de quartz à contour frangé ou relient les grains de calcite aux quartz (CH 53).

- Dans les grauwackes à schistosité grossière et à granulométrie plus fine, les lamelles de micas sont disposées à plat suivant des plans préférentiels (CH 20; CH 22; CH 46; CH 55).

4°) Les grès chloriteux ne sont formés que de quartz avec ciment micacé et chloriteux.

5°) Les schistes peuvent être de couleur grise et sont formés d'une fine poussière de quartz et de micas. Le ciment argileux est largement représenté. Certains schistes contiennent des débris charbonneux.

Les pourcentages des différents constituants pour les diverses catégories de roches distinguées, sont notés dans le tableau suivant (tableau VI)

	Flanc Nord									
	CH 5	CH 9	CH 12	CH 19	CH 23	CH 31	CH 42	CH 44.	CH 53	CH 55
Quartz	50	40	40,7	34,55	29,90	34,8	19,20	23,50	17,50	34
Feldspath	0,74	0,85	0,64	1,40	1,10	1,39				0,05
Micas	2,85	0,95	13,65	1,53	0,30	0,37	0,10	1,65		15,60
Calcite							12,70		39,50	
Roches sédimentaires	6,55	6,9		1,52	1,1	0,30	2,20		3,50	0,30
Roches endogènes				17,70		16,63	3,90	0,70		
Roches volcaniques										
Ciment	39,8	51	44,5	43,30	42,80	46,50	46,50	72,15	35,80	50,00
Tourmaline	0,1		0,51							0,05
Chlorite en plages					18,8		14,00			
Débris charbonneux					6		1,40	2,00	3,70	

TABLEAU VI - Analyse modale de quelques échantillons étudiés: Culm inférieur, vallée de la Mayenne, flanc nord du bassin.

B - NATURE DU CIMENT

L'étude du ciment a été effectuée en collaboration avec J. ESTEOULE (J. E. et A. P., 1965).

Dans les grauwackes (courbes I, II et III) dominent des argiles de type micacé ; par contre, les schistes noirs sont principalement constitués de chlorites à côté d'argiles micacées (courbes IV, V) (fig. 3). L'absence de smectites (G. MILLOT, 1953; J. ESTEOULE-CHOUX, 1963), en présence d'éléments calcaires, laisse supposer un écoulement rapide des eaux. En effet, les solutions n'ont pas eu le temps de se charger suffisamment en éléments basiques pour induire la formation de smectites. La richesse en argiles micacées suppose une érosion rapide par les eaux sauvages ne permettant pas une altération des micas.

C - DETERMINATION DES MINERAUX LOURDS

Le cortège de minéraux lourds (tableau VII) se caractérise par la présence de trois constituants essentiels : zircon, tourmaline, rutile. La tourmaline, variété indicolite, prend ici une grande importance.

		Flanc Nord							
Nombre de grains pour 100 grains transparents	Niveaux étudiés	CH_9	CH_{10}	CH_{23}	CH_{36}	CH_{46}	CH_{59}	CH_{62}	CH_{68}
	Zircon	29,6	3,8	76,5	12		35,3	+	54
	Rutile	1,9	1,2	0,6					8
	Anatase			0,6	0,9				
	Brookite				0,9				
	Tourmaline	68,5	95	22,3	86,2	+	64,7	+	34
	Grenat								
	Staurotide								
	Andalousite								4
	Disthène								
	Clinozoïsite								
	Chlorite								

TABLEAU VII - Tableau de répartition des minéraux lourds. Culm inférieur, vallée de la Mayenne, flanc nord du bassin.

La concentration de la tourmaline est connue dans les roches provenant du remaniement d'anciens sédiments (P. D. KRYNINE,1946). J. F. HUBERT (1962) a défini un indice Z.T.R. égal au pourcentage de zircon, tourmaline et rutile par rapport aux autres minéraux lourds transparents ; cet indice caractérise la maturité minéralogique des grès, car ces trois minéraux sont considérés comme les minéraux lourds les plus stables, capables d'être remaniés des sédiments antérieurs et concentrés dans les nouveaux dépôts. Dans le cas présent, cet indice est très élevé. Mais il s'agit de roches qui s'apparentent aux grauwackes ; or, l'indice de maturité des grauwackes est difficile à définir, le pourcentage de matrice pouvant augmenter à l'instant où le nombre de débris lithiques (en particulier de schistes) diminue (P. D. KRYNINE in J. F. HUBERT id. op. p. 443) ; de même l'indice Z. T. R. varie beaucoup dans ces roches, en fonction de la richesse de la zone d'alimentation.

Par la nature des galets et des débris lithiques contenus dans les sédiments du Culm de Changé, nous savons que le matériel provient en partie des assises siluro-dévoniennes sous-jacentes. L'indicolite, en assez grande abondance pour être identifiée en plaque mince, a été signalée dans les formations du Siegénien inférieur : Grès à Platyorthis monnieri de Saint-Céneré (Mayenne) (A. RENAUD, A. PHILIPPOT, A. PELHATE et J. J. CHAUVEL,1964) et dans le massif de granite d'Alexain-Deux Evailles, en particulier dans l'extrêmité ouest, située au Nord de Changé (L. BERTHOIS, 1935).

D - ETUDE MORPHOMETRIQUE DES GALETS

L'étude morphométrique des galets du premier poudingue a pu être faite, l'altération du ciment permettant de dégager facilement les éléments grossiers. L'indice d'aplatissement ($\frac{L+l}{2E}$, L étant la plus grande longueur mesurable sur le galet, l la plus grande largeur à angle droit de L, E la plus grande épaisseur mesurable à angle droit de l et de L.) et l'indice d'émoussé ($\frac{2\,r^1}{L}$, r^1 étant le plus petit rayon de courbure) ont été déterminés. Les valeurs obtenues pour les galets de grès se rapprochent de celles citées par A. CAILLEUX (1959, t. III, p. 102) pour des plages marines, soit une médiane d'indice d'aplatissement égale à 2, 0 pour une dimension moyenne de 40 mm, 1,4 pour une dimension moyenne de 20 mm et une valeur médiane d'indice d'émoussé respectivement de 360 et 207 pour les mêmes dimensions moyennes.

E - ETUDE GRANULOMETRIQUE DES QUARTZ DES ARENITES

Il est intéressant de noter que les indices d'hétérométrie, dans les différents types de roches, sont les mêmes que dans le Culm du Sud de Laval : élevés pour les microconglomérats (aux environs de 0,70), d'un rang

moyen de 0,42 pour les grauwackes et de 0,30 pour les grès argileux. (Tableau VIII ci-dessous).

Echantillons	10	12	19	23	32	34	36	37	38	46	55	56	68
Indice d'hétérométrie	0,34	0,45	0,70	0,42	0,46	0,55	0,71	0,60	0,36	0,42	0,30	0,34	0,30
Grain moyen en microns	265	113	460	132	460	207	275	120	79	118	104	78	106

TABLEAU VIII - Caractéristiques granulométriques : Culm inférieur, vallée de la Mayenne, flanc nord du bassin.

Fig.11 Courbes granulométriques cumulatives des échantillons du Nord de Changé (CH)

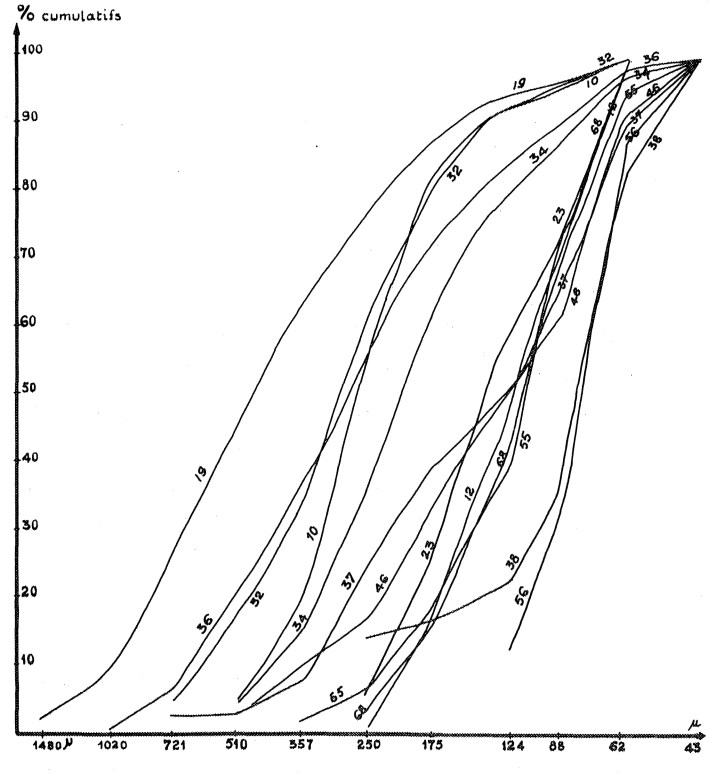


Fig. 11 - Courbes cumulatives du Culm, Changé (Nord Laval).

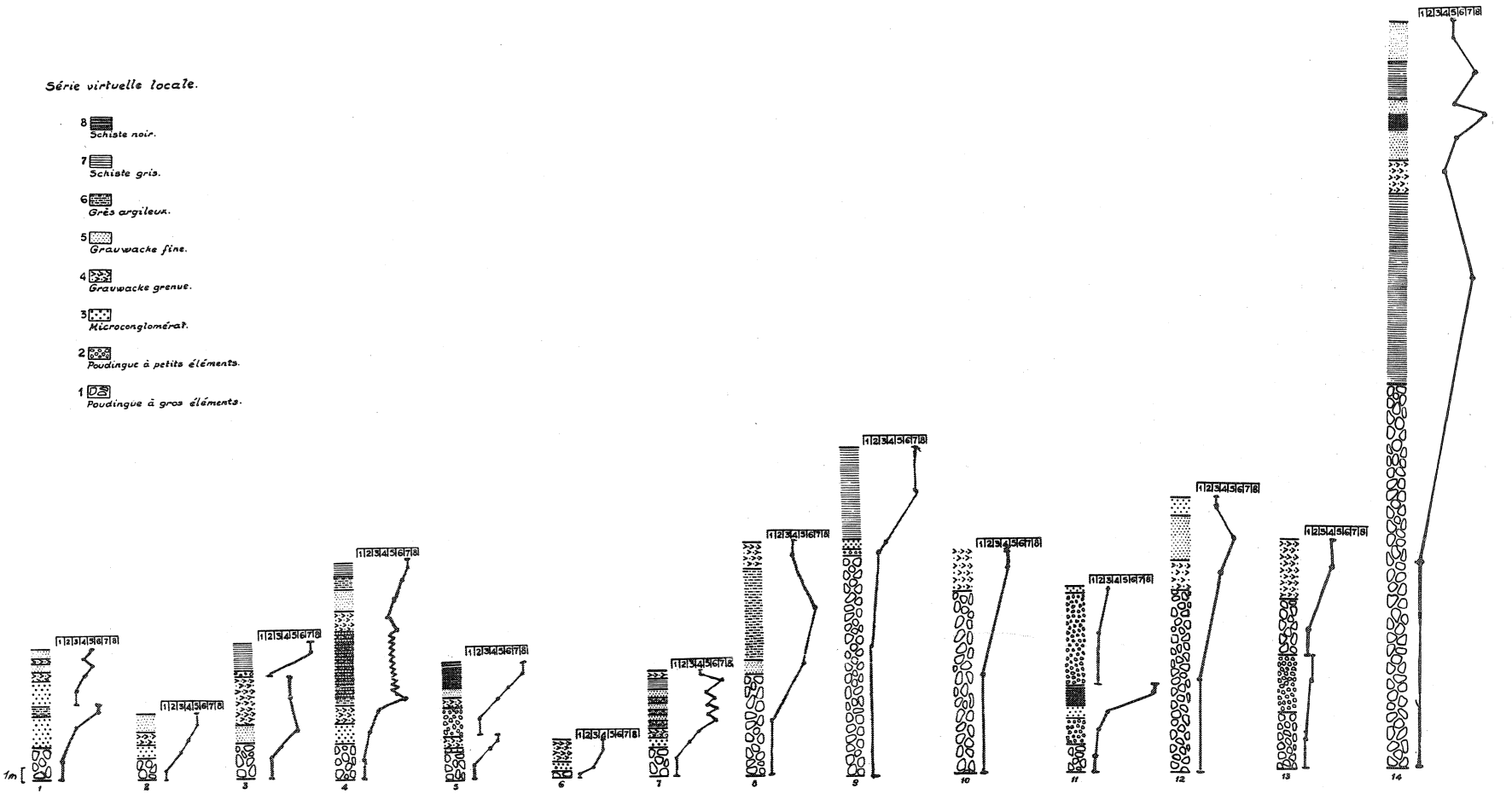


Fig. 12 - Courbes lithologiques (Culm Nord de Laval, vallée de la Mayenne).

III - ESSAI D'ANALYSE SEQUENTIELLE

Comme pour le Culm du Sud de Laval, en prenant comme début de séquence les poudingues à gros éléments, j'ai pu dénombrer quatorze séquences de premier ordre, positives dans leur ensemble et chacune très peu puissante. En particulier, les séquences à la base de la série commencent par quelques bancs de gros poudingues auxquels font suite des détritiques assez grossiers. Les colloïdes sont très souvent absents ou présentent un faible développement. La puissance des poudingues croît vers le haut de la série.

Les séquences majeures peuvent être subdivisées en un certain nombre de séquences mineures si on prend comme terme de base pour ces dernières soit un microconglomérat, soit un poudingue à petits éléments.

Dans ces conditions, la séquence majeure I se décompose en deux séquences mineures ; la première est positive, la deuxième est oscillante.

La séquence majeure II constitue une seule phase de sédimentation.

La séquence majeure III présente une première séquence mineure sans ordre ; la deuxième montre le passage brusque d'un détritique grossier au colloïde le plus fin.

La séquence majeure IV est complexe ; elle est caractérisée par un terme de base granoclassé : poudingue, microconglomérat, grauwacke grossière. Lui font suite un grès argileux et une alternance de grauwacke fine et grossière, puis de nouveau une suite granoclassée.

La séquence majeure V se divise en deux séquences mineures positives.

La séquence VI est positive.

La séquence VII est complexe et comparable à la séquence IV.

A partir de la séquence VIII, le terme conglomératique de base occupe la plus grande place.

Bien que les lithotopes rencontrés au Nord et au Sud de Laval soient comparables, du point de vue de leur structure, leur succession est différente.

A Changé, les faciès détritiques grossiers prédominent et le nombre de séquences est grand. En aucun cas, il n'a été possible de déceler un complexe terminal identique à celui de certaines séquences du Sud de Laval.

IV - DIAGRAMMES DE PASSEGA

Les diagrammes de PASSEGA n'ont pu être établis que pour la séquence I et la séquence IV puisqu'il est nécessaire d'avoir un certain nombre de mesures dans des termes non conglomératiques. (fig. 13, 14).

Les diagrammes obtenus sont caractéristiques de courants tractifs. La valeur de la clasticité maximum Cs en suspension graduée, indique, selon les valeurs données par F. VEZZANI et R. PASSEGA (1963), une

profondeur de dépôt de l'ordre de 30 m. Si on ne peut attacher une valeur absolue à cette mesure, elle peut néanmoins nous donner un ordre de grandeur.

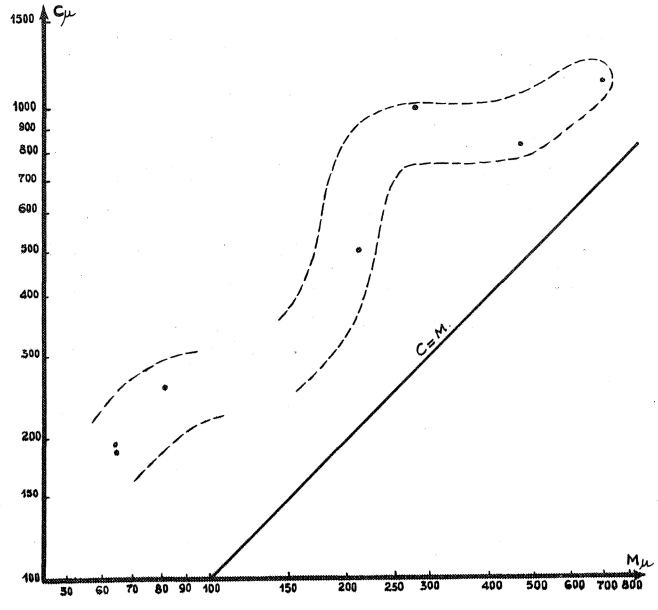


Fig. 13 - Diagramme CM Séquence 4 Culm,Nord de Laval.

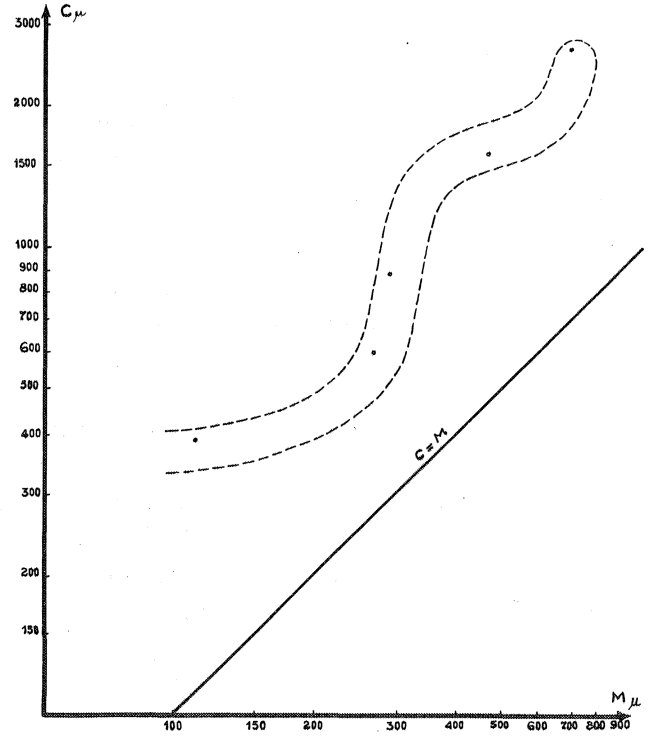


Fig. 14 - Diagramme CM Séquence 1 Culm,Nord de Laval.

V - CONCLUSIONS

L'origine du matériel constituant tous les sédiments : poudingues et grauwackes,est locale (grès et calcaires dévoniens, microgranite). Le cortège de minéraux lourds (zircon, tourmaline, rutile) met en évidence le remaniement d'anciens sédiments.

Les matériaux arrachés par l'érosion des eaux sauvages, ont été transportés rapidement dans le milieu de sédimentation marin ; la prédominance des faciès grossiers,passant brusquement à des colloïdes sans solution de continuité et le grand nombre des séquences font supposer une érosion plus active et une succession plus rapide des rythmes sédimentaires que ceux reconnus au Sud de Laval. Selon toute vraisemblance, ces caractères sont en relation avec un relief plus accentué en arrière du bassin de sédimentation et entretenu peut-être par une tectonique vivante. Cette pente plus importante explique aussi l'absence de niveaux houillers, par suite de l'impossibilité pour les végétaux, d'une part d'avoir un grand développement en fonction du ruissellement important, et d'autre part de subir le phénomène de houillification. Des courants à grande force vive devaient brasser les matériaux, ce qui se traduit par l'état des fossiles toujours très fragmentés dans ces sédiments.

L'origine des débris fossilifères signalés dans la séquence V est difficile à préciser, puisque les fossiles n'ont pu être déterminés. Deux hypothèses peuvent être avancées :

1) Il s'agit de fossiles provenant du remaniement, au Carbonifère, d'affleurements de calcaires siegéniens. Celà paraît peu vraisemblable, car ces niveaux fossilifères sont situés à 40 m de la base du premier poudingue, lui-même chargé en galets siegéniens, mais dont le ciment est azoïque. Par contre, dans le poudingue de la séquence V, les galets sont surtout gréseux et c'est la pâte qui est fossilifère.

2) Les fossiles ont été manifestement transportés (granoclassement), mais il s'agirait du transport de coquilles ayant vécu non loin de leur lieu d'accumulation et se comportant dans les roches, comme des éléments clastiques. L'âge de la formation serait celui de ces organismes. Cette série du Culm inférieur ne peut être rapportée au Dévonien inférieur et moyen, sous-jacent, qui est bien développé dans la région avec des faciès entièrement différents. On ne peut envisager qu'un âge dévonien supérieur ou carbonifère. On peut noter qu'en 1909, L. BUREAU et G. FERRONNIERE (in Y. MILON 1923) ont recueilli, dans ce Culm, des débris de plantes (Psilophyton). C'est un argument pour dater le début de la sédimentation du Culm inférieur du Dévonien supérieur.

BASSIN DE SAINT-PIERRE-LA-COUR

Le bassin de Saint-Pierre-la-Cour (Mayenne), enclave carbonifère à contours irréguliers dans les formations siluro-dévoniennes, forme une cuvette topographique. Il est, en effet, limité par les crêtes de schistes et quartzites gédinniens à l'Est et à l'Ouest, de Grès à Platyorthis monnieri du Siegénien inférieur au Nord et, au Sud, par une ligne de hauteurs de grès de l'Ordovicien supérieur et du Silurien. Ces différentes formations constituent le socle sur lequel repose, en discordance, le Culm inférieur. Lui faisant suite, viennent des calcaires massifs à faciès waulsortien, exploités en carrière à l'Euche, au Tilleul et à Feue-Vilaine. Au Sud-Ouest de la carrière de l'Euche, la Grauwacke à Paléchinides affleure.

Lors de prospections entreprises à la demande de compagnies privées pour évaluer les réserves de calcaires et prévoir l'extension des exploitations de l'Euche en direction de celles du Tilleul et du Fourneau, un certain nombre de sondages ont été effectués sur les conseils de M. M.AUBERT, Géologue, qui m'a aimablement permis d'utiliser les échantillons.

Les forages ont été implantés sur la ligne de jonction des carrières de l'Euche et du Tilleul (fig. 15).

A - DESCRIPTION DES SONDAGES

Les sondages 1 à 11 ont été effectués à la foreuse Hauser qui n'a donné que des échantillons pulvérisés, les autres ont fourni des carottes, mais je n'ai pu examiner la succession complète.

1°) Sondages autour de la carrière de l'Euche du Nord à l'Ouest, puis au Sud

- le sondage 12_1 n'a pu être prolongé au-delà de 13 m par suite de bouchages continuels de l'outil.

- le sondage 12_2

0	à 8,70 m	terrains superficiels
8,70	à 10,60 m	argile noirâtre
10,60	à 13,80 m	argile noire (délayage de schistes broyés et grès quarziteux carottables)
13,80	à 18,60 m	schistes broyés avec galets de quartz et de grès
18,60	à 21,70 m	schistes broyés délayés

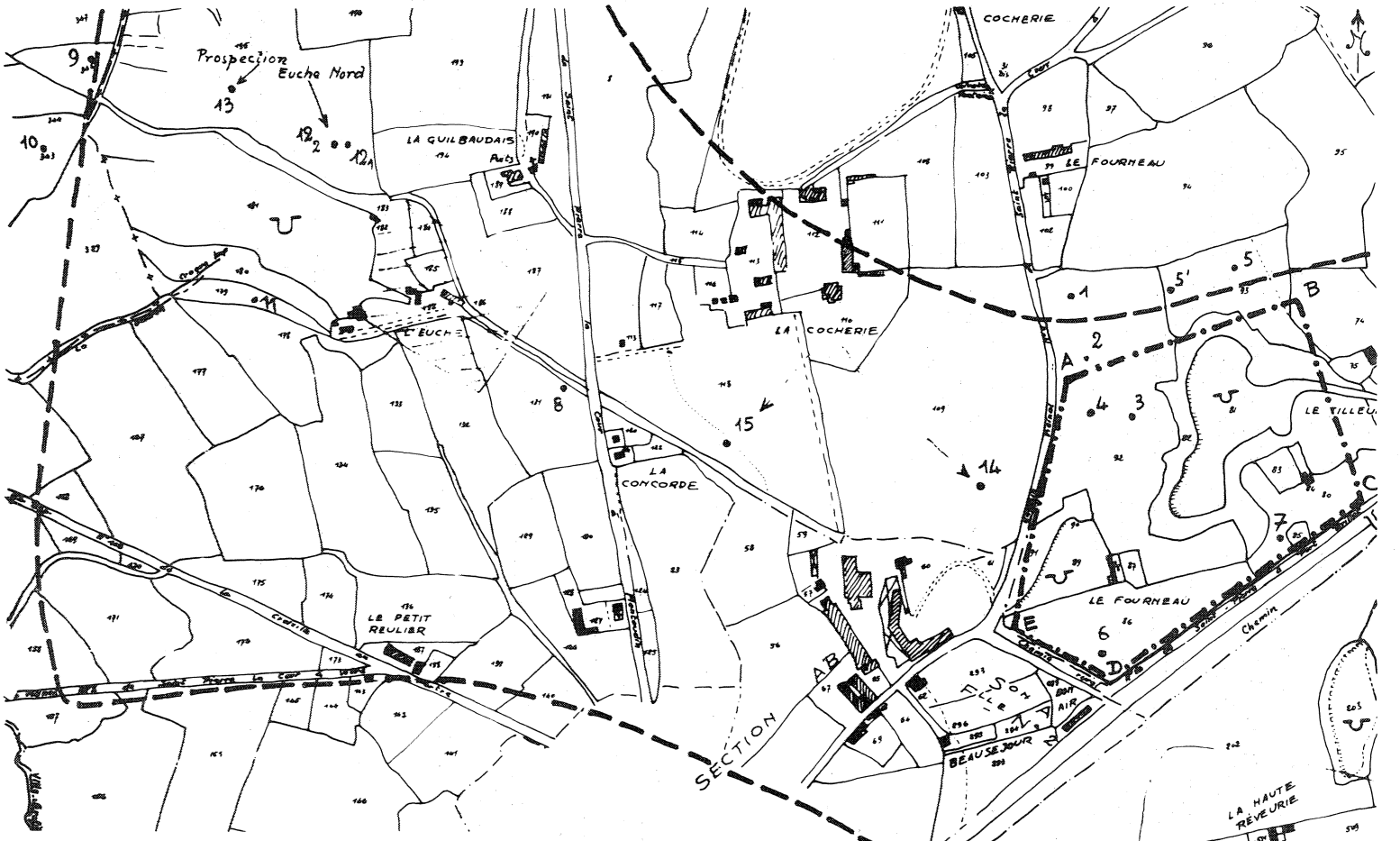


Fig.15. *Localisation des sondages (St Pierre-la-Cour)*

——— *Limite du gisement calcaire d'après la carte géologique de Laval au 1/80000 (1ère édition)*

—·—· ABCDE : *superficie réelle du calcaire dans la partie orientale explorée*

Echelle : 0 — 200 — 400 m

- le sondage 13

0	à 5,25 m	terrains superficiels
5,25	à 9,30 m	schistes noirs exceptionnellement carottables
9,30	à 9,80 m	grès carottables
9,80	à 15,10 m	schistes noirs finement lités et carottables
15,10	à 15,80 m	grès carottables
15,80	à 17,70 m	schistes noirs finement stratifiés
17,70	à 18,80 m	schistes noirs compacts carottables avec banc de grès intercalaire
18,80	à 21 m	schistes gris avec banc de grès intercalaire
21	à 27 m	schistes noirs finement lités

Arrêt du sondage à 27 m.

- le sondage 9 : schistes noirs pulvérisés jusqu'à 32 m.

- le sondage 10 : alternance de schistes et grès.

- le sondage 11 : alternance de schistes rouges et noirs jusqu'à une profondeur de 32 m.

2°) Sondages entre les carrières de l'Euche et du Tilleul

- sondage 8

jusqu'à	21,30 m	schistes noirs pulvérisés

- sondage 15

0	à 2,60 m	terrains superficiels
2,60	à 4 m	schistes siliceux noirs pulvérisés
4	à 7,20 m	grès à grain fin
7,20	à 10 m	schistes
10	à 11,50 m	grès grossier
11,50	à 12,50 m	schistes et grès grossiers en fines stratifications alternantes
	à 12,30 m	schistes noirs
12,30	à 13,40 m	grès
	à 13,40 m	schistes noirs
13,40	à 13,70 m	grès grossier microconglomératique
13,70	à 16 m	grès fin pur
16	à 17,20 m	schistes noirs carottés

17,20 à 18,80 m	grès fin carotté
18,80 à 19 m	schistes noirs carottés
19 à 20 m	schistes noirs très quartzeux

- sondage 14

0 à 6,50 m	terrains superficiels
6,50 à 8,70 m	grès et schistes quartzeux noirs
8,70 à 11,50 m	grès siliceux noirs
11,50 à 12 m	schistes gris pulvérisés
12 à 13,40 m	schistes pulvérisés
13,40 à 19 m	schistes noirs carottés avec des niveaux gréseux à ciment calcaire
19 à 21,80 m	schistes noirs et grès calcareux
21,80 à 23 m	grès grossier microconglomératique
23 à 26,30 m	grès
26,30 à 29 m	schistes quartzeux
29 à 33 m	schistes noirs friables.

3°) Sondages autour de la carrière du Tilleul du Sud à l'Ouest puis au Nord

- sondage 7	24 m de calcaire, puis socle gréseux stérile
- sondage 6	20 m de calcaire, puis soubassement de schistes
- sondage 3	calcaire
- sondage 4	calcaire
- sondage 2	sous la zone d'altération, socle gréseux et schisteux
- sondage 1	idem
- sondage 5 - sondage 5'	ont été arrêtés par bouchage de l'outil par les produits d'altération.

Il ressort des résultats fournis par les forages que l'extension du Calcaire de Laval est plus réduite que ne l'indique la carte géologique au 1/80 000 (feuille de Laval) ; en particulier, le calcaire fait défaut entre le Tilleul et l'Euche : il s'agit de deux masses calcaires séparées par une zone de terrains schisto-gréseux.

Les sondages ne permettent pas de mettre en évidence les relations entre les calcaires et les sédiments qui les encadrent ; pour tenter de résoudre

le problème de l'âge de ces derniers, il n'est d'autre méthode que de les comparer aux formations voisines, de faciès plus ou moins semblables (quartzites gédinniens, Culm inférieur de Champ-Ruault, Stéphanien).

B - ETUDE PETROGRAPHIQUE COMPARATIVE DES FORMATIONS SCHISTO-GRESEUSES CITEES CI-DESSUS ET DES ECHANTILLONS DES SONDAGES

1°) Les quartzites gédinniens se présentent en petits bancs de grès micacés (psammites). Le grain de la roche est extrêmement fin (le diamètre le plus fréquemment rencontré est de 50μ , le plus grand diamètre qui traduit la clasticité est égal à 150μ).

La biotite et la muscovite, en grandes lamelles, sont fréquentes. Le ciment est très peu abondant, argileux, micacé et ferrugineux. Il moule les grains, mais ne se développe jamais perpendiculairement aux quartz. Il présente la structure réticulée, définie par P. MICHOT (1958) p. B 325 : "le liant argileux se comporte passivement, resserré entre les grains voisins, celui-ci s'oriente de façon à ce que ses lamelles ou ses fibres se disposent parallèlement à la surface des corpuscules détritiques".

2°) Le Culm inférieur de Champ-Ruault est constitué, d'une part, de quartzites et de grès feldspathiques entaillés dans la carrière de Champ-Ruault à l'extrémité ouest du bassin de Saint-Pierre-la-Cour et, d'autre part, de schistes. Il est composé de lithotopes semblables à ceux du Culm de la vallée de la Mayenne, au Nord et au Sud de Laval.

Les échantillons prélevés dans cette carrière nous montrent deux types lithologiques :

- un quartzite avec quelques lamelles de muscovite
- un grès répondant à la définition des grauwackes. Le pourcentage de quartz est élevé ; on note la présence de quelques feldspaths et de quelques débris de roches. Le ciment abondant est chloriteux et siliceux (Pl. 2, fig. 4).

3°) Le Stéphanien de cette partie du bassin et, en particulier, autour de la carrière de l'Euche, est constitué par des dépôts argileux, violacés et verdâtres, conservés dans les poches de décalcification du calcaire et par des schistes lie-de-vin recouvrant la partie supérieure du Calcaire de Laval. Dans les bassins des Effretais et de la Balorais, les dépôts stéphaniens sont des schistes riches en empreintes végétales avec couches de houille.

4°) Echantillons des sondages

Les échantillons des sondages 1 à 11, effectués à la foreuse Hauser, n'ont pu être étudiés en plaque mince. Etant donné le matériel remonté, il semble que les grès et schistes des forages 1 et 2 peuvent être rapportés au

faciès Culm ainsi que le soubassement gréso-schisteux du calcaire des forages 6 et 7.

- Les échantillons de schistes noirs des forages 8 et 9 ne peuvent être datés ; leur état d'extrême pulvérisation ne permet pas de constater la présence d'empreintes végétales.

Le sondage 10 a traversé une alternance de schistes et de grès ; d'après le mode de sédimentation, on doit pouvoir rapporter ce faciès au Culm inférieur.

Par contre, les schistes rouges et noirs, rencontrés par le sondage 11 jusqu'à la profondeur de 32 m, doivent appartenir au Stéphanien, si on se base sur la couleur rouge des schistes, semblable à celle des schistes stéphaniens recouvrant la partie supérieure du calcaire dans la carrière de l'Euche.

Les sondages 13, 14 et 15 qui ont été carottés, ont seuls fourni des échantillons pouvant être étudiés en plaque mince.

- Les grès fins (sondage 14 : 3,30-6,50 m ; 8,70-11,50 m ; à 26,30 m sondage 15 : 7,20-12,30 m ; 12,30-13,40 m ; à 18,80 m, Pl. 2) peuvent être rapportés aux grès chloriteux, lithotopes mis en évidence dans le Culm de la vallée de la Mayenne. Ils sont, en effet, formés de quartz parfois associés à quelques feldspaths et micas ; les différents constituants sont liés les uns aux autres par des poutrelles micacées et chloriteuses. On observe des plages entières de chlorites bien cristallisées et le ciment est abondant (cf. analyse modale, tableau IX).

Référence des échantillons

	Sond. 13 à 18,80 m	Sond. 14 8,70-11,50 m	Sond. 14 à 26,30 m	Sond. 15 à 7,20 m	Sond. 15 10-11,50 m	Sond. 15 à 11,50 m	Sond. 15 13,40-16 m
Quartz	57	66,7	76,5	28,25	31,10	33,9	36,15
Feldspaths	0,5	0,15	0,8		1,40	4,9	7,05
Micas en plages	4,7		3,4			0,2	1,07
Opaques	2,0	0,45	0,8	0,45	0,10	4,3	0,80
Fragments de roches					0,40	2,3	1,73
Ciment	35,8	32,7	18,5	71,30	67,00	54,5	53,20

TABLEAU IX - Analyse modale : Culm de Saint-Pierre-la-Cour.

Certaines zones sont quartziteuses avec quelques lamelles micacées.

- Certains grès grossiers (sondage 15 : 10-11,50 m ; 13,40 à 13,70 m; 18,80-19 m ; (Pl. 2 , fig. 1,3,6) sont des grauwackes comparables à celles observées dans la carrière de Champ-Ruault et dans le Culm de la vallée de la Mayenne.

- Les schistes noirs et gris sont,en tous points,semblables à ceux rencontrés dans la région de Laval, dans le Culm. Les schistes gris sont souvent des pélites dans lesquelles s'est développée une schistosité de fracture. Les schistes noirs sont riches en matière organique.

En résumé, les formations schisto-gréseuses reconnues dans les sondages peuvent être rapportées

- au Culm inférieur
- au Stéphanien.

Le Culm inférieur est représenté par des grès fins chloriteux,des grès grossiers (grauwackes), des schistes noirs et gris.

III - ANALYSE SEQUENTIELLE DES ECHANTILLONS ATTRIBUES AU CULM

La base des séquences est représentée par le terme de grès grossier microconglomératique qui, en réalité, est pétrographiquement une grauwacke. Au-dessus, vient une alternance de schistes noirs et de grès chloriteux. Cette succession paraît comparable à celle décrite par C. GAGNY (1962), dans la suite du Lac de Lauch appartenant au Culm des Vosges Méridionales, sous le nom de complexe terminal, et que j'ai cru pouvoir retrouver dans le Culm du Sud de Laval.

Suivant cette répartition en terme de base et complexe terminal, on peut voir, dans le sondage 15, de haut en bas, deux séquences majeures et le complexe terminal d'une troisième, comme suit :

2,60 à 4 m	schistes noirs pulvérisés	M = 162 µ C = 400 µ	complexe terminal
4 à 7,20 m	grès à grain fin	M = 162 µ C = 400 µ	
7,20 à 10 m	schistes	M = 50 µ C = 120 µ	
10 à 11,50 m	grès grossier microconglomératique	M = 265 µ C = 1200 µ	terme de base
11,50 à 12,50 m	schistes et grès grossier en fines stratifications alternantes		complexe terminal
à 12,30 m	schistes noirs		
12,30 à 13,40 m	grès	M = 174 µ C = 400 µ	
à 13,40 m	schistes noirs avec fines intercalations gréseuses	M = 89 µ C = 275 µ	
13,40 à 13,70 m	grès grossier microconglomératique		terme de base

13,70 à 16 m	grès fin	M = 170 µ C = 575 µ	complexe terminal
16 à 17,20 m	schistes noirs carottés	M = 80 µ C = 160 µ	
17,20 à 18,80 m	grès fin carotté	M = 134 µ C = 270 µ	
18,80 à 19 m	schistes gréseux noirs carottables	M = 140 µ C = 225 µ	
19 à 20 m	schistes noirs pulvérisés		

Le sondage 14 recoupe une seule séquence complète et le complexe terminal d'une autre séquence, soit de haut en bas :

6,50 à 8,70 m	grès et schistes quartzeux noirs	M = 100 µ C = 245 µ	complexe terminal
8,70 à 11,50 m	grès siliceux noirs	M = 138 µ C = 300 µ	
11,50 à 12 m	schistes gris pulvérisés		
12 à 13,40 m	schistes pulvérisés		
13,40 à 19 m	schistes noirs carottés avec des niveaux gréseux à ciment calcaire	M = 90 µ C = 120 µ M = 40 µ C = 90 µ	
19 à 21,80 m	schistes noirs et grès calcareux	M = 70 µ C = 210 µ	
21,80 à 23 m	grès grossier microconglomératique		terme de base
23 à 26,30 m	grès	M = 210 µ C = 600 µ	complexe terminal
26,30 à 29 m	schistes quartzeux		
29 à 33 m	schistes noirs friables		

La série étudiée présente donc une certaine rythmicité. Des figures de sédimentation : enfoncement de la partie gréseuse dans les schistes, structures en flammes ont pu être observées, à l'échelle microscopique en particulier dans le sondage 15 à 13,40 m.

Le sondage 14 a traversé entre 13,40 m et 19 m et entre 19 et 21,80 m un lit épais de 3 cm de grès fin à ciment calcaire et méritant une description détaillée. Les carottes des sondages ne sont pas continues et, sur une profondeur de forage de 8,40 m, les échantillons prélevés ne représentent qu'une épaisseur d'1 m ; en conséquence, les lits calcareux pouvaient être plus nombreux que ceux représentés dans l'échantillonnage. En surface polie (Pl. 3), le lit gréseux apparaît gris et de minces couches argileuses noirâtres sont visibles, interstratifiées dans la zone gréseuse, ployées sous la fraction détritique ou interrompues au milieu de cette partie arénacée, présentant des structures désignées par C. GAGNY (1964) sous le nom de "microstratifications entrecroisées", de "microérosions", de "microslumping". En plaque mince (Pl. 2, fig. 5), le quartz apparaît comme

constituant essentiel, en grains inférieurs à 50μ, accompagnés de quelques grains de zircon et de tourmaline. La calcite moule les différents éléments. Une section d'organisme calcaire est visible sur une des préparations.

IV - ANALYSE GRANULOMETRIQUE ET DIAGRAMMES DE PASSEGA

Les valeurs des indices d'hétérométrie (tableau X) sont comparables aux valeurs obtenues pour le Culm du Sud de Laval, (rang moyen de 0,44 pour les grès) ; la valeur de 0,87 pour le microconglomérat (sondage 15 de 10 à 11,50 m) est aussi très proche de celles établies (0,70) pour les microconglomérats du Culm du Sud de Laval.

Référence des échantillons

	Sond. 13 à 12,30 m	Sond. 13 à 19,80 m	Sond. 14 de 8,70 m à 11,50 m	Sond. 14 à 26,30 m	Sond. 15 à 7,20 m	Sond. 15 de 10 m à 11,50 m	Sond. 15 à 12,30 m	Sond. 15 de 12,30 m à 13,40 m	Sond. 15 de 13,40 m à 16 m	Sond. 15 de 17,50 m à 19 m
Grain moyen	174 μ	118 μ	138 μ	210 μ	162 μ	265 μ	174 μ	89 μ	180 μ	134 μ
Indice d'hétérométrie	0,37	0,45	0,35	0,47	0,50	0,87	0,42	0,44	0,35	0,61

TABLEAU X - Caractéristiques granulométriques : Culm de Saint-Pierre-la-Cour.

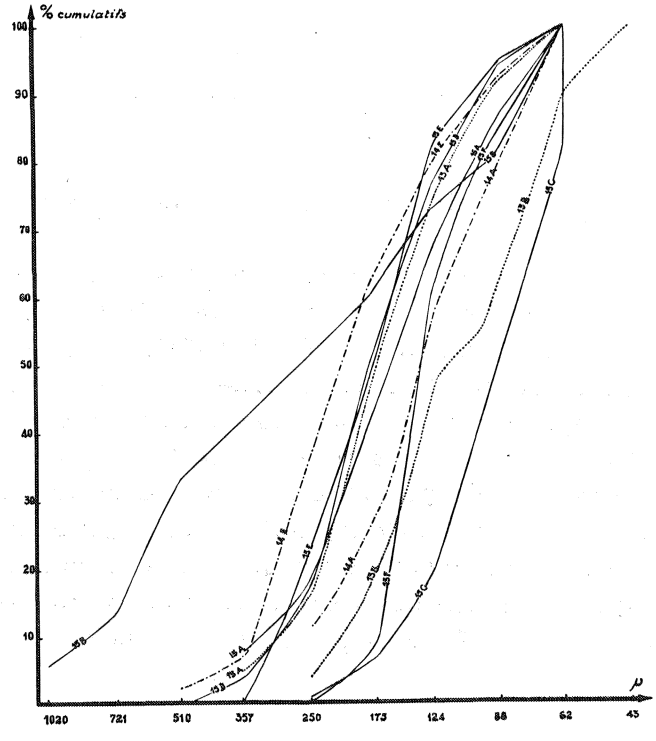


Fig.16 Courbes granulométriques, Culm Saint-Pierre-la-Cour

A l'aide des valeurs du grain moyen et de la clasticité, j'ai tenté d'établir des diagrammes de PASSEGA ; j'avais cru déceler un CM de courant tractif (A. P., 1965) en considérant que tous ces sédiments avaient été déposés par le même agent de transport. J'ai repris le problème, en envisageant uniquement les termes des complexes terminaux. Par là-même, le nombre de points, c'est-à-dire d'échantillons, est faible pour chaque séquence puisque le prélèvement a été fait par carottage.

Les diagrammes obtenus sont un peu différents pour le sondage 15 et le sondage 14. Pour le sondage 15, il s'agit sans nul doute d'un diagramme CM de courant tractif (fig. 17).

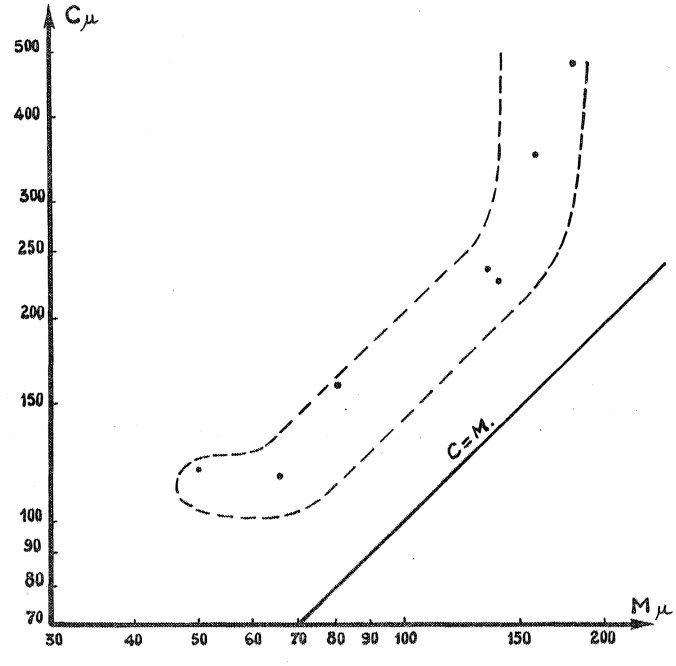


Fig. 17 - Sondage 15 : complexe terminal, diagramme CM.

Pour le sondage 14, le diagnostic est plus difficile (fig. 18), le diagramme est parallèle à la ligne C=M, mais s'agit-il d'un segment QR d'un CM tractif ou d'un CM de turbidité ? R. PASSEGA (1964) signale lui-même cette ressemblance et émet l'hypothèse que les courants de turbidité ont probablement été à l'origine une "suspension dégradée de courants tractifs". Mais C. GAGNY (id. op. 1964) estime que le "complexe terminal est, dans son ensemble, le témoin du passage du régime de transport et de dépôt turbide à un régime laminaire turbulent, puis à un régime laminaire par traction" (p. 50). On peut donc estimer ici que cette hypothèse se trouve vérifiée puisque des complexes terminaux d'une même formation ne semblent pas avoir été déposés sous le même régime de transport.

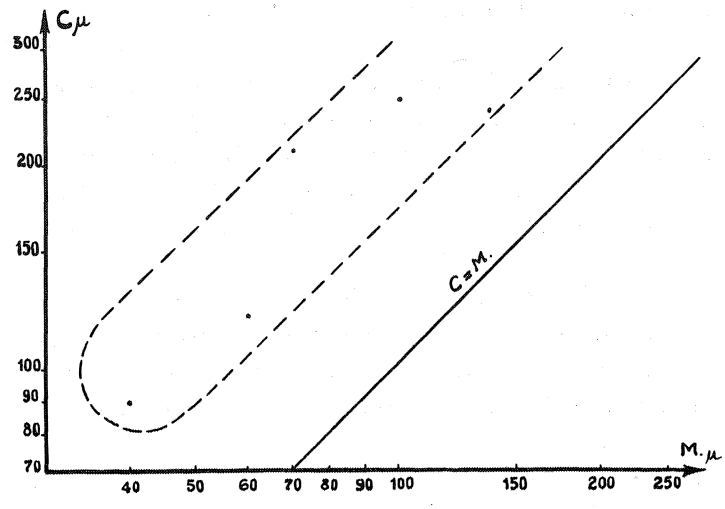


Fig. 18 - Sondage 14 : complexe terminal, diagramme CM

V - CONCLUSIONS

L'étude pétrographique et sédimentologique détaillée a permis de reconnaître que les faciès dépourvus de calcaires, carottés d'une part entre les carrières de l'Euche à l'Ouest et celles du Fourneau et du Tilleul à l'Est, d'autre part au Nord de la carrière de l'Euche et des carrières du Fourneau et du Tilleul, peuvent être rapportés aux formations du Culm inférieur, contrairement à ce qu'indique la carte géologique de Laval qui attribue au Calcaire de Laval tout ce territoire.

Deux hypothèses peuvent être proposées pour expliquer l'existence d'une zone de Culm entre les deux masses calcaires :

1) La sédimentation du Culm étant terminée au moment où s'est formé le Calcaire de Laval, les deux formations sont en contact par faille. Le socle primaire se serait fracturé, lors de la phase saalienne, en une série de compartiments qui auraient joué les uns par rapport aux autres principalement dans le sens vertical. Ainsi le bloc calcaire des carrières du Tilleul et du Fourneau serait isolé par faille au sein des schistes et grès du Culm inférieur. Il faudrait admettre aussi que le contact du flanc Est-Sud-Est de la carrière de l'Euche soit en contact tectonique avec le Culm.

2) Les gisements calcaires étaient, avant les phénomènes tectoniques, des lentilles récifales au sein d'une masse de schistes et de grès.

Les bancs gréso-calcareux rencontrés dans le complexe de schistes noirs du sondage 14 représentent les termes de passage latéral des lentilles calcaires aux schistes et grès, semblables à ceux du Culm de la vallée de la Mayenne ; les phénomènes tectoniques ayant pu ensuite perturber les rapports du Culm et du Calcaire de Laval, ce qui ne peut être vérifié pour le moment, faute de sondages rapprochés entre le Culm et le calcaire.

En l'absence d'éléments grossiers (galets), il est difficile de conclure sur l'origine du matériel. Des débris de roches gréseuses et la prédominance du quartz dans les grauwackes indiquent un remaniement de sédiments gréseux ; or, le Culm de Saint-Pierre-la-Cour est entouré de grès siluro-dévoniens. Le matériel paraît donc, là-aussi, essentiellement local.

Les dépôts du Culm inférieur de Saint-Pierre-la-Cour présentent une certaine rythmicité ; ils apparaissent constitués de termes de base granoclassés que l'on peut admettre déposés par des courants turbides, puis de "complexes terminaux" mis en place tantôt par des courants tractifs, tantôt par des courants turbides.

La sédimentation est comparable, dans l'épaisseur considérée tout du moins, à celle du Culm inférieur au Sud de Laval. Des conditions paléogéographiques semblables ont dû présider au dépôt des sédiments clastiques du Culm inférieur dans ces deux régions.

CULM INFERIEUR DU FLANC SUD

DANS LA PARTIE SUD-EST DU BASSIN

A l'Est de la vallée de la Mayenne, le Culm n'est plus visible que dans la partie orientale du flanc sud du bassin de Laval. Il affleure dans la région de Saint-Brice, sur la bordure nord du périsynclinal secondaire de Bouère et sur le bord sud du synclinal secondaire de Solesmes (fig. 19).

I - REGION DE SAINT-BRICE

Dans la partie sud-est du bassin de Laval, entre Grez-en-Bouère et Ruillé-Froid-Fonds, le Culm apparaît suivant une bande étroite reposant sur le Silurien S 3-4, représenté dans cette région par des grès noirs et des schistes psammitiques noirâtres, à nodules. Les seuls terrains paléozoïques antérieurs au Silurien, observables sur le terrain, sont les Schistes à Trinucleus S 2c. Le Culm inférieur cartographié par P. R. GIOT (1948) "se présente le plus souvent à l'état de grès grossiers, généralement oxydés et altérés" (id. op. p. 51).

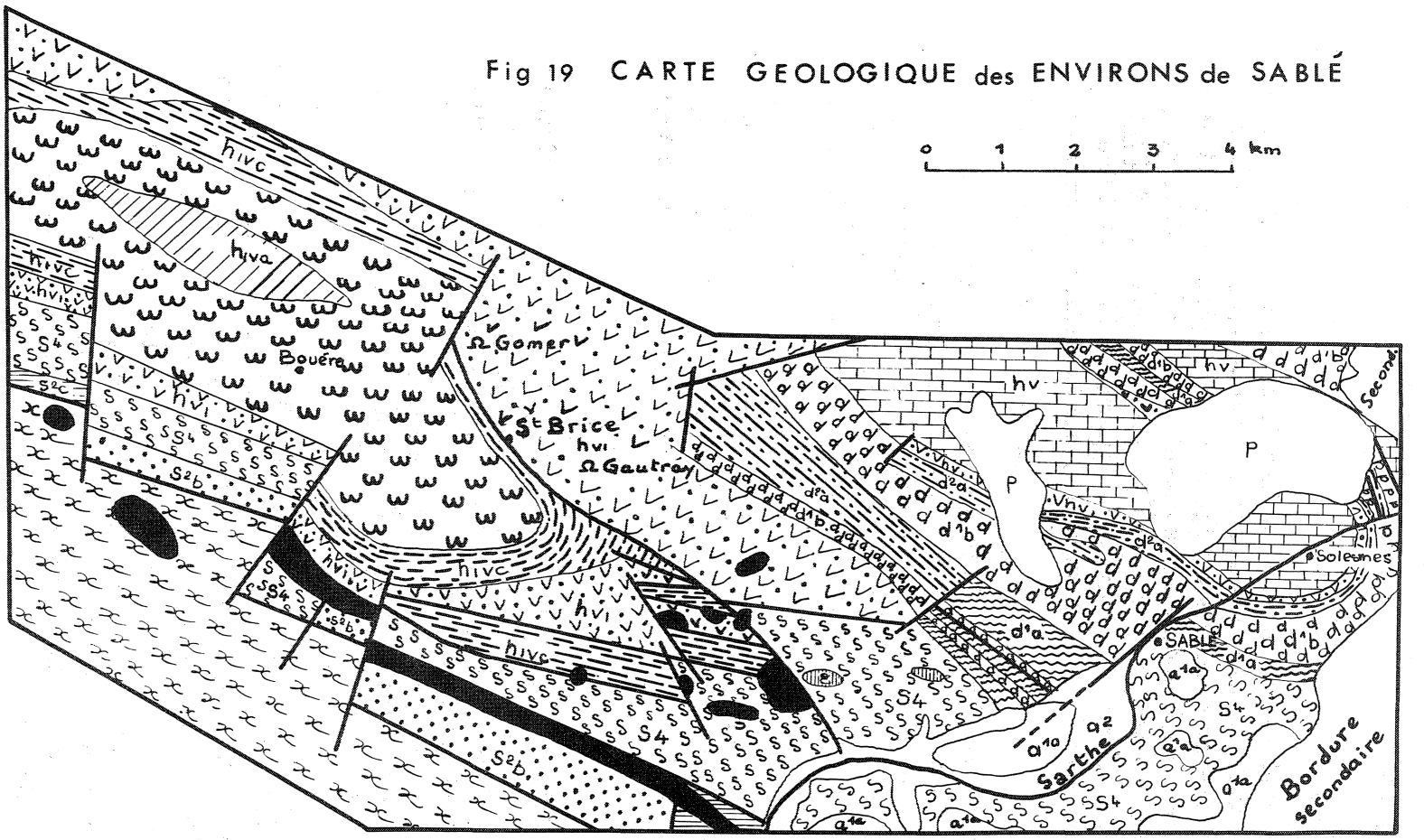
Entre Souvigné et Bouère, le Culm est en contact, par faille, avec la Grauwacke à Paléchinides et forme les flancs d'un brachysynclinal faillé à cœur de calcaires dinantiens de faciès waulsortien. D'après E. BOLLELI (1948 p. 50), ce Culm est formé "de grès plus ou moins grossier, quartziteux ou friable, feldspathique, blanc ou teinté par l'oxyde de fer et de schistes à lenticules charbonneuses".

Aux environs de Saint-Brice, le Culm paraît transgressif sur le Dévonien inférieur (fig. 19) sans qu'il soit possible d'observer le contact entre les deux formations dans cette région ; il se trouve, à l'Ouest, en contact tectonique avec la Grauwacke à Paléchinides.

L'anthracite a été exploitée au siècle dernier, à la mine de Gomer, à l'Est de Saint-Brice. Ed. BLAVIER (1837) reconnaît qu'au contact de la couche charbonneuse, se rencontrent des couches gréseuses tantôt très dures, tantôt friables. La veine exploitable inclinée vers le Sud de 35° à 40°, s'accroît en profondeur (1,20 m à -40 m) et le toit de la veine est formé de grès à grain fin. Cette ancienne exploitation est située au Sud de la carrière de Gomer.

La carrière, près de la ferme de Gomer, signalée par D. OEHLERT (1911 p. 613), se situe au Nord de Saint-Brice, à l'Ouest de la route allant de Saint-Brice à la route nationale 769, au point de coordonnées Lambert 691,10 et 5304,80 (feuille de Château-Gontier au 1/50 000). Elle est actuellement abandonnée et difficile d'accès. Elle entame un dôme à contour périclinal, la direction des couches est voisine de N 90° E et le pendage est Nord-Nord-Est dans la partie septentrionale de la carrière ; dans la partie sud, le pendage se fait vers le Sud-Sud-Ouest, la voûte arrondie du dôme est masquée à l'affleurement par des éboulis.

Fig 19 CARTE GEOLOGIQUE des ENVIRONS de SABLÉ



γ3 Microgranite
hivaSchistes de Laval
hivbCalcaire de Laval
hivcGrauwacke à Paléchinides
hv Calcaire de Sablé
hvi Culm inférieur
d2a Sch. et calc. à Athyris undata
d1b Grès à Platyorthis monnieri
d1a Schistes et quartzites gedinniens
S4 Silurien
S2c Schistes à Trinucleus
S2b Grès de St Germain
X Briovérien
ε Dolérites

Au Sud-Ouest de la mine, une carrière abandonnée et embroussaillée, située sur le côté nord-est de la route D 220 allant de Saint-Brice à Sablé, à 100 m au Nord de la propriété de Gautray, entame les grès du Culm. La direction des couches est N 160° E et le pendage de 40° vers le Sud-Ouest. Le front de taille nord-est est directionnel.

Conformément à ce que Ed. BLAVIER (id. op. 1837) indique sur une coupe géologique de la région de Saint-Brice et à ce que traduisent les directions et les pendages des divers affleurements cités plus haut, la base du Culm apparaît dans la carrière de Gomer, dans le noyau d'un dôme anticlinal ; sur le flanc sud-ouest, se situe la veine de houille ; enfin au-dessus se placent les grès de Gautray.

A - GOMER

Le Culm inférieur présente ici le faciès de grès chloriteux ; sur le frond de taille nord, la roche est dure, bleu foncé. Un "sill de diabase" altérée est visible dans le Culm, au niveau des strates inférieures, en plusieurs points, par suite de la disposition structurale des couches et des différents plans d'abattage.

1°) Etude pétrographique

Aucune différence pétrographique n'apparaît entre les échantillons prélevés, en suite continue de bas en haut, sur le front de taille nord. L'analyse modale montre que les constituants essentiels sont le quartz (58,30 à 63,50 %), les feldspaths potassiques (2,70 à 5,15 %) séricitisés, la muscovite (0,10 à 0,80 %), des minéraux opaques (0,20 à 1,03 %), des débris de roches siliceuses cryptocristallines (2,1 à 0,80 %) qui, suivant la définition de F. J. PETTIJOHN (1957 p. 432), peuvent être rapportés aux cherts, un ciment chloriteux abondant (33,60 à 29 %), des zones sériciteuses (2,60 à 4 %). Les débris de cherts paraissent correspondre à l'altération de verres volcaniques, bien qu'il soit difficile de les différencier des cherts sédimentaires.

La constitution de ces grès est celle de grauwackes. La chlorite est abondante, comme dans tous les sédiments du Culm étudiés précédemment. (Pl. 4, fig. 4).

	GOMER 1	GOMER 2	GOMER 6	GOMER 8
Quartz	63,50	60,40	58,30	59,00
Feldspaths	2,70	5,15	3,20	3,00
Micas	0,12	0,00	0,00	0,20
Ciment chloriteux	28,96	29,10	33,60	31,00
Séricite	3,45	4,32	2,00	4,00
Minéraux opaques	0,35	1,03	0,20	0,70
Minéraux divers (tourmaline, zircon)	0,12	0,00	0,20	0,00
"Cherts"	0,80	0,00	1,90	2,10

TABLEAU XI- Analyse modale des échantillons du Culm de Gomer.

2°) Analyse séquentielle et étude granulométrique

Les 16 prélèvements commandés par l'état de l'affleurement ne permettent pas une étude séquentielle ; néanmoins, aucun niveau grossier n'ayant été décelé dans la série étudiée, on peut considérer que tous les échantillons appartiennent à la même séquence.

Les indices d'hétérométrie (Tableau XII - fig. 20) ont pour valeur de rang moyen 0,42. Cette valeur est proche de celle obtenue pour les grauwackes du Sud de Laval. Le diagramme de PASSEGA est comparable à ceux des dépôts de turbidité (fig. 21).

	Références des échantillons				
	1	2	3	7	8
Grain moyen en microns	164	190	320	194	178
Indice d'hétérométrie	0,38	0,48	0,48	0,26	0,42

TABLEAU XII - Caractéristiques granulométriques (Gomer).

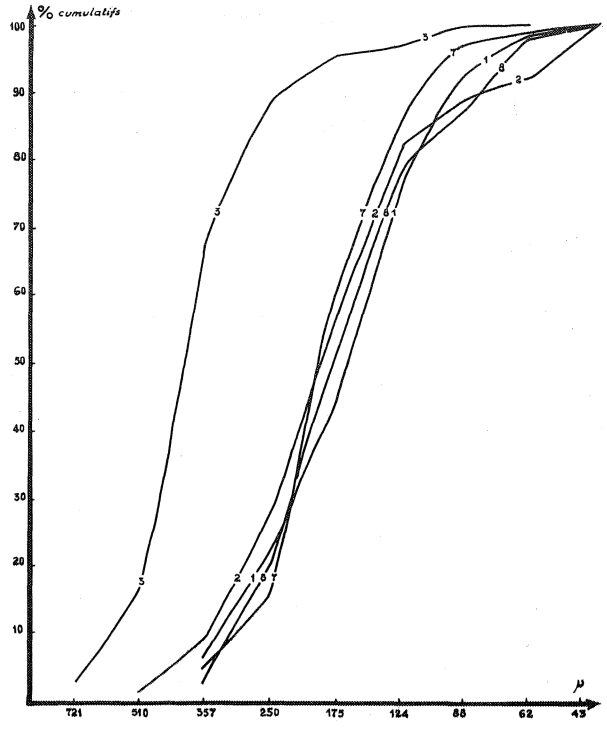


Fig. 20 - Courbes granulométriques : Gomer.

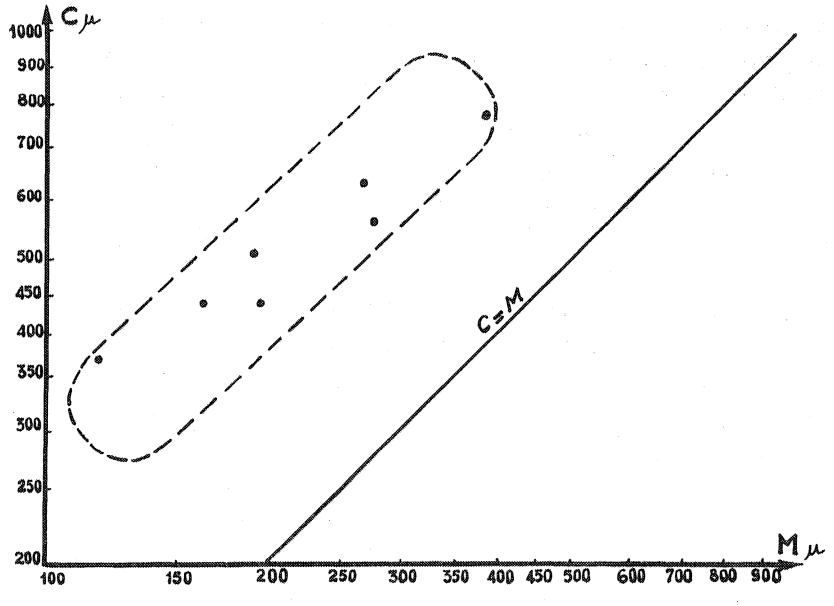


Fig. 21 - Gomer : Diagramme CM.

B - GAUTRAY

Le Culm apparaît sous forme de grès, de grain variable, altéré et oxydé. Certains échantillons sont très rouges et très denses. Ces grès paraissent riches en manganèse.

Les échantillons sont prélevés de bas en haut dans la série, en se basant sur la variation du grain de la roche et sur l'aspect homogène ou zoné du grès.

1°) Etude pétrographique

Trois lithotopes ont été identifiés :

- des poudingues à petits éléments de grès, de taille 1 à 2 cm (G 28)

- des microconglomérats constitués de grains de quartz, de feldspaths très altérés, séricitisés, de lamelles de muscovite assez rares, de débris lithiques (roches siliceuses, roches volcaniques avec sphérolites de dévitrification).

- des grauwackes, à quartz prédominant (cf. analyse modale tableau XIII), à débris de roches siliceuses, avec peu ou pas de feldspaths (certains sont fortement séricitisés et à peine reconnaissables), pas ou très peu de muscovite en grandes lames, un ciment abondant. Ce dernier élément est extrèmement complexe : les chlorites se rencontrent, bordant les grains de quartz et développées souvent perpendiculairement à leurs contours. Entre les grains de quartz, se situent par places soit des îlots de séricite mêlés à quelques chlorites, soit des amas de vermicules de kaolinite. Cette argile a été déterminée après examen au microscope électronique de particules prélevées sur l'échantillon, dans le champ d'une loupe binoculaire. La détermination a été faite par Mme ESTEOULE-CHOUX, au centre de microscopie électronique de la Faculté des Sciences de Rennes.

Le cortège des minéraux rencontrés : micas, chlorites, kaolinite, est celui signalé dans les grauwackes par H. D. GLASS, P. E. POTTIER et R. SIEVER (1956) et H. D. GLASS (1958), la kaolinite étant considérée comme plus abondante dans les niveaux gréseux. Pour ces auteurs, des actions diagénétiques ont dû s'ajouter pour modifier les apports originels. On peut admettre, comme le signale G. MILLOT (1964 p. 285) que "cette kaolinite est secondaire et provient de l'évolution d'un matériel micacé antérieur, d'autant que, comme l'ont remarqué nombre d'auteurs, elle aurait été incapable de supporter le transport sous cette forme". D'autre part, dans le cas présent, la kaolinite se présentant en petits vermicules situés dans les intervalles des grains de quartz, doit correspondre au produit de transformation des paillettes de séricite.

Cependant, étant donné l'état de la roche prélevée en surface, on ne peut laisser dans l'ombre l'hypothèse d'une altération continentale post-orogénique, donnant naissance à de la kaolinite à partir des chlorites, comparable à celle décrite par J. ESTEOULE et J. ESTEOULE-CHOUX (1963),

au cours de l'altération de schistes.

Les éléments de roches siliceuses (quartz cryptocristallin), comparables aux cherts des auteurs anglo-saxons, proviennent de l'altération de verres volcaniques (E. An. ZEN 1959, E. C. DAPPLES 1962 p. 928).

	Références des échantillons							
	16	21	24	25	28	30	40	46
Quartz	61,50	64,30	41,45	75,10	71	66,90	59,00	73,50
Feldspaths	4,25	2,59	0,98	3,50	5,89	3,13	2,68	6,15
Micas	0,10	0,49	0,00	0,65	0,00	0,52	0,00	0,00
"Cherts"	0,90	6,85	1,28	2,50	7,62	2,50	2,29	0,00
Ciment	31,65	22,90	56,00	14,10	14,95	26,40	31,85	19,75
Minéraux opaques	1,40	3,17	0,02	3,70	0,05	0,62	1,47	0,60
Zircon	0,20			0,30				
Tourmaline				0,15			0,09	

TABLEAU XIII - Analyse modale des échantillons du Culm de Gautray.

2°) Analyse séquentielle et étude granulométrique

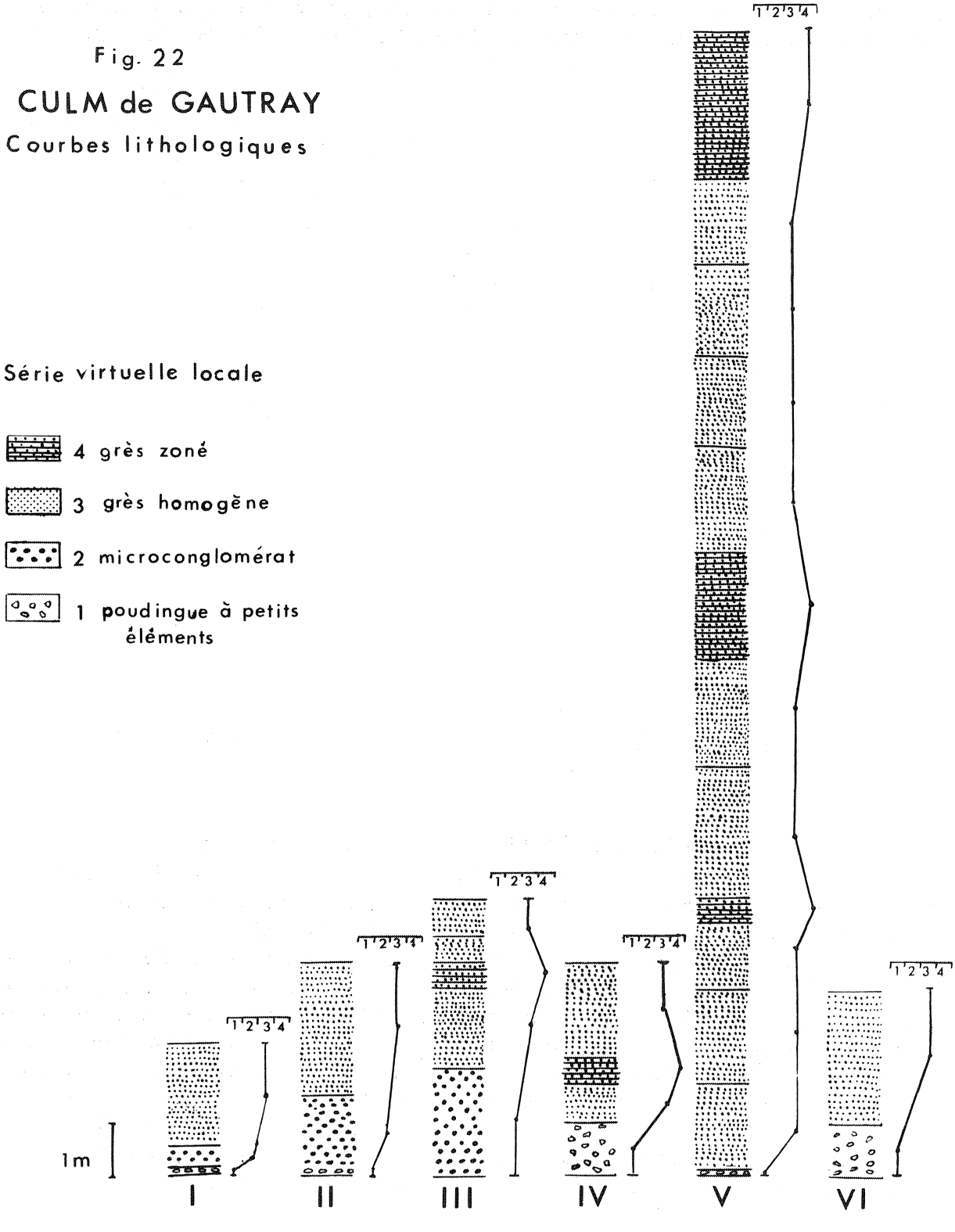
La puissance de la série étudiée est de 84 mètres. En prenant comme base des séquences les poudingues à petits éléments ou les microconglomérats, 6 séquences ont été dénombrées (fig. 22).

Les séquences I et II sont positives dans leur ensemble (échantillons 17 à 21). La séquence III présente,sur 7 mètres, une série granoclassée (échantillons 22 à 27) allant du microconglomérat au grès fin, à laquelle succèdent des grès zonés plus grossiers. Le grain moyen de ces différentes zones est le même, mais le feuilletage correspond à une plus grande richesse de certaines zones en minéraux opaques (oxydes de manganèse et fer).
La séquence IV (28 à 30) débute par un terme grossier (poudingue à petits éléments) qui, par granoclassement,se résout en un grès homogène fin ; cette succession granoclassée est surmontée de grès zonés.

Fig. 22

CULM de GAUTRAY

Courbes lithologiques



La séquence V (échantillons 31 à 44) s'observe sur une puissance de 35 mètres. Elle est complexe. Elle débute par un banc granoclassé : la base de ce banc, sur un à deux centimètres, présente de petits graviers de 5 à 8 mm, puis le sommet du banc est formé d'un grès fin (grain moyen = 210μ). Ensuite, affleure une succession de termes alternant entre des grès homogènes à grain variable (grain moyen compris entre 525μ - 150μ) et des grès zonés (grain moyen compris entre 200μ et 150μ). Les grès zonés peuvent être considérés comme les termes terminaux des séquences mineures : grès homogène-grès zoné constituant un rythme. Le terme de base, grès homogène, peut être plus ou moins grossier. Cette dernière séquence apparaît donc rythmique.

En conclusion, chacune des séquences présente un terme de base granoclassé, suivi d'un complexe terminal formé de grès homogènes à grain variable et de grès zonés. La puissance des divers termes est variable.

La valeur médiane des indices d'hétérométrie (tableau XIV, fig.23) échantillons 16, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 43) est égale à 0,38.

Références des échantillons	Grain moyen en microns	Indice d'hétérométrie
16	142	0,46
21	220	0,42
23	1 160	0,38
24	164	0,15
25	148	0,38
26	270	0,35
27	405	0,48
28	355	0,48
29	130	0,34
43	164	0,34

TABLEAU XIV - Caractéristiques granulométriques (Gautray).

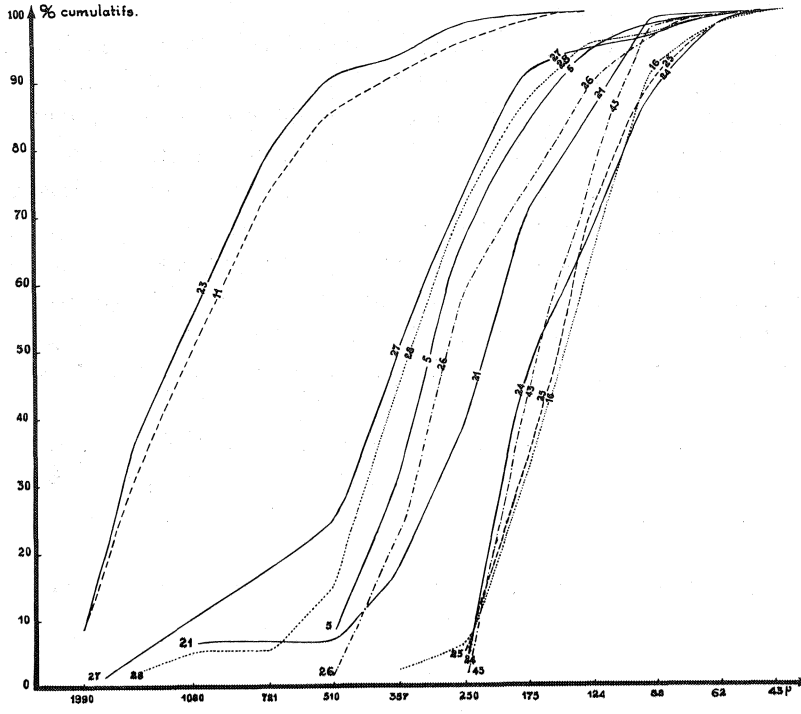


Fig. 23 : Gautray Courbes granulométriques.

J'ai tenté d'établir des diagrammes de PASSEGA pour les séquences I, II, III et V. Les points obtenus pour chacune des séquences I et II étant trop peu nombreux pour permettre seuls d'établir un diagramme, les points des séquences I et II ont été associés ; ils se situent dans l'aire caractéristique des sédiments transportés sur le fond par roulement (fig. 24). La séquence V, par contre, présente un diagramme typique de courant tractif (fig. 25).

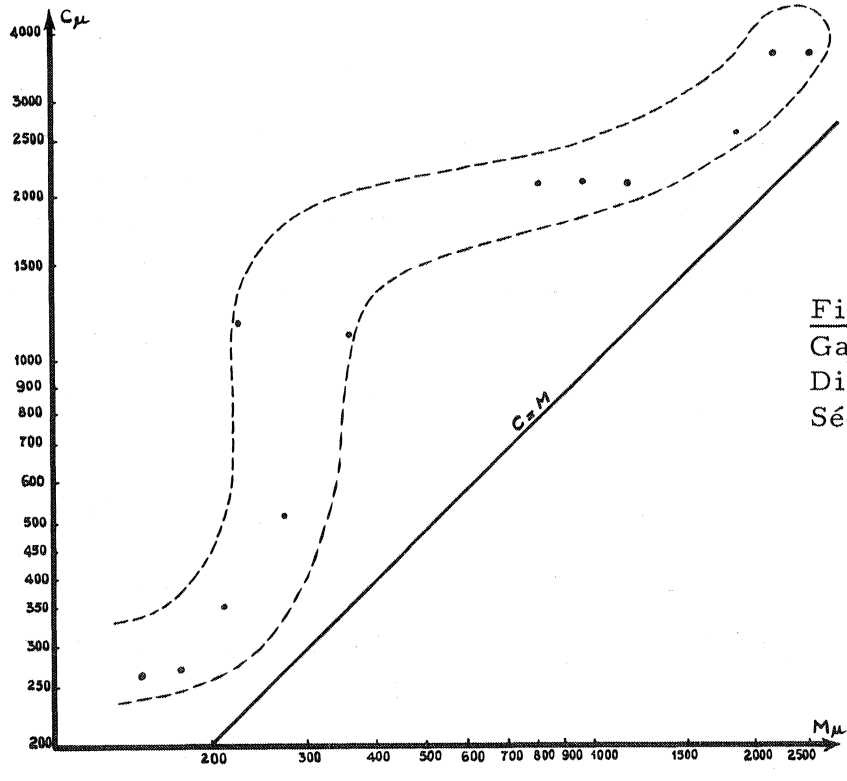


Fig. 24 : Gautray Diagramme CM Séquences I et II.

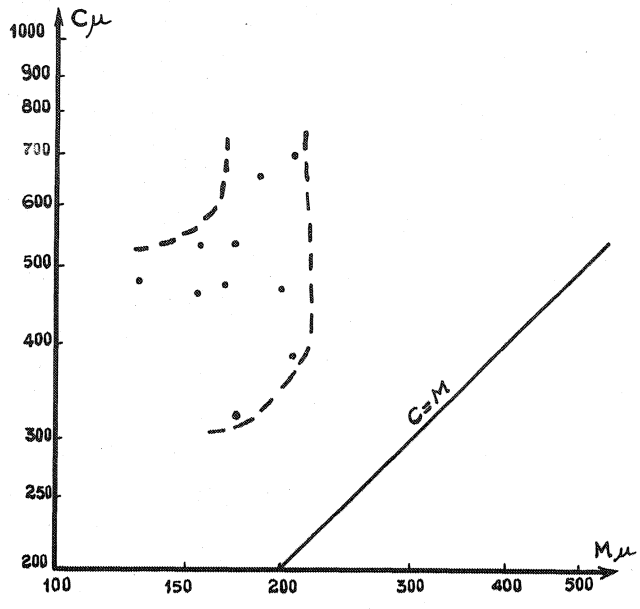


Fig. 25 - Gautray - Séquence V : diagramme CM.

En conclusion, l'analyse séquentielle et l'étude granulométrique donnent des résultats comparables à ceux obtenus pour le Culm du Sud de Laval et celui de Saint-Pierre-la-Cour.

Les sédiments sont formés de termes granoclassés correspondant, dans chaque séquence, aux dépôts de base et de complexes terminaux plus ou moins grossiers déposés par des courants tractifs marins (le classement est élevé).

Il n'y a pas de trace de schistes noirs, seulement une zonation apparaît dans les grès. Cette zonation peut, vraisemblablement, être rapprochée de ce qui a été décrit dans certaines roches sédimentaires, sous le nom de feuilletage ou de lamination. J. Ph. MANGIN (1963 p. 112) admet que cette zonation "implique un certain nombre de conditions parmi lesquelles : alternance rythmique des apports maintenue pendant de longues périodes ... faible profondeur du milieu aquatique de sédimentation et calme de ce milieu". Il rappelle que les sédiments feuilletés sont présents aux abords de deltas ou de lagunes.

L'origine du matériel de la région de Saint-Brice est difficile à localiser, les sédiments paraissent avoir subi une longue évolution. Les éléments volcaniques représentent sans doute le remaniement de débris des coulées éruptives sous-jacentes ; l'abondance des feldspaths altérés fait présumer une origine granitique ou métamorphique.

II - VOIE FERREE SABLE - LE MANS

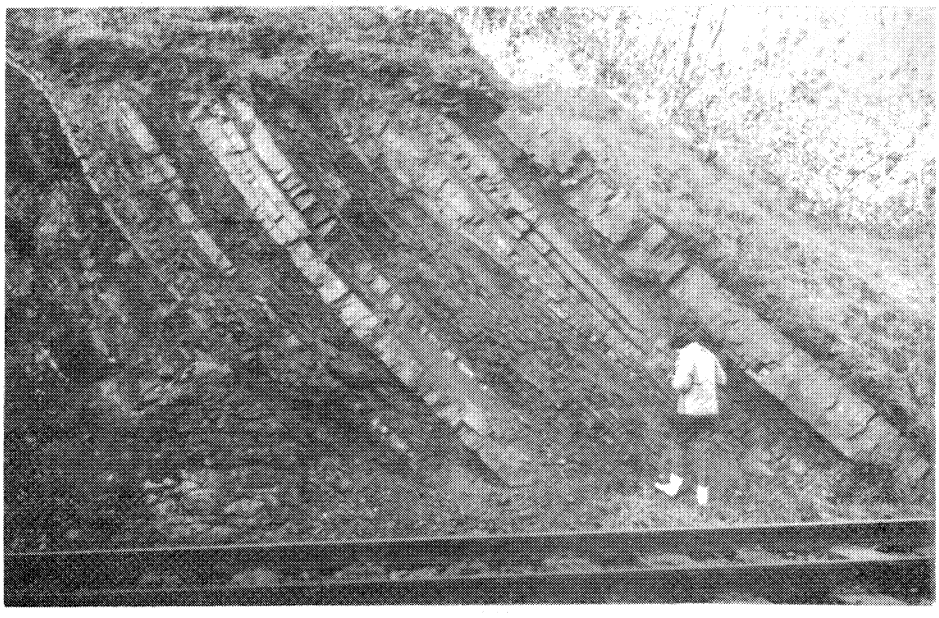
D. OEHLERT (1911, p. 612) signale "la présence des schistes charbonneux et des grès noirs du Culm succédant directement au Dévonien inférieur ... inclinés au Nord" le long de la voie ferrée Sablé- Le Mans, immédiatement après le pont correspondant à la traversée de la D 24, à 1, 500 km au Nord de Sablé, coordonnées Lambert (5 303,40. 699,80 feuille de La Flèche au 1/50 000). Cette coupe est particulièrement intéressante, puisqu'elle permet d'étudier la sédimentation du Culm riche en veines houillères encore exploitées au début de ce siècle.

A - DESCRIPTION DE L'AFFLEUREMENT

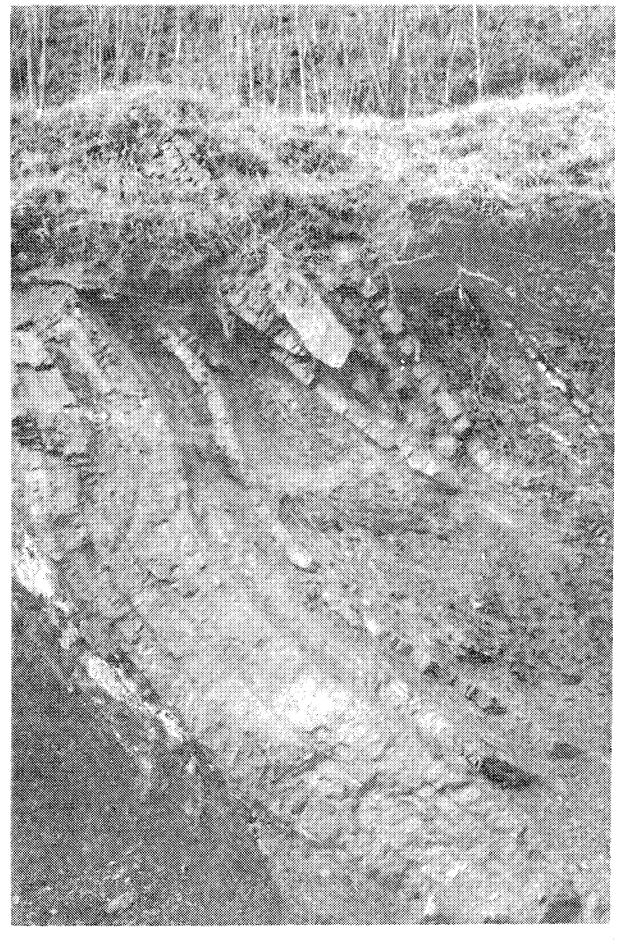
On observe, à la base du Culm, une roche éruptive basique considérée par les anciens auteurs (D. OEHLERT 1911, p. 614) comme une "porphyrite". Elle constitue deux masses qui enserrent une lentille de grès et de schistes noirs. L'observation d'une structure de pillow-lavas me fait penser qu'il s'agit de coulées sous-marines. En conséquence, la base sédimentaire du Culm est perturbée et l'analyse séquentielle a été faite à partir du niveau gréseux sus-jacent à la deuxième coulée.

A ce niveau de grès, grossier à la base, font suite : des bancs de grès d'une puissance de 40 cm, séparés par des schistes noirs (15 cm) ; une alternance de petits bancs de grès (20 cm) et de schistes noirs ; des grès (60 cm), une alternance de grès à faible puissance et de schistes noirs micacés (sur 40 cm), des grès noirs (60 cm), un mince filonnet de houille (15 cm), des grès (70 cm). On observe ensuite une veine d'anthracite. Elle est suivie d'une alternance de grès et schistes charbonneux et d'une série gréseuse puissante, quartzifiée. On note, de nouveau, la présence d'une veine de houille associée à des schistes charbonneux, une alternance de grès et schistes noirs avec prédominance, à la base, des schistes sur les grès, une grande épaisseur de quartzites (3 m). La troisième veine d'anthracite très mince, est suivie de grès et schistes charbonneux ; un nouveau niveau houiller et schistes noirs affleure, très important en épaisseur (70 cm), suivi de schistes gréseux riches en micas et de petits bancs de grès (15 cm), puis de grès (50 cm). Enfin, la série se termine par la succession : anthracite, schistes noirs contournés (1,80 m) avec petits bancs de grès intercalaires, couronnés par un puissant banc de grès (fig. 26 , A et B).

Il faut noter que les schistes charbonneux sont prédominants sur les veines d'anthracite pur ; ils apparaissent finement lités, avec de menus débris végétaux étalés suivant les plans de stratification ; l'orientation de ceux-ci est variable, entre deux bancs de grès, les schistes sont plissotés sur eux-mêmes et la sédimentation schisteuse à une allure désordonnée. En aucun endroit, il n'a été observé de sols de végétation avec radicelles, comparables à ceux qui ont été décrits dans les bassins houillers paraliques du



A - Veine supérieure



B - Sédimentation lenticulaire des grès intercalaires

Fig. 26 - Culm du synclinal de Solesmes, voie ferrée Sablé-Le Mans.

Nord de la France (P. PRUVOST, 1930). La disposition rencontrée est semblable à ce que A. BOUROZ (1960) a décrit dans le Stéphanien du bassin du Dauphiné. On peut donc conclure qu'il s'agit, ici, de houille allochtone.

B - ETUDE PETROGRAPHIQUE

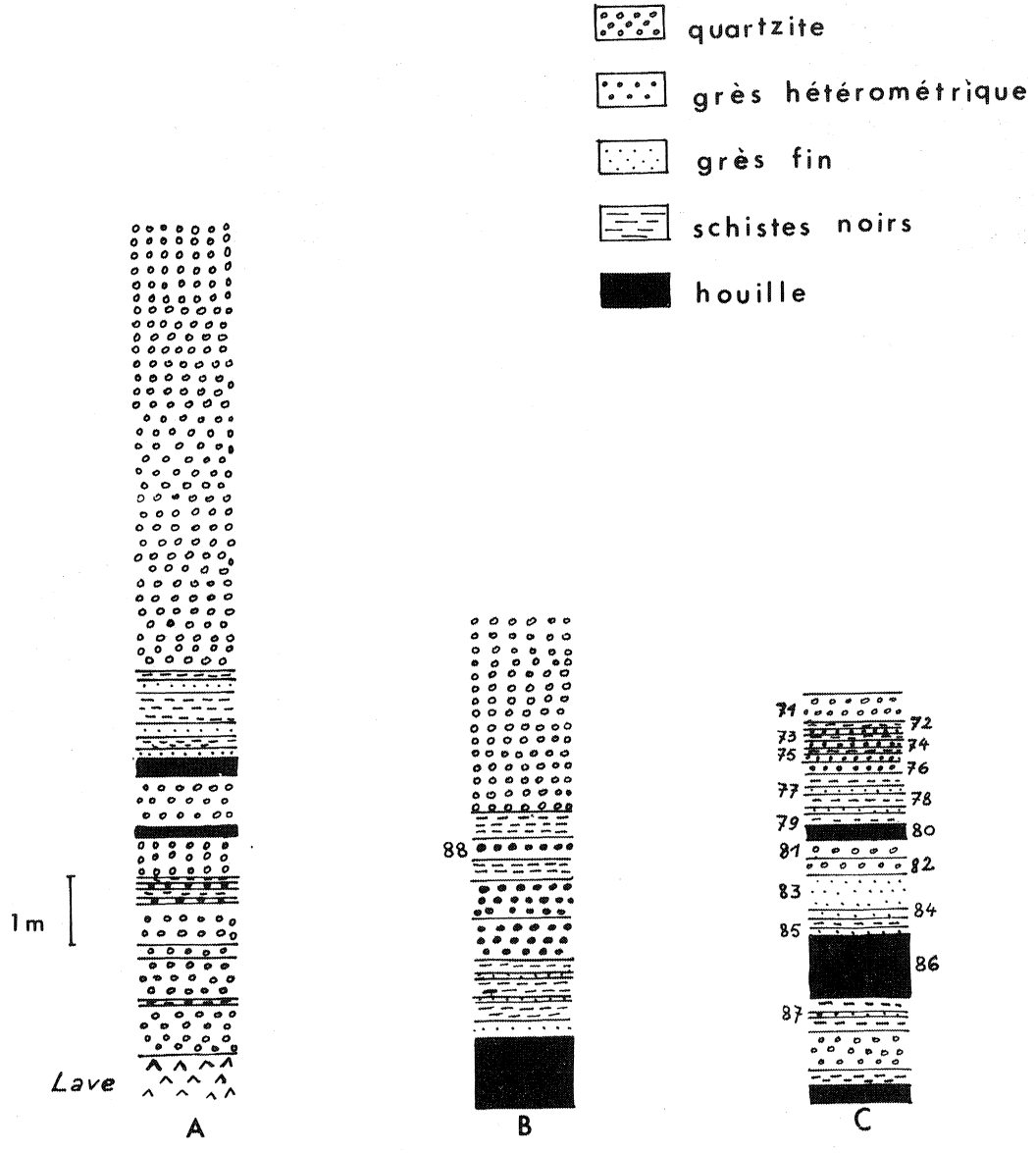


Fig. 27 - Cyclothèmes : Culm du Synclinal de Solesmes, voie ferrée Sablé - Le Mans.
(A. B. C. sont superposés suivant l'ordre stratigraphique).

- Les grès succédant à la houille sont à grain fin, bien calibrés (le grain moyen est égal à 60 μ). Les lamelles de muscovite sont nombreuses. On observe des plages sériciteuses et argileuses, quelques feldspaths, des tourmalines abondantes jaunes, vertes ou bleues. Le ciment charbonneux constitue un fin reticulum autour des grains (VF 78; VF 79; VF 84; VF 85). fig. 27.

- Les bancs de grès (VF 72; VF 73; VF 74; VF 75; VF 76; VF 77; VF 83), alternant toujours avec les schistes noirs, deviennent plus hétérométriques. Ils sont constitués par une catégorie de grains (grain moyen variant de 250 μ à 500 μ suivant les échantillons) dispersés dans une masse de grains nettement plus petits (grain moyen 60 μ). Ces derniers sont rassemblés par zones ou paraissent combler les vides entre les grains de plus grande taille. Ceux-ci ne doivent pas leur taille à des phénomènes de nourrissage de grains par quartzification, car, parmi ces gros éléments, on observe des feldspaths. Les gros grains de quartz sont arrondis ; les feldspaths altérés sont nombreux. Le ciment charbonneux est abondant.

- La série se termine par des grès quartzeux qui ne permettent pas une étude granulométrique. Ces grès ont, en effet, subi une silicification secondaire, en relation avec leur recouvrement par les matières humiques, comparable à ce qui a été observé dans les ganister (P. CHARLIER 1955). Ce phénomène est expliqué par le lessivage des grains de quartz par les solutions acides (G. MILLOT 1964, p. 346).

- Les schistes noirs houillers sont formés essentiellement par la matière charbonneuse. On y rencontre du quartz très fin en faible pourcentage, des amas kaoliniques et séricitiques bien développés.

C - ANALYSE SEQUENTIELLE

Les séries étudiées ici, peuvent être considérées comme des cyclothèmes si on définit le cyclothème comme une séquence à charbon. Malgré la variabilité du nombre des termes, chaque cyclothème apparaît constitué par un certain nombre d'éléments constants :

- au mur de la veine : banc de grès quartzifié plus ou moins puissant,
- niveau de houille, plus ou moins pure, associée parfois à des schistes noirs,
- au toit de la veine : schistes noirs riches en micas et petits bancs de grès bien classés à la base, hétérométriques au sommet.

La sédimentation est donc rythmique. Il paraît logique de prendre comme base la veine de houille allochtone.

L'extension latérale des cyclothèmes est très variable. La stratification étant entrecroisée et lenticulaire, une suite de séquences levée au

ras du sol n'est pas identique à celle existant au haut de la tranchée, à 5 m du sol. D'autre part, des variations apparaissaient nettement entre les deux tranchées de la voie de chemin de fer. Ainsi, comme le fait remarquer R. TEICHMULLER (1955), ces rythmes ne sont pas des éléments de repères pour les parallélismes à distance.

En conclusion, la sédimentation du Culm inférieur, affleurant le long de la voie ferrée Sablé-Le Mans est rythmique, dans la mesure où les séquences à charbon ou cyclothèmes, se répètent plusieurs fois. Cependant, la sédimentation est lenticulaire, elle montre des stratifications entrecroisées, le nombre des termes et l'extension horizontale des cyclothèmes est variable. L'allure schisteuse, parfois désordonnée du dépôt houiller dans les deux derniers cyclothèmes, associée aux caractères variables de la stratification implique un dépôt brutal (H. FAYOL,1888; A. BOUROZ,1960 p. 76) qui ne serait pas déterminé par une forte pente, mais par des apports localement et temporairement plus rapides. Malgré l'absence de calcaires, les cyclothèmes observés à Sablé, paraissent correspondre aux cyclothèmes de deltas ou de plaine alluviale (H. R. WANLESS et F. P. SHEPARD, 1936 in W. C. KRUMBEIN et L. SLOSS,1963 p. 537).

III - CONCLUSIONS GENERALES SUR LE CULM DE LA REGION DE SAINT-BRICE - SABLE

Deux séries gréseuses à caractères granulométriques différents encadrent les couches houillères :

1 - les grès de Gomer situés à la partie inférieure du Culm, correspondent à des turbidites. Ces dernières ont pu se former, comme il a été vu au paragraphe précédent, par suite d'un grand apport de sédiments sur une pente faible ou au front de deltas ou plaines alluviales.

2 - les couches houillères ne sont plus visibles actuellement dans la région de Gomer, mais la description qu'en donne Ed. BLAVIER (id. op.) correspond à ce qui peut être observé dans le synclinal de Solesmes. D'ailleurs, Ed. BLAVIER (id. op. p. 128) à cette époque, estimait que les couches d'anthracite de Saint-Brice et celles de Fercé (synclinal de Solesmes) étaient dans le prolongement l'une de l'autre. En conséquence, les conclusions émises pour les strates de Sablé doivent s'appliquer et la houille peut être considérée comme allochtone.

3 - les grès de Gautray, situés à un niveau stratigraphique plus élevé dans la série du Culm sont, pour la plupart, des dépôts de courants de traction. Les genèses différentes des divers grès du Culm de Saint-Brice, séparés par des niveaux houillers allochtones permettent d'expliquer la sédimentation du Culm inférieur dans cette région.

Lors du dépôt des grès de Gomer, la présence de turbidites implique un apport important sur une pente faible (R. PASSEGA,1962). On est donc

conduit à imaginer un arrière-pays relié à la plate-forme continentale par un glacis faiblement incliné. L'absence de lithotopes grossiers et la rareté des débris lithiques font penser que les reliefs, source d'alimentation terrigène, étaient assez éloignés. La zone de sédimentation devait être soumise à une subsidence assez rapide. Puis une végétation s'est établie sur les hauteurs stabilisées du continent ou dans les zones marécageuses des plaines alluviales. Cette association végétale est assez peu riche en espèces puisque seules sont connues, des empreintes de Rhodeopteridium ZIMMERMANN = Rhodea PREST. (A. CARPENTIER, 1925) qui ont un feuillage proche de celui de certaines espèces de Sphenopteris et Diplotnema (H. A. ANDREWS, 1961, p. 92) et appartiennent au groupe des Pteridospermophyta, Gymnospermae (W. GOTHAN, H. WEYLAND, 1964, p. 255). Cette flore a livré aux rivières des débris qui se sont transformés en houille. Ces phénomènes s'observent actuellement dans des zones deltaïques à subsidence continue (N. LENEUF, 1962) dans lesquelles les dépôts terrigènes, associés aux plantes flottées, constituent des zones argileuses. Ces dernières, par suite de la diagénèse et de la compaction, ont pu former des schistes charbonneux et de la houille.

Ces mêmes conditions de dépôt ont été signalées par A. BERSIER (1951) pour la sédimentation molassique paralique ; A. DELMER (1952) précise que la descente continue du fond d'un bassin peut être responsable du dépôt cyclique des sédiments, lorsque l'épandage des matériaux détritiques est irrégulier. Cette sédimentation entre dans le cadre des phénomènes d'oscillation de relaxation. Divers auteurs (P. PRUVOST, 1930; J. FABRE, 1961; G. RUTTEN, 1952; A. BOUROZ, 1962) sont d'accord pour admettre que les mouvements crustaux (subsidence) sont nuls ou faibles lors du dépôt de la houille et que le retour des détritiques grossiers est commandé par un rajeunissement du relief ; mais pour expliquer ce phénomène, G. RUTTEN (id. op.) imagine un exhaussement différentiel de l'arrière-pays et du bassin de sédimentation, tandis que A. BOUROZ (id. op.) considère une subsidence à vitesse accrue affectant l'aire de dépôt. Les détritiques grossiers (dans le cas présent, correspondant aux grès de Gautray, ou aux grès supérieurs des cyclothèmes de la voie ferrée Sablé-Le Mans) ont été déposés par des courants de traction en eau peu profonde. Ils ne paraissent pas liés à une subsidence accrue, qui aurait dû entraîner la formation de turbidites. L'hypothèse de G. RUTTEN paraît plus satisfaisante pour expliquer la genèse des cyclothèmes du Culm inférieur de cette région. La subsidence est faible tandis que la végétation s'installe et que se forment les dépôts houillers. Une subsidence soudaine générale affectant l'arrière-pays et le bassin de sédimentation intervient, les débris végétaux ne peuvent subir le phénomène de houillification et des sédiments fins sont entraînés (grès et schistes intercalaires supérieurs aux veines de houille). Puis des mouvements de surhaussement se produisent, l'arrière-pays est plus surélevé que la plate-forme et par suite de la reprise de l'érosion, du matériel grossier est évacué. Ensuite, lors de la pénéplanation, de nouveau la végétation s'établira et le cycle pourra recommencer.

CONCLUSIONS GENERALES SUR LE CULM INFERIEUR

Pour chacun des affleurements que j'ai pu observer, j'ai analysé la constitution des séquences et il apparaît que celles-ci sont formées d'un matériel grossier de l'ordre du galet et d'éléments plus fins de type grauwacke. De ces études de détail, il est possible de tirer des conclusions et d'émettre des hypothèses sur l'origine et le mode de mise en place du matériel de la formation désignée sous le nom de Culm inférieur. Le dépôt a commencé au Dévonien supérieur et a duré jusqu'au Tournaisien. Les limites ne peuvent être précisées davantage, mais la présence de fossiles qui peuvent être rapportés au Dévonien supérieur montre que le Culm a, au moins, commencé à cette époque et le Productus vaughani de Bois-Gamats indique qu'il n'était pas terminé au Tournaisien moyen.

I - ORIGINE DU MATERIEL

Elle apparaît essentiellement locale. Cette observation est surtout valable pour les éléments grossiers. Certains des éléments des grauwackes de la région du Sud de Laval et de Saint-Brice peuvent avoir une origine plus lointaine. La présence de feldspaths, qui paraissent bien détritiques, et de fragments de granites et de roches métamorphiques ne semble pas pouvoir s'expliquer par l'érosion de roches plus anciennes au voisinage du bassin de Laval, tel qu'il se présente aujourd'hui dans la géographie : les roches sédimentaires antécarbonifères de la région ne sont pas riches en feldspaths ; les formations métamorphiques et endogènes sont éloignées d'une centaine de kilomètres des limites actuelles du bassin. On peut, en première hypothèse, envisager que cette zone ait pu fournir une partie du matériel des grauwackes.

II - MISE EN PLACE DU MATERIEL

La comparaison des séquences lithologiques observées dans plusieurs affleurements montre que les conditions de sédimentation n'étaient pas identiques dans tout le bassin.

- La prédominance des faciès détritiques grossiers et le grand nombre des séquences sur le flanc nord, dans la région de Changé, où la série est dans son ensemble moins épaisse qu'au Sud, peuvent résulter d'une érosion plus active, liée à des reliefs assez accusés dans le bassin versant

et au rajeunissement constant de ceux-ci par des jeux de failles. Les hauteurs siluro-dévoniennes,constituées à la phase bretonne, devaient être reliées au bassin de sédimentation par une pente forte, ce qui entraînait la formation de dépôts torrentiels avec cônes de déjection de sables et de galets (cf. Var à Nice). L'absence de smectites, dans les colloïdes des ciments des roches, en présence de calcaires, confirme la soudaineté de l'érosion. Aucune veine de houille n'est signalée dans ce Culm. Ceci peut tenir, d'une part, à la pauvreté de la végétation du Dévonien supérieur, et d'autre part, au fait que la topographie n'ait pas été favorable à l'établissement de la luxuriante végétation du Carbonifère. Relief et absence de végétation ont dû favoriser, par contre, la violence de la glyptogénèse.

L'allure de la sédimentation du Culm inférieur dans la région de Changé conduit donc à considérer que la phase bretonne a produit des dénivellations importantes dans les régions septentrionales jouxtant la Normandie et le Maine, dans lesquelles le Cambrien, l'Ordo-Silurien, le Dévonien ont été plissés à cette époque (P. PRUVOST ,1949). Des jeux de failles à rejet vertical de plusieurs centaines de mètres ont pu se produire, comme il en est observé dans la cordillière des Andes (renseignements "in litteris" de M. J. AUBOUIN) où néanmoins les dépôts du Pliocène accumulés pendant et après ces jeux de failles, paraissent concordants sur le Mésozoïque, comme ici on constate une pseudo-concordance entre le Dévonien inférieur et le Dinantien.

- Sur le flanc nord encore, mais à l'Est de Vaiges, le Culm est peu représenté n'existant que sous forme d'affleurements très réduits et en relation tectonique avec le Dévonien. On retrouve presqu'uniquement des traces de venues éruptives. La sédimentation calcaire paraît s'être établie dès le Tournaisien supérieur. Il faut admettre, dans ces conditions, que vers le Sud-Est du flanc nord du bassin, le relief était moins accusé que vers le Nord-Ouest ; peut-être s'agissait-il, dans l'orogénèse bretonne, d'une zone effondrée. L'établissement précoce de la sédimentation calcaire fait admettre que c'est dans cette région qu'a pu s'établir vers le Nord-Est la communication avec la mer.

- A Saint-Pierre-la-Cour et sur le flanc sud du bassin, les grauwackes sont plus largement représentées que les poudingues dans lesquels la matrice occupe souvent une place importante ; ce fait permet de penser que des galets locaux ont pu être emballés dans une boue d'origine plus lointaine. L'analyse séquentielle m'a conduite à rattacher certains dépôts aux undaturbidites et à conclure, par conséquent, à un apport important de matériel sur une pente relativement faible. La paléogéographie, sur ce flanc sud,devait donc être sensiblement différente de celle observée pour le flanc nord. L'origine du matériel oblige à envisager une relation entre la zone de sédimentation du bassin de Laval et des reliefs ayant pu fournir les feldspaths et les débris de roches granitiques. D'après J. COGNE (1965), les domaines

métamorphiques ont formé des voussures dont le flanc nord-est se prolongeait, sans doute, fort loin dans le socle bordant la fosse à accumulation détritique. Entre ces reliefs et la zone étudiée, aurait existé une sorte de glacis,en pente assez faible,sur lequel des masses de sédiments relativement fins auraient pu constituer de vastes zones d'épandages atteignant la zone maritime où ils devaient être remaniés. La sédimentation du Culm dans cette région sud évoque donc le paysage d'une plaine alluviale : certains sédiments correspondent aux dépôts de levées, d'autres sont des undaturbidites au front de l'épandage, d'autres sont des sédiments de lagunes riches en matière végétale qui ont constitué des schistes charbonneux et même la houille. La partie supérieure est plus franchement marine, ce qui indique la subsidence du bassin.

La succession des dépôts a pu être observée, grâce à certaines conditions topographiques favorables, telle la vallée de la Mayenne ou à des affleurements artificiels (rares carrières, coupe de la voie ferrée Sablé-Le Mans). Ces observations fragmentaires obligent à une extrême prudence sur les interprétations paléogéographiques de toute façon difficiles, particulièrement en pays plissé.

Cependant, le bassin de Laval peut être caractérisé par l'existence de deux zones de sédimentation à caractère différent : la région méridionale continuera d'être subsidente pendant tout le Dinantien, tandis que dans la partie nord, comblée rapidement au cours du Dévonien supérieur et du Tournaisien,s'établira une sédimentation thalassogène de faible profondeur, dans un domaine qui paraît avoir été plus stable dès le début du Viséen.

Une flexure profonde s'établit ainsi entre zone subsidente méridionale et zone soulevée septentrionale. Son trajet probable est précisé dans le chapitre sur la Grauwacke à Paléchinides. Cette flexure est à rapprocher des flexures profondes dessinées lors de la phase bretonne entre "infrastructure montante" et "superstructure subsidente .." (J. COGNE, 1965, p. 241).

CHAPITRE II

LE CALCAIRE DE SABLE

Le Calcaire de Sablé (D. OEHLERT,1882) est défini comme un calcaire noir avec veines de spath, affleurant à Louverné, Chémeré et Sablé. Ce faciès apparaît localisé "au Nord de Sablé et du Sud-Est vers le Nord-Ouest par Vaiges, vers Argentré et le Nord de Laval" (Y. MILON, 1928, p. 41) ; ces calcaires sont très fossilifères (Brachiopodes et Polypiers) et sont considérés comme appartenant au Viséen inférieur (Y. MILON,1928 p. 59 ; G. DELEPINE,1913,1930).

J'ai suivi, pour la description du terrain, un itinéraire passant par les divers affleurements afin de mettre en évidence, dans chaque coupe, l'évolution de la sédimentation au cours du Viséen. L'étude détaillée a permis de reconnaître, dans le Calcaire de Sablé, plusieurs zones paléontologiques dont la succession sera présentée à la fin de ce chapitre, mais auxquelles il sera fait allusion dans les descriptions pour faire apparaître la place des gisements dans la stratigraphie locale.

Dans la description des gisements, la liste des fossiles est présentée sous forme de tableaux, la présence des différentes espèces dans les échantillons est indiquée par une croix et par la lettre c, pour celles qui sont très abondantes. Pour les espèces caractéristiques des zones, les lettres suivantes marquent le moment de leur apparition :

t (de Tournaisien)	espèce apparaissant dans la zone			I	
V (- Viséen)	"	"	"	II	(début du Viséen)
A (de Archaediscidae)	"	"	"	III	
K (de Koninckopora)	"	"	"	IV	
C (de Archaediscus convexus)	"	"	"	V	
S (de Plectogyra spira)	"	"	"	VI	

INTRODUCTION

Considéré dans son ensemble, le bassin de Laval est un grand synclinal dont l'enveloppe est constituée par le Culm inférieur et dont le centre est occupé par les Schistes de Laval. Cette disposition existe, en fait, dans la partie occidentale où le Calcaire de Sablé est localisé sur le flanc nord. Mais au Sud-Est de la ligne La Bazouge-de-Chémeré - Ruillé-Froid-Fonds, la structure se complique. Au Nord des Schistes de Laval, apparaissent des plis secondaires, à noyau dévonien (massif de Saulges, région d'Epineux-le-Seguin). Le Calcaire de Sablé dessine la bande de Saint-Pierre-sur-Erve - Cossé, puis plus au Sud, la bande de Chémeré-le-Roi subdivisée vers l'Est par l'anticlinal dévonien d'Epineux-le-Seguin. Au Sud des Schistes de Laval, la bande calcaire Auvers-le-Hamon - Juigné est séparée par une bande de Dévonien du synclinal de Solesmes. Le centre de ce synclinal secondaire est constitué par le Calcaire de Sablé, tandis que dans le périsynclinal de Bouère, affleure le Calcaire de Laval (planche hors-texte).

La description des affleurements étudiés est faite de l'extrémité sud-est du bassin, vers le Nord-Ouest en les replaçant dans les unités structurales secondaires précédemment décrites.

I - FLANC SUD DU BASSIN DE LAVAL

A - Synclinal de Solesmes

B - Bande Auvers-le-Hamon - Juigné

II - FLANC NORD DU BASSIN DE LAVAL

II_a - Replis orientaux

A - Chémeré-le-Roi (La Foucaudière)

B - Epineux-le-Seguin (L'Epinoyau)

C - Cossé-en-Champagne

D - Le Grand-Rousson entre Saulges et Ballée

E - Les Préaux

F - Le Hallais

G - Saint-Pierre-sur-Erve (Les Fourneaux)

H - Vallée de l'Erve entre Saint-Pierre-sur-Erve et Saulges

II_b - Région occidentale

A - Vaiges (La Massuredière, Bonne Fontaine)

B - Argentré (Les Rochers)

C - Louverné (Les Gravus, Les Aumeunes)

D - Changé (vallée de la Mayenne et carrière Saint-Roch).

I - FLANC SUD DU BASSIN DE LAVAL

A - SYNCLINAL DE SOLESMES

1°) Carrières de Port-Etroit (Solesmes)

Ces deux carrières sont situées sur la route de Sablé-sur-Sarthe à Juigné-sur-Sarthe, à 1 km au N E de Sablé, au point de coordonnées 700,60 et 5303, feuille de La Flèche au 1/50 000. Elles entament le bord sud-ouest du périsynclinal de Solesmes. L'allure des couches dans cette unité est régulière (A. PHILIPPOT, 1948, p. 47).

Les calcaires exploités dans ces carrières, correspondent au type du Calcaire de Sablé. G. DELEPINE (1930) y signale la présence de Zaphrentis konincki M. E. et H., Siphonophyllia cylindrica (SCOULER), Diphiphyllum concinnum LONDS., Michelinia megastoma PHILL. C. BABIN (1966) a déterminé Conocarduim cf. subrostratum (de KON.).

La régularité des bancs, de 30 à 40 cm de puissance, est frappante ; elle n'est observable sur une aussi grande épaisseur (150 m) que dans ce synclinal, ce qui explique les confusions lorsqu'on a voulu faire de ce litage régulier une caractéristique du Calcaire de Sablé. (fig. 28).

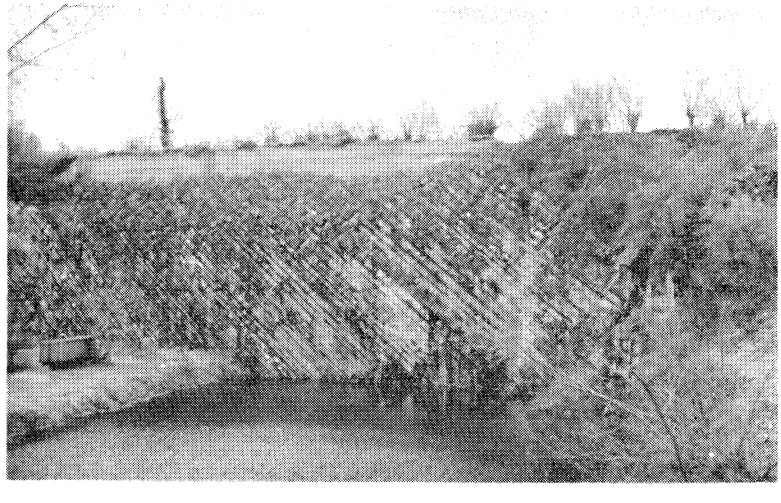


Fig. 28 - Photographie de la carrière n° 1 de Port-Etroit (Solesmes).

Carrière n° 1

a) Description de l'affleurement

Le front de taille étudié a une direction N. 60° E ; la direction des couches varie de N. 120° E à l'entrée de la carrière à N. 90° E dans le milieu du front de taille, ce qui traduit l'allure périclinale du synclinal. Le pendage est de 40° vers le Nord-Est. Le calcaire se présente en bancs réguliers. La surface supérieure des bancs est affectée de bosselures. Elles paraissent être identiques aux "boursouflures rondes ou ovales qui font saillie de 1 à 5 cm dans le banc suivant", décrites par B. MAMET (1958), dans le Marbre noir de Dinant (Belgique). Pour cet auteur, ces protubérances correspondent à des "pseudonodules en train de s'enfoncer dans une vase calcaire ou sont le résultat d'un phénomène d'halmyrolyse" (id. op. p. 41). K. HÜMMEL (1922) a créé le terme d'halmyrolyse pour "grouper les processus chimiques de dissolution et de remplacement sous-marins" (A. LOMBARD, 1956 p. 108). A Port-Etroit, on observe que les dépressions entre les saillies sont enduites d'argile schistoïde. On peut penser qu'il s'agit de figures de sédimentation comparables à des megaripple-marks.

La roche est un calcaire noir, très riche en Caninia gigantea MICHELIN, Michelinia megastoma PHILL. dont les thèques en calcite spathique blanche tranchent sur le fond sombre du sédiment. Ce dernier est très homogène sur toute la puissance étudiée, soit 32 mètres.

b) Pétrographie

Sur les 16 échantillons prélevés, j'ai pu distinguer :

- des calcaires organoclastiques (13 bis, 10, 9, 8, 7, 5, 2, 1) ou biospatharénites (pl. 5, fig. 1). Le ciment spathique est largement cristallisé. Les corpuscules bioclastiques sont :
  - . des grands fragments crinoïdiques
  - . des débris d'Ostracodes, de Bryozoaires, des radioles d'Echinides (type morphologique Echinus HESSE 1900)
  - . des Foraminifères (Earlandiidae et Plectogyra) et des calcisphères (Archaesphæra)
  - . des fragments, assez rares, d'Anthracoporellopsis MASLOV, 1956 p. 73 (éch. 5 et 1).
  - . des fragments tubulaires spathiques, très nombreux, devant correspondre à des thalles algaires.

Des chondroïdes très petits (50 μ) se rencontrent dispersés dans la masse. Du quartz en faible quantité est présent à la base de la série (1 à 4).

- des biocryptarénites (13, 14, 15, 16), formées, essentiellement,

par des éléments spathiques en très grande quantité. Certains d'entre eux sont identifiables comme appartenant au g. Dvinella CHVOR., ils sont associés à d'autres fragments tubulaires à paroi spathique de plus grande taille (voisin de 500 μ) dont l'origine animale ou végétale ne peut être établie avec certitude. Les Ostracodes, les Bryozoaires, les Foraminifères et des calcisphères peuvent se rencontrer dans ce microfaciès. Les chondroïdes sont présents. La teinte noire est due, d'une part, à l'extrême finesse du ciment calcaire, et d'autre part, à la présence de matière organique.

c) Analyse séquentielle

Aucune analyse séquentielle n'a pu être effectuée, faute de pouvoir recueillir des échantillons sur toute la longueur du front de taille. On peut noter cependant que les termes de base, qui succèdent directement à la sédimentation du Culm, sont des sédiments bioclastiques à dominance crinoïdique et que la série étudiée se termine par des calcaires fins.

d) Micropaléontologie

L'association rencontrée est caractérisée par la présence de :

Cancellophycus
Eotuberitina reitlingerae M. MAKL.
Archaesphaera
Earlandia vulgaris var. vulgaris R. C. et R.
Earlandia vulgaris var. minor R. C.
Earlandia elegans (R. C. et R.)
Palaeospiroplectammina
Lituotuba
Plectogyra
Pachysphaera dervillei C. et L. n'apparaît qu'au sommet de la série étudiée.

Carrière n° 2

a) Description de l'affleurement

Cette carrière est actuellement exploitée pour la marbrerie. Par suite de l'allure périclinale du synclinal, sur les deux fronts de taille N.60° E et N. 150° E perpendiculaires l'un à l'autre, les couches plongent vers le Nord-Est. Les bancs sont aussi réguliers que dans la carrière précédente ; ils sont formés d'un calcaire noir à grain fin, à odeur fétide à la cassure.

Ils sont stratigraphiquement supérieurs à la série observée dans la première exploitation.

A l'entrée sud de la carrière, le Dévonien (Schistes et Calcaires à Athyris undata) chevauche le Calcaire de Sablé et le Culm paraît supprimé à l'affleurement par faille.

b) Etude pétrographique

25 échantillons ont été prélevés sur une puissance de 10 m (PES 23-PES 49) (fig 29). A l'œil nu, le calcaire est de couleur sombre, à points

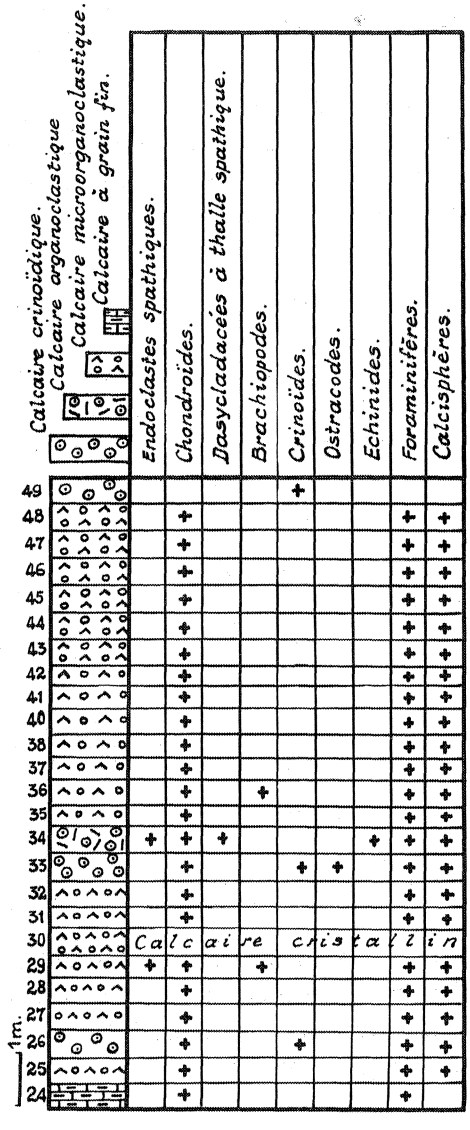


Fig. 29 - Log pétrographique, Port-Etroit : carrière n° 2.

cristallins, (fragments de Crinoïdes), très riche en Polypiers, en particulier en Caninia gigantea MICHELIN. Il s'agit du type de faune qui caractérise la zone quiescente turbide (M. LECOMPTE, 1961; 1963), c'est-à-dire un fond non soumis à une accumulation rapide de sédiment, l'eau pouvant être, néanmoins, chargée de matériaux en suspension, la profondeur maximum ne dépassant pas 50 mètres (J. W. WELLS, 1957).

La sédimentation est essentiellement bioclastique. Dans un fond de calcite spathique (cristaux de 100 à 500μ), on observe :

- de nombreux Foraminifères
- des calcisphères
- des chondroïdes (médian 150μ).

Les sédiments sont donc des calcaires microorganoclastiques ou biospathárénites.

Dans les niveaux plus grossiers, sont associés à cette faune des radioles d'Echinides, des fragments d'Anthracoporellopsis MASL. et Dvinella CHVOROVA (PES 34) : ce sont les calcaires organoclastiques grossiers ou biospathrudites. Les entroques peuvent être prédominants (calcaires crinoïdiques).

Un seul échantillon (PES 24) présente un microfaciès un peu différent : le ciment est constitué par de la calcite microgrenue. Les corpuscules sont de fins débris organoclastiques indéterminables, étant donné leur état de recristallisation (diamètre externe = 100μ). Cet échantillon est semblable en tous points au faciès à grain fin qui sera décrit en détail dans la carrière de Bouessay (Mayenne).

c) Micropaléontologie

L'association micropaléontologique est caractérisée par la présence de :

calcisphères (Archaesphaera) et surtout de Pachysphaera dervillei C. et L.
Eotuberitina
Earlandiidae
Ozawainellidae et Ammodiscidae.

Le tableau XV montre la répartition des genres et espèces rencontrés dans les divers échantillons étudiés, en s'élevant dans la série stratigraphique. Cette association caractérise les strates appartenant à la zone II de l'échelle stratigraphique locale.

	26	28	33	34	35	36	37	38	40	41	44	45	46	47	48
Girvanella cf. wetheredi CHAP.									+						
Algues (Dvinella, Anthracop.)				+								+			
Diplosphaerina				+											
Eotuberitina reitlingerae M. MAKL.		+	+	+											+
Archaesphaera minima SUL.	+	+	+	+		+								+	+
Pachysphaera dervillei C. et L.	V	V	V	V	V	V	V	V		V			V		V
Earlandia vulgaris var. vulgaris R.-C. et R.	V	V	V	V	V	V					V	V		V	
Earlandia vulgaris var. minor R.-C.	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Earlandia elegans (R.-C. et R.)															
Glosmospira cf. serenae MALAK.							V								
Glomospirella				V					V		V			V	
TOURNAYELLIDAE	+	+				+					+				
Palaeospiroplectammina diversa (N. TCHERN.)											t				
Tetrataxis aff. pusillus C. et L.	+														
Plectogyra															
Plectogyra bradyi var. bradyi (MIKH.)								+							
Eostaffella	V	V	V	V	V	V							V	V	

TABLEAU XV - Répartition des Foraminifères et des Algues, Port-Etroit : carrière n° 2.

2°) Juigné (carrière au Sud des Saulneries)

Une carrière abandonnée et transformée en pâture, au point de coordonnées U.T.M. 702,25 et 5304,10 feuille de La Flèche au 1/50 000, entame les formations du flanc nord-est du périsynclinal de Solesmes.

Y. MILON (1928, p. 60) signale "un calcaire typique du faciès Sablé provenant d'une ancienne carrière à l'Est de Solesmes (Sarthe). La roche est formée d'une mosaïque de calcite, assez largement cristallisée et renferme une microfaune abondante, de nombreuses Endothyra ... les éléments principaux de la microfaune sont les Foraminifères et les calcisphères". Cette ancienne carrière doit correspondre à celle décrite ici.

Elle est située à l'Est de Solesmes, mais sur la rive droite de la Sarthe, en Juigné.

a) Description de l'affleurement

Les couches ont une direction N 50° - N 60° E et un pendage de 80° vers le Nord-Ouest. Elles sont massives, les bancs peuvent atteindre une puissance de 1,80 m. 21 échantillons ont été prélevés, de bas en haut de la série, dans la partie occidentale de la carrière (1 à 12), puis de haut en bas, dans la partie orientale (15 à 21), ces derniers prélèvements sont stratigraphiquement inférieurs aux premiers.

b) Etude pétrographique

La sédimentation est bioclastique (fig. 30). Le ciment est constitué de calcite spathique, la taille des cristaux varie de 100 à 250 μ. La dimension des bioclastes et leur nature ne sont pas constantes dans toute la série. Il est possible de distinguer :

- des calcaires organoclastiques grossiers ou biospathrudites. Certains sont essentiellement formés par des Crinoïdes (21, 20, 2. : le nom de calcaires crinoïdiques peut leur être attribué). Les autres sédiments sont constitués par des Bryozoaires, des Ostracodes, mais surtout par des éléments tubulaires à paroi spathique de diamètre 450-480 μ. La recristallisation est telle qu'il est difficile de distinguer les caractères de cette paroi ; néanmoins, sur quelques exemplaires, on peut voir des canaux transversaux, ce qui permet de penser qu'il s'agit, pour certains éléments au moins, de fragments de Dasycladacées, proches d'Anthracoporella PIA, 1920. Des débris d'Anthracoporellopsis MASLOV ont été observés. Les Foraminifères et les calcisphères associés à des chondroïdes (100 μ à 150 μ) sont fréquents.

- des calcaires microorganoclastiques ou biospatharénites, ne contenant principalement que des Foraminifères et des calcisphères et plus rarement des fragments crinoïdiques et des Ostracodes. Les chondroïdes peuvent être concentrés par zones, donnant une teinte sombre à la roche (1', 4, 6, 8, 10', 15, 17, 18) Ce type de calcaire correspond à la description donnée par Y. MILON et citée plus haut.

On observe donc une alternance de biospathrudites et de biospatharénites, sans qu'il soit possible de conclure à des rythmes de sédimentation, mais plutôt à des récurrences de faciès commandées par la force des courants.

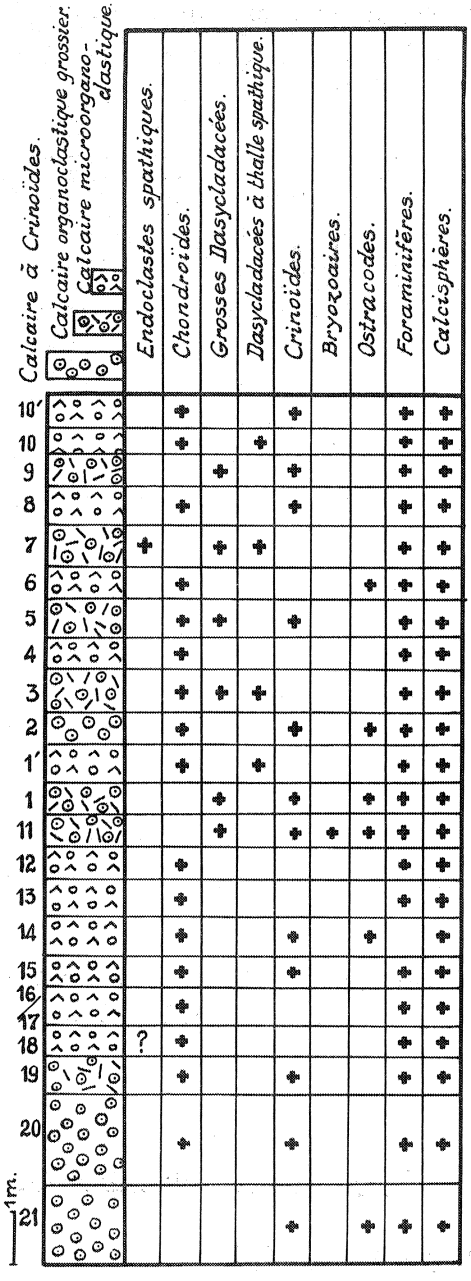


Fig. 30 - Log pétrographique, Juigné : les Saulneries.

c) Micropaléontologie

L'association micropaléontologique est semblable à celle décrite dans la carrière n° 2 de Port-Etroit et appartient au même niveau stratigraphique (zone II). La répartition des genres et espèces est figurée au tableau XVI ci-dessous :

	21	20	19	18	15	14	1	1 bis	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12
Dvinella														+				
Anthracoporella ?							?			+		+		+		+		
Diplosphaerina	+														+			
Eotuberitina reitlingerae M. MAKL.				+	+					+	+		+	+		+		
Archaesphaera minima SUL.				+							+		+	+		+		
Pachysphaera dervillei C. et L.				V				V		V	V	V	V	V	V	V	V	V
Earlandia vulgaris var. vulgaris R.-C. et R.				V				V		V	V	V	V	V	V	V	V	V
Earlandia vulgaris var. minor R.-C.	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+				+	+	+
Earlandia elegans (R.-C. et R.)																+		
Ammodiscus				+								+						
Glomospira	V																	V
Glomospirella spirillinoides G. et G.						V			V		V	V		V	V		V	V
TOURNAYELLIDAE																		
Lituotuba		+									+		+		+			
Palaeospiroplectammina diversa (N. TCHERN.)						t			t									
Tetrataxis	+													+		+		
Plectogyra	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Eostaffella	V		V				V		V		V					V		V
Mediocris				V								V	V	V		V		V

TABLEAU XVI - Répartition des Foraminifères et des Algues (Juigné , Les Saulneries).

3°) Voie ferrée Sablé-Le Mans, aux environs de Sablé

a) Description de l'affleurement

J'ai pu étudier les affleurements le long de la voie ferrée Sablé-Le Mans qui recoupe le synclinal de Solesmes. Le passage fréquent des convois ne m'a pas permis de faire un levé séquentiel, mais j'ai pu néanmoins, grâce à l'obligeance de M. DONNEUR, chef de district à la gare de Sablé, prélever 66 échantillons sur la puissance totale du flanc sud-ouest du

synclinal (150 m environ). Le contact avec les niveaux détritiques du Culm inférieur n'est pas visible, masqué par des éboulis qui cachent, sans doute aussi, le début de la sédimentation calcaire, puisque les bancs sans Pachysphaera dervillei C. et L. de la première carrière de Port-Etroit n'ont pas été retrouvés ici.

Les bancs ont généralement une puissance de 50 à 60 cm, mais peuvent devenir très puissants au sommet. La direction des couches est N. 120° E et le pendage de 40° vers le Nord-Est. La couleur de la roche est noire à la base de la série, plus claire, de couleur grise, vers la partie supérieure. Des cherts s'observent, par place, dans les calcaires. Le synclinal est régulier, ce qui contraste avec l'allure du Dévonien (Grès à Platyorthis monnieri et Schistes et Calcaires à Athyris undata) faillé et affecté de replis.

b) Etude pétrographique

La sédimentation est entièrement bioclastique. Suivant la proportion et la nature des organoclastes et du ciment, il est possible de distinguer :

- des biospathrudites ou calcaires organoclastiques grossiers, à ciment spathique (3, 4, 7, 8, 10, 13, 38, 39, 51, 53, 54). Les bioclastes sont :
  - . des fragments de Crinoïdes de grande taille (1 à 3 mm),
  - . des radioles d'Echinides,
  - . des débris de valves d'Ostracodes,
  - . des éléments tubulaires à paroi spathique, sans aucune structure décelable (Algues ?),
  - . des Foraminifères et des calcisphères,
  - . des chondroïdes.

- des biospatharénites ou calcaires microorganoclastiques. Dans un ciment spathique, les Foraminifères et calcisphères sont prédominants, associés à des chondroïdes (5, 9, 11, 12, 14, 30, 32, 34, 35, 36, 37, 40, 41, 43, 44, 45, 47, 48) (pl. 5, fig. 2). Quelques fragments crinoïdiques sont disséminés dans la masse du sédiment (46, 50). Des quartz fins sont présents à la base de la série étudiée (55, 56, 57, 59, 60, 62, 63, 64).

- des biocryptarénites (15, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 58). Le ciment est cryptogrenu et peu abondant. La roche est constituée par un empilement d'éléments spathiques tubulaires dont certains fragments peuvent être rapportés au g. Anthracoporellopsis MASL. ou au g. Dvinella CHVOR. D'autres correspondent peut-être à des épines de Productidae. Les Foraminifères sont rares. Les Ostracodes abondent. Les entroques sont épars.

c) Analyse séquentielle

Les calcaires organoclastiques grossiers sont disséminés dans la masse, avec néanmoins une plus grande abondance vers le sommet de la série.

Les calcaires microorganoclastiques forment l'essentiel de la base de la formation et correspondent à ceux décrits dans les carrières I et II de Port-Etroit, et dans la carrière des Saulneries.

Quelques bancs de biocryptarénites correspondant à ceux observés dans la carrière I de Port-Etroit, annoncent parmi les calcaires microorganoclastiques la masse des biocryptarénites qui leur font suite.

d) Micropaléontologie

Cette coupe est particulièrement intéressante. Elle permet de noter les stades d'apparition et d'évolution des Foraminifères au cours du Viséen inférieur. Les associations microfauniques différentes permettent de distinguer deux zones (tableau XVII, ci-contre)

- zone a (échantillons 65 à 30), caractérisée par la présence de Pachysphaera dervillei C. et L., d'Ammodiscidae (Glomospira, Glomospirella spirillinoides GR. et G.), des Ozawainellidae (Eostaffella, Mediocris) correspondant à la même zone stratigraphique que celle rencontrée dans les carrières de Port-Etroit et des Saulneries, c'est-à-dire à la zone II de notre échelle stratigraphique.

- zone b (échantillons 29 à 0) correspondant à la zone III de la zonation stratigraphique locale, caractérisée par l'apparition des Archaediscidae (Permodiscus, Propermodiscus, Planoarchaediscus et Archaediscus krestovnikovi RAUS. - CERN.). Cette zone n'est pas exploitée en carrière.

e) Conclusions.

La superposition des zones II et III observées dans cette coupe qui est la seule permettant d'étudier avec précision les strates terminales du synclinal de Solesmes, permet de constater que les zones paléontologiques ont des caractères pétrographiques qui leur sont propres :

- la zone II (zone a de cette coupe) déjà observée dans les carrières décrites précédemment, est composée en majorité de calcaires microorganoclastiques ; un apport détritique persiste au début de la sédimentation calcaire.

UNIVERSITÉ DE RENNES
BIBLIOTHÈQUE
INSTITUT DE GÉOLOGIE

	Zone II																										Zone III															
	65	64	63	62	61	59	58	57	55	54	53	51	50	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	36	35	34	32	30	29	27	26	25	19	13	12	10	9	8	7	5	4	3	1	0
Diplosphaerina								+															+								+											
Eotuberitina reitlingerae M.MAKL.			+										+	+	+	+	+			+		+					+	+			+	+			+			+	+		+
Archaesphaera			+		+	+		+	+		+	+		+		+	+	+			+	+	+	+	+		+	+				+		+	+			+	+		
Pachysphaera dervillei C.et L.		V	?	?	V	V		V	V	V	V	V		V		V	V	V	V		V	V	V	V	V	V	V		V	V		V	V				V			V	V	V	
Earlandia vulgaris var. vulgaris R.-C. et R.	V		V	V	V	V		V	V				V	V		V	V	V		V	V		V	V	V	V	V	V	V				V	V		V	V	V	V			
Earlandia vulgaris (R.-C. et R.) var. minor R.-C.			+	+				+	+				+	+		+	+	+		+	+		+		+	+	+	+	+		+	+	+	+	+		+	+		+			+
Glomospira																			+				+														+	+						+
Glomospirella spirillinoïdes GR.et GL.														+							+	+	+	+	+		+	+						+					+				
Palaeospiroplectammina diversa(N.TCHERN.)																																												
Tetrataxis																									+	+	+	+								+				+				
Archaediscidae																													A	A		A	A		A	A	A	A	A	A		A	A	A
Archaediscus krestovnikovi R.-C.																																			A	A	A		A					
Planoarchaediscus																																A						A	A			A		
Propermodiscus																																				A	A	A	A				A	A
Permodiscus																																	A			A			A				A	
Plectogyra	+		+	+		+	+	+		+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+			+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Eostaffella		V													V	V																	V	V	V	V	V	V		V	V	V	V
Mediocris						V				V											V	V						V			V			V		V	V		V			V	

Tableau XVII Répartition des Foraminifères
synclinal de Solesmes (voie ferrée Sablé - Le Mans)

- la zone III (zone b de cette coupe) se décompose en deux phases successives, à savoir :

1) un dépôt fin, à ciment micritique, avec Algues,
2) des récurrences organoclastiques grossières et fines.

4°) Carrière de Bouessay

a) Localisation et description de l'affleurement

Cette carrière est située en bordure de la R.N. 159, de Laval à Sablé, à 1,350 km au Sud-Ouest du village de Bouessay au point de coordonnées U.T.M. 696,30 et 5304,75, feuille de Château-Gontier. Elle sert actuellement de décharge publique pour la ville de Sablé et sera donc, dans peu de temps, entièrement comblée.

Cette ancienne exploitation entame un calcaire gris-noir bien lité. La direction des couches est N. 140° E et le pendage est de 30° vers le Sud-Ouest. Les bancs sont souvent ravinants. Les surfaces supérieures des bancs présentent des figures de sédimentation comparables à celles observées à Port-Etroit. La puissance des strates varie de 0,40 à 1 m. Le prélèvement des échantillons a été effectué à partir du front de taille directionnel nord-est qui constitue le fond de la carrière. 57 échantillons ont été prélevés sur une puissance totale de 27 m.

L'examen attentif du front de taille révèle que le sédiment se présente sous deux aspects :

A) noir, se divisant en feuillets dans les parties altérées. La matière argileuse se manifeste sous forme de filonnets jaune ocre limitant ces feuillets,

B) gris foncé, à cassure grenue.

Le faciès A se rencontre, soit au sommet de certains bancs à base de faciès B, soit par bancs bien individualisés.

b) Pétrographie (fig. 31)

Ces deux types correspondent à des microfaciès différents. Dans son ensemble, la sédimentation est bioclastique ; mais la différence entre les faciès A et B réside dans la nature des bioclastes et la nature du ciment.

- Le faciès A est constitué par un ciment de petits cristaux de calcite de l'ordre d'une dizaine de microns, dans lequel on observe :

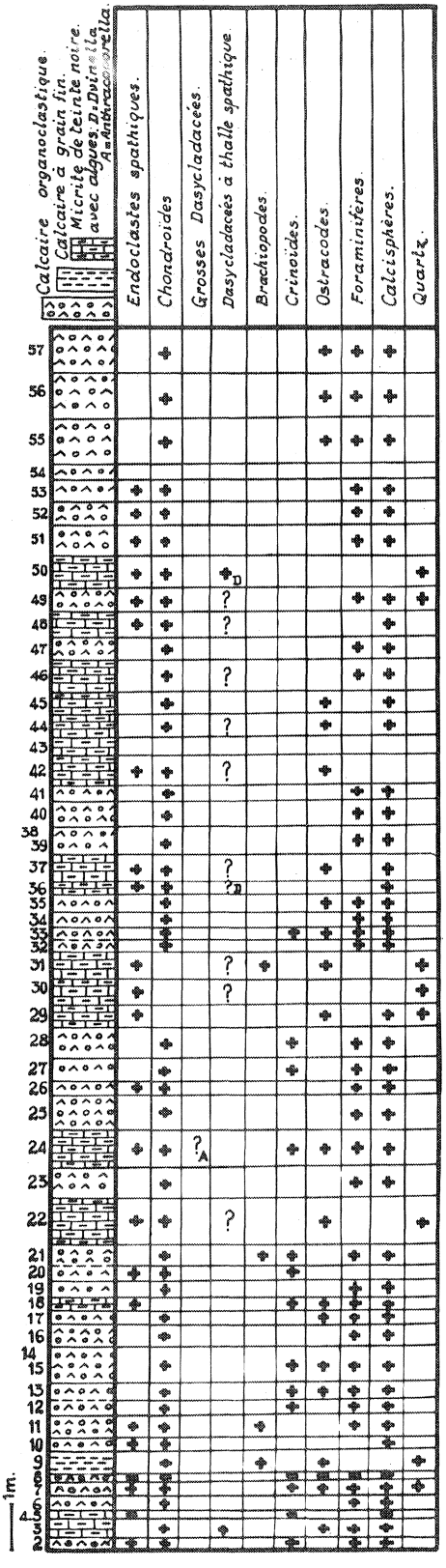


Fig. 31

LOG PETROGRAPHIQUE

Bouessay

. des quartz de très petite taille (50μ à 70μ), à la partie inférieure de la série étudiée,
. des Ostracodes de grande taille dans lesquels les deux couches du test sont nettement visibles, la couche externe étant noire,
. des calcisphères en petit nombre,
. de nombreux débris bioclastiques (50μ à 80μ), courbes, correspondant à des fragments coquilliers qui ne peuvent être identifiés étant donné leur taille,
. des éléments calcaires allongés, circulaires en coupe transversale, creux, de largeur 50μ à 60μ et de longueur variable. Aucune structure ne peut être décelée dans la paroi spathique. Il s'agit vraisemblablement de thalles algaires,
. dans quelques rares niveaux (3, 36, 50), j'ai cru reconnaître des fragments de Dvinella CHVOROVA. (pl. 5, fig. 3).

Ce qui caractérise ce microfaciès, c'est, d'une part, la finesse des bioclastes et leur disposition suivant des plans parallèles aux plans de stratification (ceci est particulièrement visible pour les valves d'Ostracodes), d'autre part, leur forte densité par rapport au liant micritique.

- Le faciès B présente un ciment spathique. Les bioclastes sont dispersés : calcisphères en grand nombre, Ostracodes brisés, Crinoïdes et fragments de Brachiopodes. On observe, associés à ces éléments, de très nombreux chondroïdes. L'assemblage est lâche de telle sorte que le ciment étant spathique, la roche apparaît claire (pl. 5, fig. 4).

L'absence de Foraminifères dans le microfaciès A et leur abondance dans le microfaciès B peut s'expliquer, ainsi que l'indique R. G. BATHURST (in B. MAMET, 1964, p. 77), par des conditions défavorables pour leur multiplication, par exemple la présence de boues calcaires dans le microfaciès A.

Le faciès A (biocryptarénite) s'est déposé en milieu calme : les bioclastes très fins se sont sédimentés les uns sur les autres, sans être nullement dérangés par les courants. Les Ostracodes représentent une partie du bios du fond (W. L. TRESSLER, 1957).

La sédimentation du faciès A paraît avoir été tranquille tandis que dans le faciès B :

. les chondroïdes correspondent au remaniement d'une boue déposée antérieurement et déjà consolidée,

. les Ostracodes sont brisés et ont manifestement été

sportés,

. pour les Crinoïdes comme pour les Ostracodes, il s'agit d'une thanatocoenose, mais leur désarticulation a pu se produire dans un milieu à faible turbulence, par suite de la structure faiblement articulée de leur thèque et les éléments que nous retrouvons ont pu être ainsi faiblement transportés,

. les Foraminifères sont abondants.

Ces diverses observations conduisent à imaginer, pour la genèse des biospatharénites, un milieu assez aéré, soumis à l'action de courants susceptibles d'éliminer les boues. Par contre, certains calcaires (faciès A) dégagent, à la cassure, une odeur d'hydrogène sulfuré. Cette particularité est un caractère de sédiments peu profonds de bassins stagnants ou barrés (R. N. GINSBURG,1957). Il apparaît donc que le facteur le plus important pour expliquer l'allure différente de ces calcaires soit la force relative des courants, variable au cours de la sédimentation (W. R. CRONOBLE et CH. J. MANKIN,1963). Les types pétrographiques observés ici sont comparables à ceux décrits par B. MAMET (1964, p. 56), dans la formation "Marbre noir de Dinant". Le faciès A,différencié à Bouessay,peut être rapproché du premier microfaciès défini par B. MAMET comme "une micrite à grains de 1 à 10 microns de teinte noire très pure (avec souvent moins de 1 % d'argile) et contenant une moyenne de 0,2 % de carbone" ; le faciès B est comparable au second microfaciès de B. MAMET "sparite à grands cristaux de 10-500μ , à teneur en carbone et en insolubles sensiblement égale à celle du calcaire fin".

Des échantillons que j'ai prélevés,en Belgique,sur la route de Salet à la Molignée (affleurement n° 30 étudié par B. MAMET,1964, planche p. 22), dans la monoséquence 2 définie par cet auteur, m'ont paru comparables au microfaciès A des strates supérieures de Bouessay ; l'aspect finement feuilleté de la roche est semblable.

En conclusion, on peut penser qu'à certaines périodes, la circulation en mer ouverte était restreinte et qu'ainsi s'établissait un lithotope barré dans le synclinal de Solesmes comme cela a été observé en Belgique.

c) Micropaléontologie (tableau XVIII)

L'association microfaunique est caractérisée par la présence :

d'Eotuberitina

de calcisphères, en particulier de Pachysphaera dervillei C. et L.

d'Earlandiidae

d'Ozawainellidae et d'Ammodiscidae.

Cette association est la même que celle observée dans les strates de la carrière II de Port-Etroit et dans celles des Saulneries (zone stratigraphique II).

	11	13	16	18	24	26	33	38	49	51	53	54	55	57
Eotuberitina reitlingerae M. MAKL.		+	+				+						+	
Archaesphaera minima SUL.		+		+		+	+		+		+		+	+
Pachysphaera dervillei C. et L.	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Palaeocancellus		+	+		+									
Earlandia elegans (R.-C. et R.)			+							+			+	
Earlandia vulgaris var. vulgaris R.-C. et R.			V						V					
Earlandia vulgaris var. minor R.-C.	+	+	+	+	+	+			+	+	+		+	+
Glomospirella		V												
Glomospirella spirillinoides G. et G.													V	
Plectogyra	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Eostaffella				V	V		V		V	V			V	
Mediocris				V										

TABLEAU XVIII - Répartition des Foraminifères : Bouessay.

B - BANDE AUVERS-LE-HAMON - JUIGNE

- Carrière de Châteauneuf (Juigné) -

1°) Localisation et description

Cette carrière est située sur la rive droite de la Sarthe, à 2,500 km à l'Est de Juigné au point de coordonnées U.T.M. 5304 et 705,50, feuille de La Flèche au 1/50 000. Elle est appelée "carrière de Châteauneuf" par Y. MILON (1928, p. 62) (fig. 32).

Le front de taille Est du fond de la carrière entame une formation massive, oolithique. Ce type de sédiment est représenté jusqu'au point B (fig. 33). Ensuite la roche est litée ; il s'agit d'un calcaire noir riche en Polypiers et Brachiopodes. Dans la 2ème édition de la feuille de La Flèche, ces

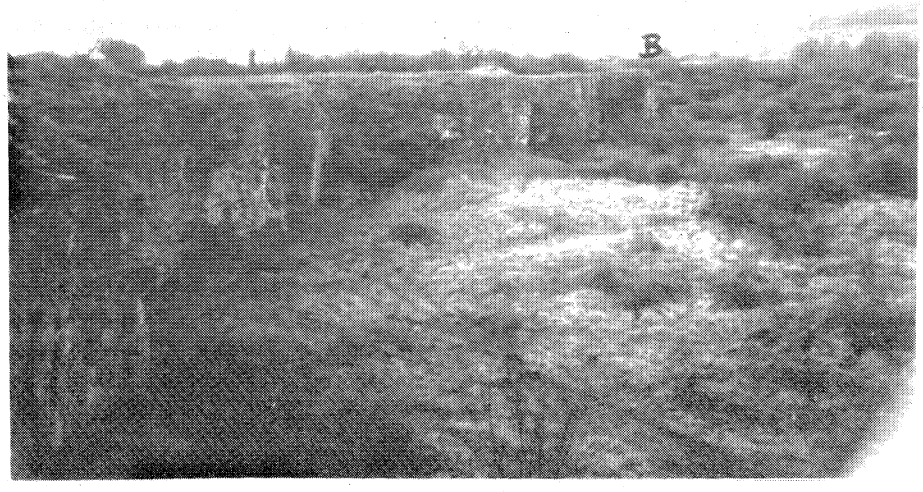


Fig. 32 - Photographie de la carrière de Châteauneuf (Juigné).
(le calcaire stratifié est seul représenté sur ce cliché).

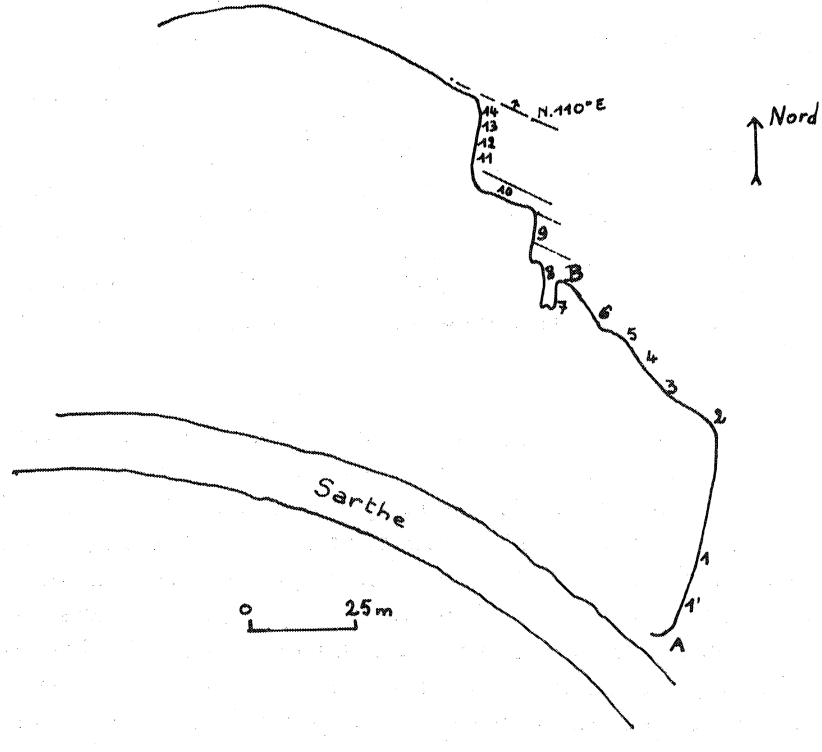


Fig. 33 - Schéma de la carrière de Châteauneuf (Juigné).

calcaires noirs sont considérés comme identiques à ceux de Port-Etroit. La direction des couches est N.110° E ; le pendage de 80° vers le Nord. La série est normale et les bancs à stratification nette sont supérieurs aux niveaux oolithiques massifs. Dans la carrière, ces formations sont visibles sur 65 m de puissance : 37 mètres dans le calcaire oolithique (échantillons 1, 1', 2, 3, 4, 5, 6), 38 mètres dans le calcaire stratifié (échantillons 7 à 22).

2°) Etude pétrographique

a) Le sédiment oolithique est hétérogène, formé, d'une part, d'oolithes, et d'autre part, d'endoclastes très roulés ou pseudoolithes (pl. 6, fig. 2, 3).

Les oolithes ont été définies par J. de LAPPARENT (1923 p.330) comme un "petit corps formé d'écailles sphéroidales de calcite enrobant un grain d'une matière quelconque, petit morceau d'un minéral ou organisme". Cette définition sera reprise par W. H. TWENHOFEL en 1932. En accord avec R. H. RASTALL (1933), j'ai adopté l'orthographe "oolithe" et non "oolite". L. CAYEUX (1935, p. 212) appelle le grain "le noyau ou nucleus" et les couches externes "l'enveloppe caractérisée par une structure concentrique plus ou moins fine... ou couche corticale".

Les endoclastes arrondis sont appelés pseudoolithes suivant la définition donnée par A. CAROZZI (1960, p. 238) "grain calcaire elliptique ou sphérique, généralement cryptocristallin, d'origine organique ou inorganique, indéterminée,sans enveloppes de couches concentriques". Pour cet auteur, ils sont le résultat de l'abrasion d'un sédiment préalablement déposé et ils entrent dans la catégorie des endoclastes.

En fait à Juigné, on constate que, associés aux pseudoolithes conformes à la définition, existent des endoclastes spathiques auréolés de calcite cryptogrenue de telle sorte que la forme finale réalisée est arrondie. Cependant, ces derniers éléments sont le résultat de deux actions contraires : une érosion responsable de leur fragmentation et une précipitation de carbonate de calcium qui commence à régulariser leurs formes ; ce phénomène est "l'accretion process" des auteurs américains (C. MONTY,1963, p. B 102). Ces corpuscules sont très intéressants, car ils ont manifestement été transportés dans le milieu de sédimentation où la précipitation de carbonate de calcium était importante.

Le pourcentage des oolithes varie suivant les échantillons étudiés :

	1	2	3	4	6
Oolithes	13,6	72	74,2	54,2	69,95
Endoclastes	86,4	28	25,8	45,8	30,05

TABLEAU XIX - Pourcentages des oolithes et des endoclastes, Juigné, (Châteauneuf).

L'écorce est variable en épaisseur. Elle est mince dans les échantillons 3 et 1 (1/3 du demi-diamètre), plus épaisse dans les échantillons 2. 4. 5. et 6 (2/3 du demi-diamètre). Les nucleussont cryptogrenus, algaires (Anthracoporellopsis, Dvinella, Koninckopora inflata), spathiques ou constitués par des Foraminifères (Endothyridae, Archaediscidae) ou des radioles d'Echinides.

Les oolithes sont très bien classées (fig. 34).

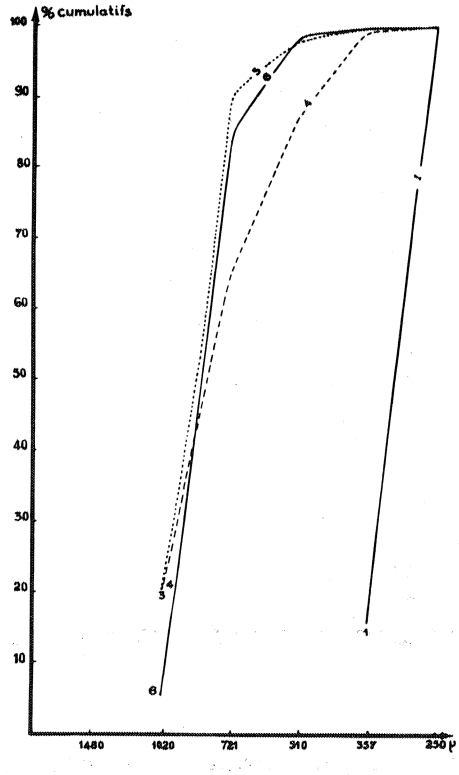


Fig. 34 - Courbes granulométriques des oolithes : Juigné, (Châteauneuf).

	1	3	4	6
Grain moyen en microns	310	880	820	850
Premier centile en microns	370	1 140	1 120	1 060
Indice d'hétérométrie	0,15	0,15	0,25	0,12

TABLEAU XX - Caractéristiques granulométriques des oolithes (calcaire oolithique), Châteauneuf.

La taille des endoclastes associés est légèrement plus élevée (voir tableau XXI) et l'indice d'hétérométrie est égal ou supérieur à celui des oolithes (fig. 35).

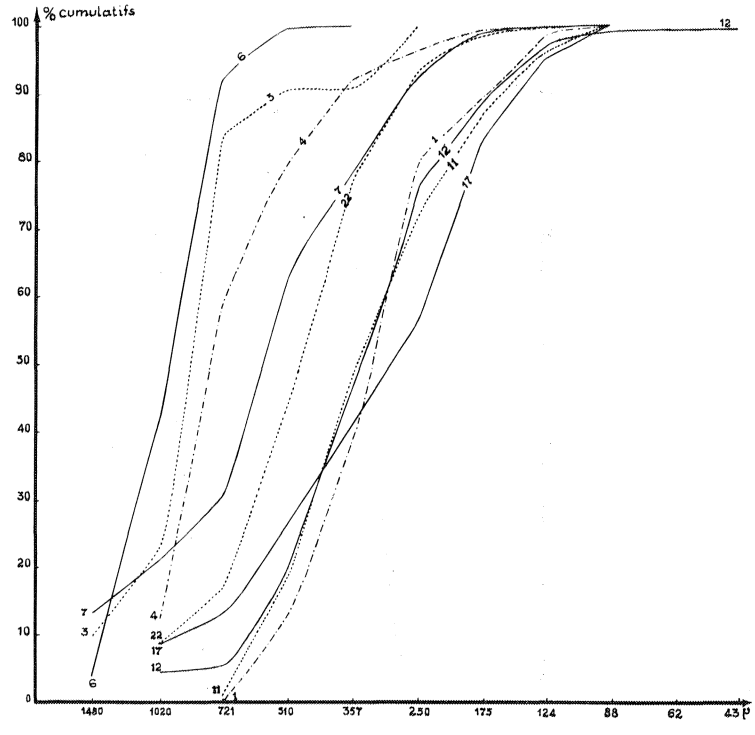


Fig. 35 - Courbes granulométriques des endoclastes ; Juigné, (Châteauneuf).

	1	3	4	6
Grain moyen en microns	320	880	770	970
Premier centile en microns	710	1 730	1 140	1 550
Indice d'hétérométrie	0,30	0,15	0,25	0,20

TABLEAU XXI - Caractéristiques granulométriques des endoclastes (calcaire oolithique), Châteauneuf.

Le diagramme CM a été tracé pour les endoclastes, puisqu'il s'agit de corpuscules clastiques transportés dans le milieu de sédimentation (R. PASSEGA,1963, p. 1498) ; le diagramme obtenu est comparable à celui signalé pour les dépôts de plages (fig. 36).

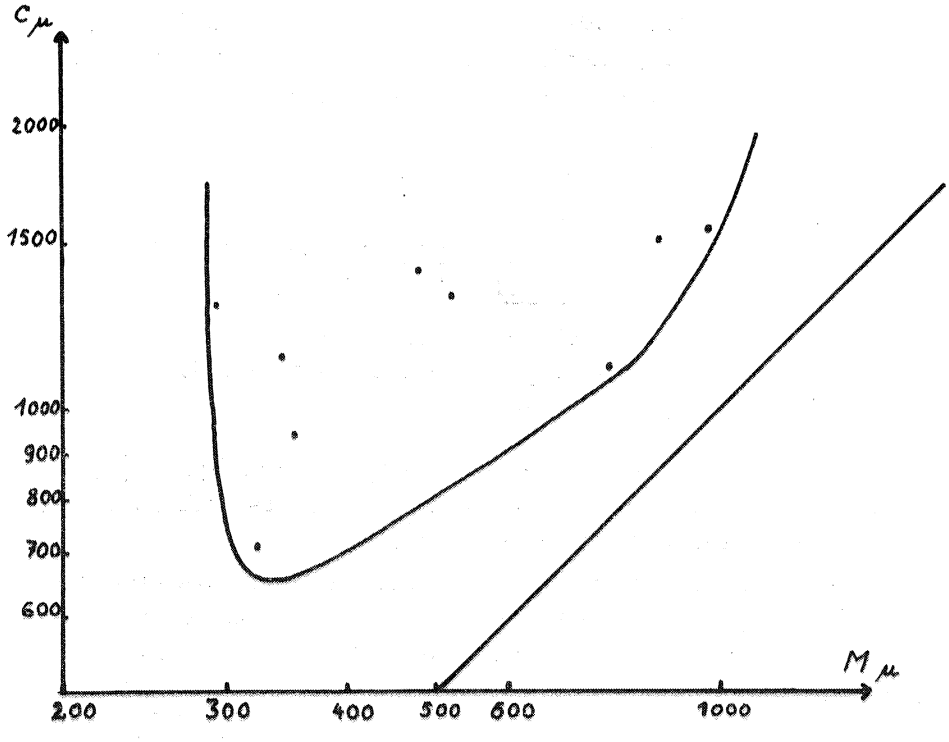


Fig. 36 - Diagramme CM des endoclastes: Juigné, (Châteauneuf).

La composition des niveaux oolithiques étudiés à la carrière de Châteauneuf (Juigné) est comparable à celle des sables oolithiques calcaires de Burg-el-Arab, près d'Alexandrie, étudiés par G. LUCAS (1955 c), G. CASTANY et G. LUCAS (1955). Les nucleus sont, à cet endroit, des Algues ou des Foraminifères. L'enveloppe concentrique est épaisse. Les sables oolithiques sont bien classés. Le milieu de sédimentation correspond à "des milieux agités : brisants côtiers sur une plage très plate (1 m pour 200 m) ou houle fréquente et courants de marée" (id. op. p. 28). Les résultats obtenus à Juigné sont comparables à ceux de Burg-el-Arab et permettent de conclure à une genèse identique ; ils confirment la comparaison des paysages carbonifères avec ceux d'Afrique du Nord, que tentait G. LUCAS (id. op.).

b) Le calcaire noir stratifié est riche en Polypiers : Cyathophyllum murchisoni M. E. et H., Lithostrotion irregulare PHILL. (G. DELEPINE, 1930) et en Brachiopodes : Linoproductus cora (d'ORB, 1942) = Linoproductus corrugato - hemisphaericus (VAUGHAN, 1905), cette forme étant liée au faciès (G. DELEPINE, 1927). Il est le résultat d'une sédimentation endoclastique et bioclastique. Le ciment est spathique.

- Dans les calcaires organoclastiques grossiers (pl. 6, fig. 1), les corpuscules sont les suivants :

. des endoclastes spathiques roulés (11, 12, 13, 14, 15, 22), parfois auréolés de calcite cryptogrenue (12) ou entièrement cryptocristallins,

. des bioclastes :
  Foraminifères
  calcisphères
  Koninckopora inflata (DE KON.)
  Dvinella CHVOROVA
  Anthracoporella PIA
  Anthracoporellopsis MASLOV

. des chondroïdes

- Dans les calcaires microorganoclastiques (7, 8, 9, 10, 17, 18, 19, 20, 21), il n'y a ni endoclastes, ni fragments d'Algues, mais les Foraminifères et les chondroïdes subsistent.

Le classement des endoclastes et des bioclastes des calcaires organoclastiques grossiers est assez bon. Les indices d'hétérométrie sont comparables au deuxième maximum des plages marines (A. CAILLEUX, 1959, t. I, p. 179).

	7	11	12	17	22
Grain moyen en microns	580	350	340	290	475
Premier centile en microns	1 334	940	1 140	1 292	1 410
Indice d'hétérométrie	0,41	0,43	0,47	0,49	0,48

TABLEAU XXII - Caractéristiques granulométriques des endoclastes et bioclastes (calcaire noir stratifié), Châteauneuf.

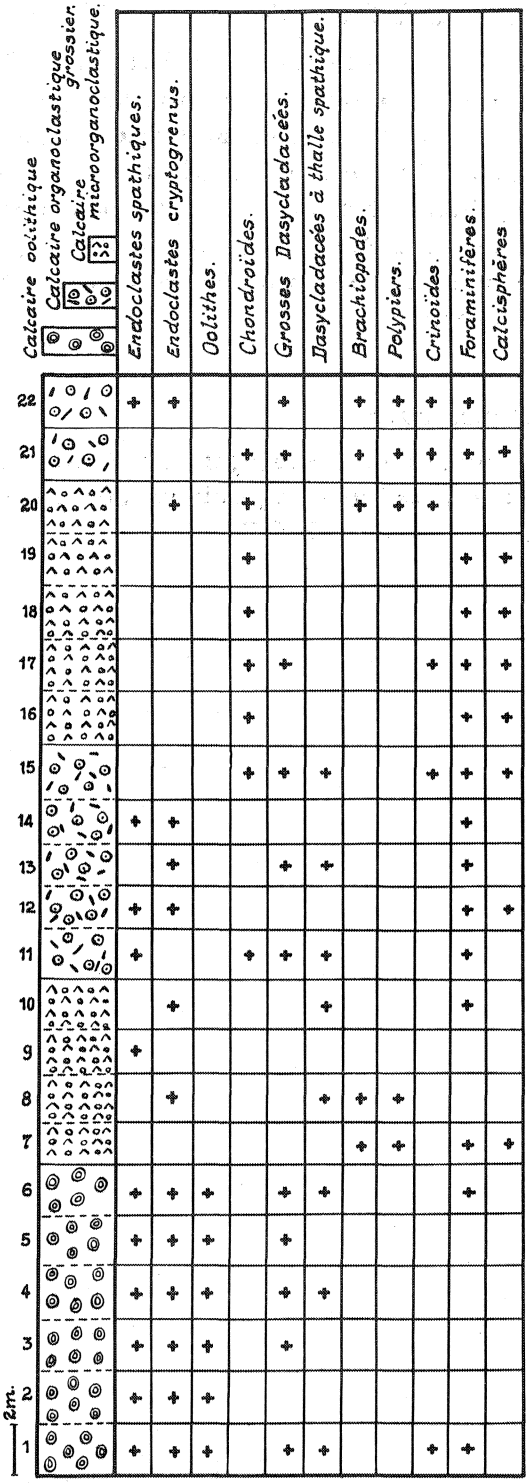


Fig.37

LOG PETROGRAPHIQUE

Juigné

Carrière de Chateauneuf

3°) Analyse séquentielle (fig. 37, p. 111)

La série virtuelle locale est constituée par des calcaires oolithiques (ou oospathrudites), des calcaires organoclastiques grossiers (ou biospathrudites), des calcaires microorganoclastiques (biospatharénites). Le calcaire oolithique cantonné à la base de la séquence, caractérise un milieu agité. Les récurrences de biospathrudites et biospatharénites correspondent à une diminution de la force vive des courants. Il n'est pas possible d'attribuer une valeur générale pour l'ensemble du bassin aux rythmes rudites-arénites décelés à Chateauneuf.

4°) Micropaléontologie

L'association micropaléontologique est particulièrement intéressante. Elle permet de noter l'ordre d'apparition des espèces et d'observer la succession de deux zones (tableau XXIII) :

	Zone IV															Zone V				
	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	21	22
Koninckopora inflata (de KON.)		K	K	K	K		K			K				K		K			K	K
Algues diverses			+						+	+				+						
Eotuberitina reitlingerae M. MAKL.										+										
Archaesphaera minima SUL.																+				
Pachysphaera dervillei C. et L.						V					V		V	V	V	V	V	V	V	
Earlandia vulgaris var. vulgaris R. -C. et R.						V									V					
Earlandia vulgaris var. minor R. -C.						+									+					
Ammodiscus											+									
Glomospira										V	V					V				
Glomospira spirillinoides G. et G.												V				V				
Lituotubella glomospiroides R. -C. var. magna R. -C.						?														
TEXTULARIIDAE						+														
C ribrostomum																C				
Tetrataxis																			+	
ARCHAEDISCIDAE	A			A					A	A	A	A	A	A		A	A		A	A
Propermodiscus miloni nov. sp.	A											A							A	A
Archaediscus	A			A					A	A	A	A		A		A	A		A	A
Archaediscus krestovnikovi R. -C.	A										A	A				A				
Plectogyra	+	+	+	+		+			+		+					+				
Eostaffella	V									V		V			V	V				
Eostaffella parastruvei R. -C.			+																	
Mediocris									V									V		

TABLEAU XXIII - Répartition des Foraminifères et des Algues, Châteauneuf, Juigné.

- à la base, la zone IV caractérisée par la présence de Koninckopora inflata (de KON.) et des Archaediscidae (Propermodiscus miloni nov. sp., Archaediscus krestovnikovi R.-C.

- au sommet, la zone V marquée par l'apparition des Cribrostomum (caractéristiques du V_2 b de Belgique).

- Auvers-le-Hamon (carrière de La Péchardière) -

Cette ancienne petite carrière est située sur la route D 24, entre Sablé et Auvers-le-Hamon, au point de coordonnées U. T. M. 698,5 et 5306,90 (feuille de Loué). Elle est actuellement, en partie, comblée et seuls quelques bancs restent visibles. La direction est N.120° E et le pendage subvertical. De grandes cassures de direction N.55° E et à pendage 20° S E recoupent les strates.

1°) Pétrographie

Les microfaciès rencontrés sont comparables en tous points à ceux signalés à la base de la série du synclinal de Solesmes.

Il est possible de distinguer :

- des calcaires organoclastiques ou biospatharénites (AU 3, AU 4, AU 12, AU 18, AU 19, AU 20, AU 21). Le ciment est spathique. Un peu de quartz très fin est parfois observable. Les éléments bioclastiques sont :

. de grands fragments crinoïdiques
. des débris d'Ostracodes
. des Foraminifères et des calcisphères
. des chondroïdes dispersés.

Dans certains échantillons (AU 6, AU 7.), on peut reconnaître des éléments tubulaires dont certains peuvent être rapportés au genre Anthracoporellopsis M.

- des calcaires à ciment très fin, cryptogrenu, peu abondant. Les corpuscules bioclastiques sont des valves d'Ostracodes, des éléments tubulaires spathiques en grand nombre, disposés parallèlement aux plans de stratification et d'origine indéterminée : Algues à thalle recristallisé ?

2°) Micropaléontologie

L'association rencontrée : (Eotuberitina, Earlandiidae, calcisphères dont Pachysphaera dervillei C. et L., Plectogyra) est identique à

celle observée dans la carrière II de Port-Etroit (synclinal de Solesmes). (zone II de l'échelle stratigraphique locale).

	3	6	8	11	14	18
Diplosphaerina			+			
Eotuberitina reitlingerae M. MAKL.			+			
Archaesphaera		+				
Pachysphaera dervillei C. et L.	V					V
Earlandia vulgaris var. vulgaris R.-C. et R.	V					
Earlandia vulgaris var. minor R.-C.		+	+	+		+
Lituotubella		+				
Palaeospiroplectammina diversa (N. TCHERN.)						t
TEXTULARIIDAE	+		+			
Plectogyra	+	+	+	+	+	+
Eostafella	+					+

TABLEAU XXIV - Micropaléontologie, Auvers-le-Hamon, carrière de La Péchardière.

II - FLANC NORD DU BASSIN DE LAVAL

II_a - REPLIS ORIENTAUX

A - CHEMERE : CARRIERES DE LA FOUCAUDIERE

Les affleurements étudiés sont localisés à une cinquantaine de mètres à l'Est de la ferme de la Basse Foucaudière située sur la route nationale 162 bis, à 600 m au Nord de Chémeré (Mayenne), au point de coordonnées U.T.M. 691,10 et 5318,10, feuille de Meslay au 1/50 000. Il s'agit de deux petites carrières actuellement abandonnées, envahies par la végétation et utilisées comme pâtures naturelles (fig. 38). La plus accessible est la plus orientale que j'ai appelée La Foucaudière I ; l'autre ne présente plus qu'un affleurement de quelques mètres (La Foucaudière II), mais très intéressant, car il est situé stratigraphiquement au-dessus des couches de La Foucaudière I.

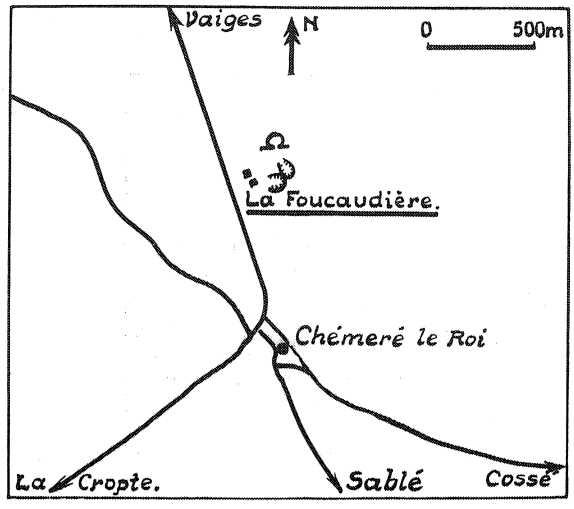


Fig. 38 - Situation des carrières de La Foucaudière (Chémeré-le-Roi).

- La Foucaudière I -

1°) Description

Le front de taille de direction N.90° E recoupe les assises à direction N.150° E sur une vingtaine de mètres. Les bancs sont parfois ravinants les uns sur les autres et ainsi n'ont pas une puissance constante. La valeur moyenne du pendage est de 35° vers le Sud-Ouest. A l'œil nu, le calcaire apparaît homogène, de couleur bleu foncé. Il contient des Brachiopodes et des Polypiers.

2°) Pétrographie (fig. 39)

L'ensemble des calcaires affleurant dans cette carrière correspond à un dépôt bioclastique. Néanmoins, ils se différencient en trois types, par leur granulométrie, la nature et l'abondance des éléments organoclastiques.

- les calcaires organoclastiques grossiers se classent dans la catégorie des rudites (médian voisin de 2 mm) ; ils renferment de très nombreux débris algaires (grandes Dasycladacées : Koninckopora inflata (de KON.), des Solénoporacées), des radioles d'Echinides, des fragments de tests de Brachiopodes, des grands Foraminifères (pl. 7, fig. 1).

- les calcaires microorganoclastiques se différencient des

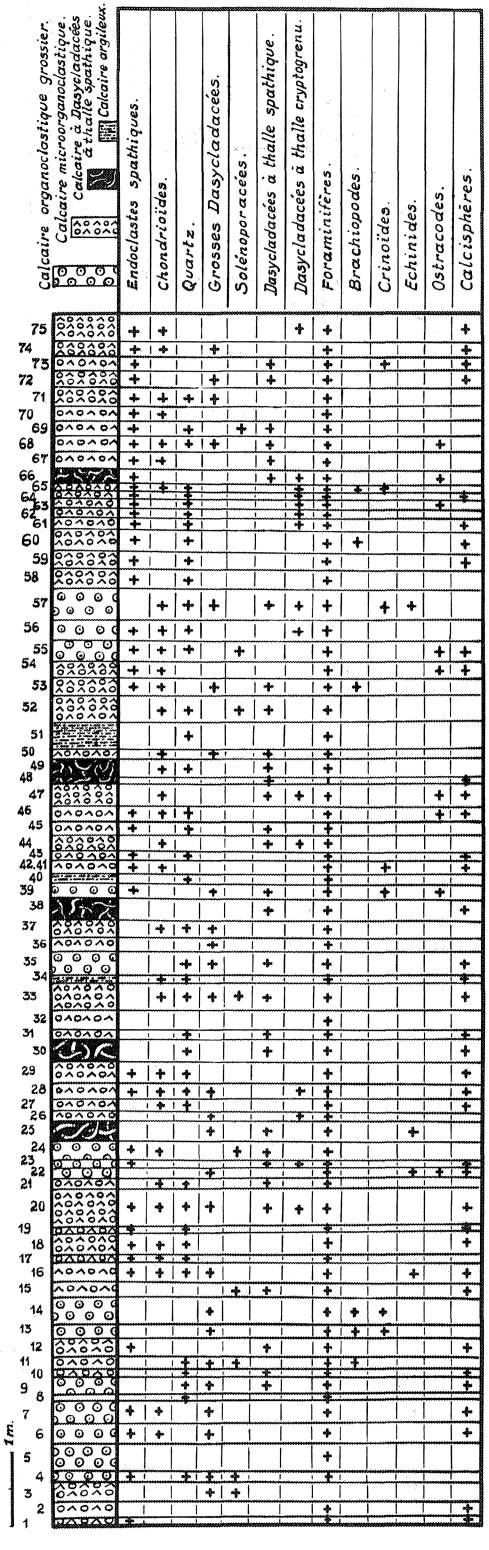


Fig. 39
LOG PETROGRAPHIQUE
Chémeré-le-Roi
carrière I de la Foucaudière

précédents par la présence de chondroïdes (100μ -150μ), de quartz (50μ - 100μ). Mais on retrouve les fragments de Dasycladacées à test calcaire spathique (diamètre extérieur des tubes (240μ), les débris de Solénoporacées. Les Foraminifères sont des Earlandiidae et des Archaediscidae. Les calcisphères sont abondantes (pl. 6, fig. 4).

- les calcaires algaires remaniés sont constitués uniquement de Dasycladacées à test spathique. Les tubes, dont le diamètre externe est égal à 120-140μ, sont accolés les uns aux autres, mais sans alignement préférentiel ; le ciment de calcite finement grenu (20μ -25μ) est peu abondant. Les calcisphères et les Foraminifères : Plectogyres, Archaediscidae sont présents (pl. 7, fig. 3 et 4).

3°) Analyse séquentielle (fig. 39)

Si on prend les rudites bioclastiques comme base de séquence, on dénombre, sur 16 m de puissance, six bases organoclastiques grossières. Les niveaux suivants sont, soit microorganoclastiques, soit algaires remaniés, sans qu'on puisse établir entre ces derniers une rythmicité de dépôt. Etant donné l'allure plus ou moins lenticulaire de la sédimentation, il n'est pas possible de donner à ces séquences une valeur générale pour tout le bassin.

4°) Micropaléontologie (tableau XXV, p. 118)

L'association micropaléontologique est marquée par la présence :

- dès la base,
  - de Koninckopora inflata (de KONINCK)
  - d'Archaediscus krestovnikovi R. -C.
  - de Propermodiscus
  - de Permodiscus.

Ce groupement d'espèces caractérise la zone IV de l'échelle stratigraphique locale.

- au sommet de la série apparaissent Archaediscus convexus var. convexus GR. et LEB., et Plectogyra omphalota var. minima R. -C. et R. Ces deux espèces se situent dans la zone V de l'échelle stratigraphique locale.

	Zone IV														Zone V				
	1	2	6	9	12	19	21	23	25	28	29	30	33	46	47	55	57	65	73
Koninckopora inflata (de KON.)			K	K					K				K				K		
Algues diverses									+				+			+			
Eotuberitina reitlingerae M. MAKL.		+												+	+	+			
Archaesphaera minima SUL.				+							+			+	+			+	
Pachysphaera dervillei C. et L.	V	V	V	V						V		V	V		V	V	V	V	V
Earlandia vulgaris var. vulgaris R.-C. et R.	V	V	V	V		V	V	V					V	V	V	V	V	V	V
Earlandia vulgaris var. minor R.-C.	+			+	+	+			+			+	+		+	+	+	+	
TOURNAYELLIDAE																	+	+	
cf Forschiella prisca MIKH.															C	C			
Lituotubella glomospiroides R.-C. var. magna R.-C.		+																	
Lituotubella														+					
TEXTULARIIDAE																+			
Palaeospiroplectammina diversa (N. TCHERN.)					t														
Tetrataxis													+						
ARCHAEDISCIDAE	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Archaediscus	A	A	A	A	A	A	A	A	A		A	A	A	A	A	A	A	A	A
Archaediscus krestovnikovi R.-C.	A	A	A					A	A				A	A	A		A		
Archaediscus karreri BRADY																A		A	
Archaediscus convexus var. convexus GR. et LEB.		?			?												C		
Propermodiscus				A										A	A	A		A	
Permodiscus				A	A												A		
Permodiscus rotundus N. CERN. var. elongatus C. et L.																	A		
Plectogyra	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Plectogyra apposita (GAN.)																+			
Plectogyra omphalota var. minima R.-C. et R.																C			
Plectogyra agathis C. et L.																			+
Eostaffella					V		V								V		V		
Mediocris				V									V						
Mediocris breviscula (GAN.)				V															

Tableau XXV Répartition des Foraminifères et Algues

Chémeré, la Foucaudière I

- La Foucaudière II -

1°) Description

Une stratification en bancs de trente à quarante centimètres de puissance est visible à l'extrémité orientale de l'affleurement, c'est-à-dire dans les strates inférieures. Puis la roche devient massive et quelques plans de stratification sont seuls visibles. La direction des couches est N. 130° E et le pendage de 50° vers le Sud-Ouest. Le sédiment apparaît hétérogène, en partie oolithique.

2°) Analyse pétrographique et granulométrique

La sédimentation est mixte : oolithique et bioclastique. (pl. 7, fig. 4 ; pl. 8, fig. 1 et 2).

- les oolithes

Le grain moyen des oolithes, dans les différents niveaux étudiés (F 77 à F 94), varie de 660 μ à 510 μ. Les courbes cumulatives permettent de mettre en évidence l'excellent classement des oolithes (indice d'hétérométrie = 0,20 à 0,30), valeur inférieure à celui des corpuscules bioclastiques associés (indice d'hétérométrie 0,47) (fig. 40).

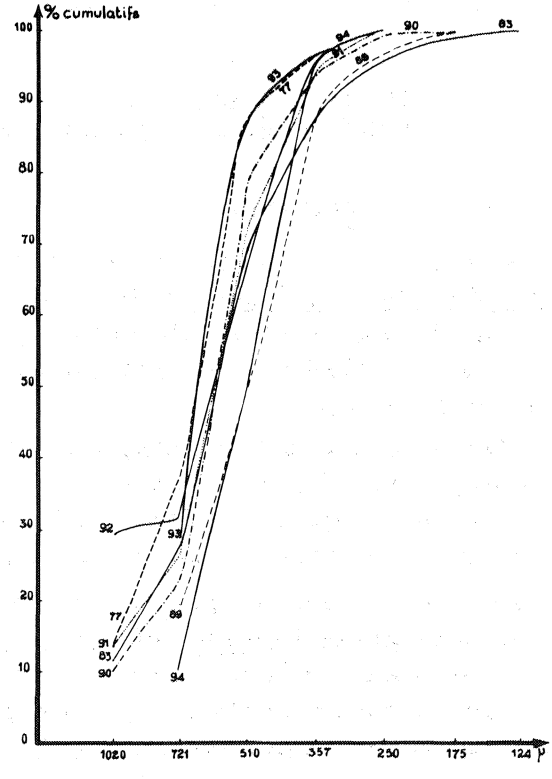


Fig. 40 - Courbes granulométriques des oolithes (Chémeré, La Foucaudière II).

Cela signifie que l'agitation du milieu est plus faible que la clasticité C des particules amenées par les courants ; ainsi les grains plus grands que ceux susceptibles d'être mis en mouvement par l'agitation du milieu, constituent des pseudoolithes; les autres, sujets à l'agitation, forment des oolithes de taille sensiblement égale, puisqu'au-delà d'une certaine dimension, ils ne seront plus affectés par le processus d'oolithisation (A. CAROZZI, 1960, p. 243). Le nucleus des oolithes est cryptogrenu, spathique ou organique (Foraminifère). L'enveloppe à structure concentrique et parfois radiaire varie en épaisseur suivant l'échantillon considéré, de 1/6 à 1/2 de la dimension du noyau. Peu d'oolithes sont impressionnées. Mêlés à ces oolithes simples, on rencontre des corpuscules complexes formés soit de plusieurs oolithes réunies entre elles par une mince enveloppe de calcite cryptocristalline, soit d'oolithes agglutinées avec des endoclastes (fragments de Koninckopora inflata (de KONINCK). Ces corpuscules correspondent à la définition des "lumps" ou bothrolithes.

	Echantillons								
	94	93	92	91	90	89	85	83	77
Oolithes simples	29	31,3	20	13,2	29,75	30	18,9	24,8	19,2
Endoclastes	71	68,7	80	86,8	70,25	70	81,1	75,2	80,8

TABLEAU XXVI - Pourcentages des oolithes et des endoclastes. (Chémeré, La Foucaudière II).

- les bioclastes et endoclastes

Ils sont formés essentiellement par des phytoclastes (Chlorophyceae, Dasycladaceae : K. inflata entre autres. Leur forme est quelconque. Très souvent, la masse du thalle est cryptogrenue et seules quelques sections de tubes sont visibles en certains points, ce qui ne permet pas une détermination générique.

Des endoclastes à contours arrondis, ou pseudoolithes, sont associés à ces fragments algaires. Il sont, soit en calcite cryptogrenue, soit de nature bothrolithique, ou oolithique. Oolithes et bothrolithes sont sectionnés, ce qui prouve leur nature endoclastique (éch. 90).

Les autres bioclastes sont des fragments de Crinoïdes, des radioles d'Echinides type morphologique Echinus cf. Strongylocentrotus, des Foraminifères. Ils peuvent être entourés par de la calcite cryptocristalline qui ennoie les contours, mais qui ne présente pas de structure oolithique. On trouve aussi des grains de quartz et des débris spathiques.

La valeur du grain moyen des éléments clastiques est plus élevée, tandis que le classement est moins parfait (indice d'hétérométrie 0,40 à 0,55 - tableau XXVII) que pour les oolithes (fig. 41).

	Echantillons								
	94	93	92	91	90	89	85	83	77
Grain moyen en microns	790	670	950	760	770	750	800	740	820
Clasticité en microns	1 777	1 540	3 318	1 848	2 370	1 588	2 133	2 251	1 800
Indice d'hétérométrie	0,60	0,45	0,48	0,40	0,45	0,47	0,53	0,52	0,41

TABLEAU XXVII - Caractéristiques granulométriques des endoclastes (Chémeré, La Foucaudière II).

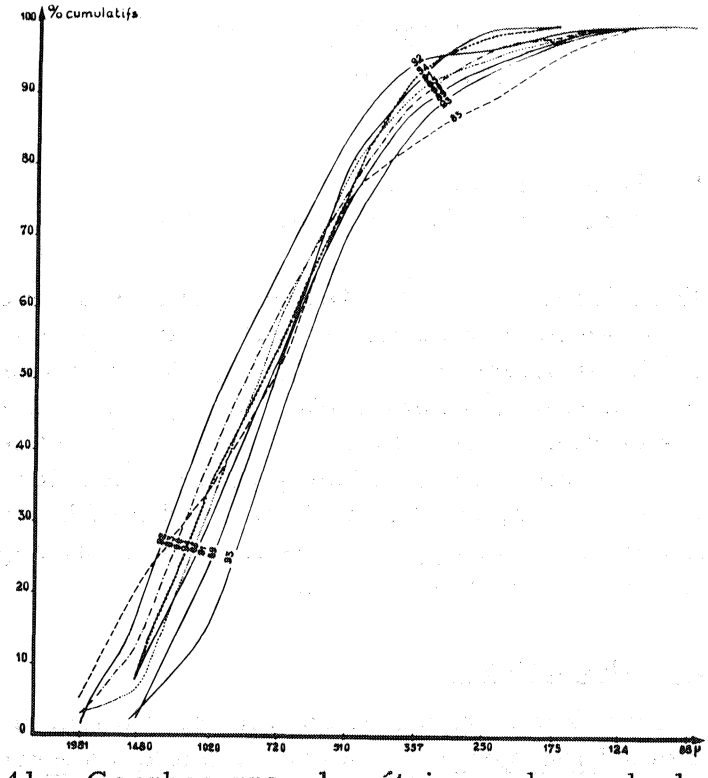


Fig. 41 - Courbes granulométriques des endoclastes (Chémeré, La Foucaudière II).

Sur le diagramme de PASSEGA (fig. 42), les bioclastes et endoclastes se situent dans un diagramme de courant tractif, ils sont donc amenés dans le milieu de sédimentation par des courants.

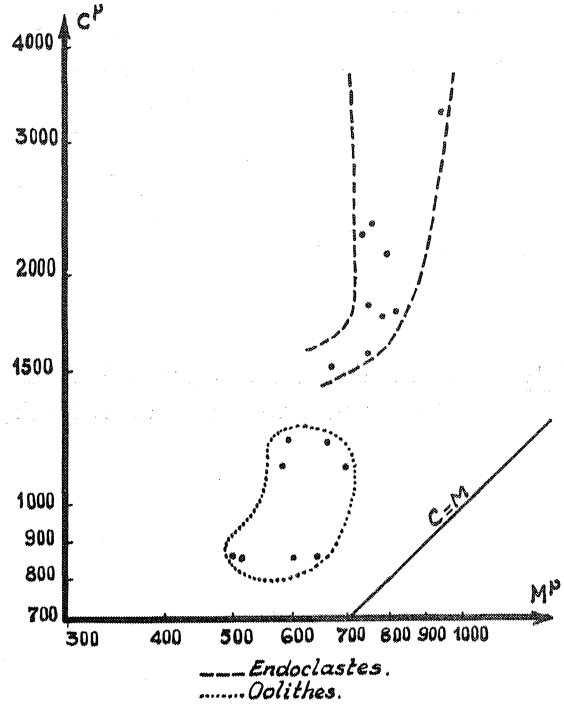


Fig. 42 - Diagrammes CM
(Chémeré, La Foucaudière II).

Pour les oolithes, on peut noter que, si la valeur du grain moyen varie légèrement, la valeur du premier centile distingue les échantillons 94, 93, 89, 85 des échantillons 92, 91, 90, 83, 77. Dans les premiers, les valeurs du grain moyen et du premier centile sont proches l'une de l'autre tandis que, pour les derniers, les valeurs du premier centile sont nettement plus élevées. On peut émettre l'hypothèse que, dans ces derniers échantillons, il y a eu transport, responsable de l'apport d'oolithes plus grandes que celles qui normalement se développent dans le milieu envisagé et qui sont celles rencontrées dans les autres niveaux.

3°) Micropaléontologie

Les Foraminifères, rares et souvent en nucleus dans les oolithes, sont généralement des Plectogyra. Cependant, quelques Archaediscidae ont été rencontrés dans les échantillons 80, 81, 83 et 90. Il s'agit d'Archaediscus convexus GR. et LEB. (80, 81, 83) et d'Archaediscus à nodosités

comparables à ceux trouvés à Louverné (Les Aumeunes) (zone V).

B - EPINEUX : CARRIERE DE L'EPINOYAU

1°) Localisation et description de l'affleurement

La carrière de L'Epinoyau est située à 1 km au Sud d'Epineux-le-Seguin, en bordure de la route conduisant à Auvers-le-Hamon au point de coordonnées U.T.M. 697,30 et 5312,75 feuille de Loué (fig. 43). Dans cette excavation transformée actuellement en herbage, les anciens fronts de taille n'ont que de 1 à 2 mètres de hauteur et les prélèvements d'échantillons ont été effectués le long du front de taille de direction N.20° E. Les bancs sont massifs, subverticaux, diaclasés ; néanmoins, des mesures de direction ont pu être effectués sur certains plans de stratification, la direction est de N.120° E et le pendage de 70° vers le Sud-Ouest.

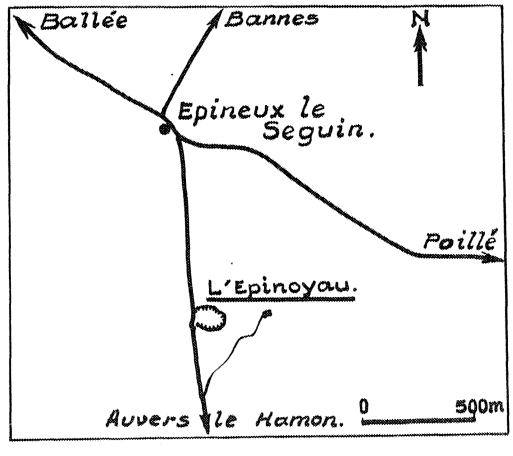


Fig. 43 - Situation de la carrière de L'Epinoyau (Epineux-le-Seguin).

Deux faciès peuvent être distingués, à l'œil nu :

- à la base de la coupe, la roche est crinoïdique ; des fragments de tiges de Crinoïdes de plusieurs centimètres sont visibles. Les bancs ont une puissance de 0,80 à 1 m. Le sommet des couches a un grain nettement plus fin.

- au sommet, la roche est hétérogène et apparaît pseudoolithique. Elle est massive et seules des cassures de direction N.30° E affectent le sédiment. Dans le commentaire relatif à la figuration d'une plaque mince d'un

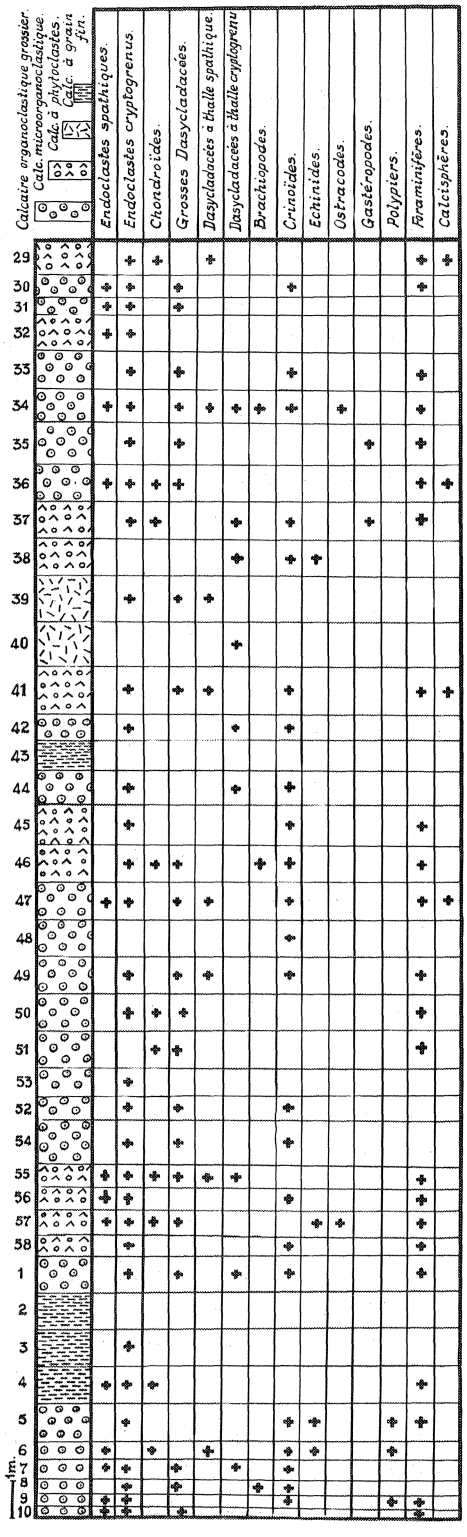


Fig. 44
LOG PETROGRAPHIQUE
Epineux le Seguin
Carriére de l'Epinoyau

échantillon de cette carrière, Y. MILON (1928, p. 61) fait remarquer l'aspect pseudoolithique du calcaire et note l'abondance des Foraminifères de type Endothyridae et des fragments de Crinoïdes et de radioles d'Echinides.

2°) Analyse pétrographique (fig. 44).

Il s'agit à la base, dans l'ensemble, de calcaires bioclastiques (VE 10, VE 1 ; NE 58, NE 51) se classant dans l'ordre des rudites. Les bioclastes sont des Foraminifères roulés (Endothyridae ou Textulariidae), des débris crinoïdiques en plus ou moins grand nombre suivant les échantillons, des radioles d'Echinides, des fragments algaires (Anthracoporella PIA, Dvinella CHVOROVA, Koninckopora inflata (de KONINCK), des Ostracodes. Ils sont associés à des endoclastes spathiques et cryptogrenus : ces derniers pourraient correspondre à des fragments de thalle algaire, car certains présentent des sections de tubes spathiques. Des éléments cryptogrenus de petite taille (150-200 μ) appartiennent au groupe des chondroïdes.

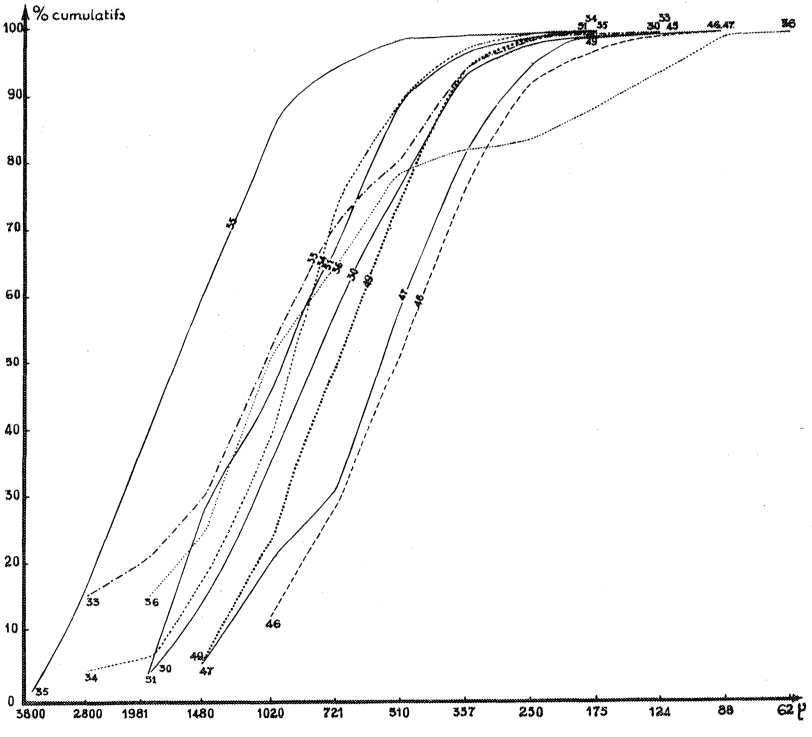


Fig. 45 - Courbes granulométriques, L'Epinoyau (Epineux-le-Seguin).

Plus haut, à partir de l'échantillon NE 49, les éléments, bien que restant de même nature, sont fortement arrondis. Les corpuscules cryptogrenus sont fusiformes. Les Foraminifères sont brisés et roulés. Le fait le plus important est la disposition des éléments parallèlement à la stratification. Par zones, la roche est constituée de grands endoclastes bothrolithiques (quelques millimètres de longueur) présentant des sections de tubes spathiques (pisolithes algaires ?) (NE 40, NE 38, NE 37). Puis, les éléments redeviennent roulés. Certains sont cependant bordés de calcite cryptocristalline. On note l'apparition de quelques oolithes en très mauvais état. Un deuxième lot de corpuscules est constitué par des calcisphères et de nombreux chondroïdes (NE 36) (cf. courbe granulométrique, fig. 45 - p. 125).

Vers le sommet de la coupe, la sédimentation redevient bioclastique et endoclastique ruditique. Les débris algaires sont prédominants (K. inflata, Dvinella, Anthracoporella). Les endoclastes sont bothrolithiques à dominance algaire. Certains niveaux sont chargés en chondroïdes. Les Textulariidae sont abondants (pl. 8, fig. 3 et 4 ; pl. 9, fig. 1).

3°) Etude granulométrique

L'indice d'hétérométrie a une valeur de rang moyen de 0,50.

Le diagramme de PASSEGA tracé pour ces endoclastes et bioclastes indique un dépôt de courant tractif (fig. 46).

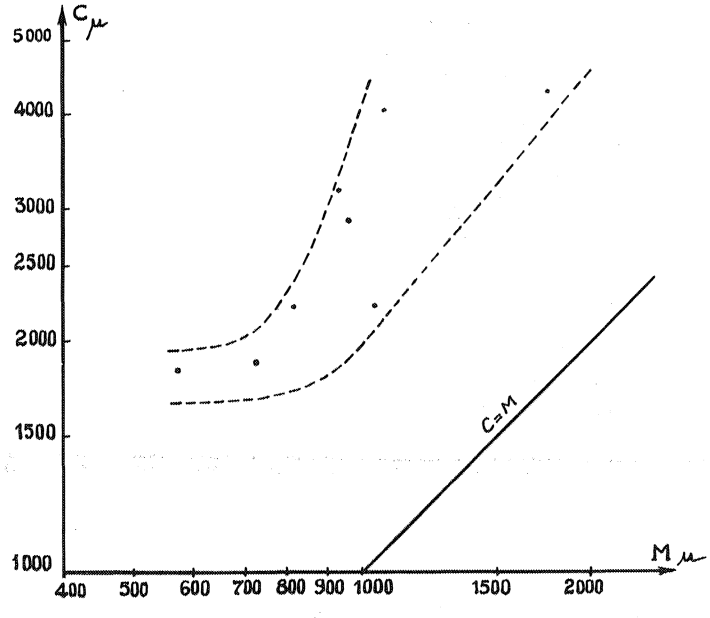


Fig. 46 - Diagramme CM
L'Epinoyau (Epineux-le-Seguin).

Echantillons	Grain moyen en microns	Premier centile en microns
51	950	2 914
49	720	1 880
47	570	1 840
36	1 030	2 231
35	1 740	4 324
34	920	3 174
33	1 060	4 089
30	810	2 208

TABLEAU XXVIII - Caractéristiques granulométriques, L'Epinoyau (Epineux-le-Seguin).

4°) Analyse séquentielle (fig. 44, p. 124)

Les lithotopes reconnus sont des calcaires bioclastiques à prédominance algaire. Dans l'ensemble, la sédimentation est très grossière, le matériel très roulé. L'orientation préférentielle des corpuscules montre l'importance des courants et les sucessions rudites-arénites sont des récurrences de faciès, fonction des apports par les courants et ne peuvent avoir de valeur séquentielle. L'abondance des Algues, et particulièrement des Dasycladaceae, indique une très faible profondeur (10-15 mètres).

5°) Analyse micropaléontologique

Les Algues sont abondantes et appartiennent aux genres Anthracoporella PIA, Dvinella CHVOROVA et Koninckopora inflata (de KONINCK).

Les Foraminifères sont Eotuberitina, des Earlandiidae, Textulariidae, Ozawainellidae, Endothyridae. Un seul Archaediscidae a été

observé dans l'échantillon NE 37.

	Zone III						Zone IV				
	4 VE	58 NE	55 NE	54 NE	46 NE	37 NE	36 NE	34 NE	33 NE	30 NE	29 NE
Koninckopora inflata (de KON.)			?		?		K	K	K	K	
Algues diverses				+	+	+	+	+			
Eotuberitina reitlingerae M. MAKL.							+	+			
Archaesphaera								+			
Pachysphaera dervillei C. et L.								V			
Earlandia vulgaris var. vulgaris R.-C. et R.		+			+						
Lituotubella								+			
TEXTULARIIDAE	+							+			+
Palaeospiroplectammina	t										t
ARCHAEDISCIDAE						A					
Plectogyra		+	+	+	+	+		+	+	+	
Plectogyra agathis C. et L.			+								
Plectogyres densiseptales									+		
Eostaffella		V	V			V	V	V			

TABLEAU XXIX - Micropaléontologie, L'Epinoyau (Epineux-le-Seguin).

C - COSSÉ

1°) Localisation et description de l'affleurement

La carrière, actuellement abandonnée et transformée en verger, est située à l'Est du bourg de Cossé, sur la route de Cossé à Avessé au point de coordonnées U.T.M. 699, 30 et 5315,80, feuille de Loué (fig. 47).

La direction des couches est N.110° E ; le front de taille nord de la carrière entame les couches suivant leur direction, le pendage des couches est faible : 30° vers le Nord-Est. Les bancs ont, à cet endroit, une puissance de 60 à 70 cm et sont ravinants les uns par rapport aux autres (échantillons C 9 à C 17). Sur le front de taille de direction N.40° E, en se dirigeant vers le Sud et en descendant dans la série, on observe un

calcaire, noir, massif, affecté de cassures simulant de faux pendages (C 18 à C 37). Les Polypiers sont abondants dans certains bancs (C 19).

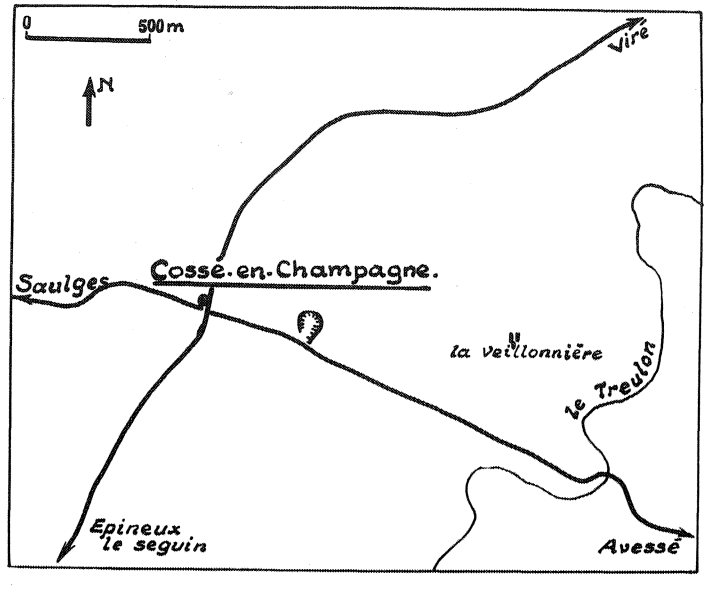


Fig. 47 - Situation de la carrière de Cossé-en-Champagne.

2°) Etude pétrographique (fig. 48)

a)- La base de la série observée (C 31 à C 37) est constituée par un calcaire endoclastique et oolithique, à ciment spathique largement cristallisé.

- Les oolithes sont présentes dans les niveaux C 31 (28,2 %), C 32 (7 %) et C 36 (17 %). Les nucleus sont

. des fragments spathiques dont certains peuvent être identifiables, comme des débris de Dvinella CHVOROVA (C 31, 32, 35, 36),

. des Endothyridae (C 36)

. des éléments cryptogrenus (C 31, 36).

La dimension et la forme des oolithes est fonction de celle du nucleus, l'enveloppe ayant une épaisseur égale au rayon du nucleus. Les oolithes sont très bien classées (l'indice d'hétéromètrie est égal à 0,21 ; cf. courbes granulométriques : fig. 49).

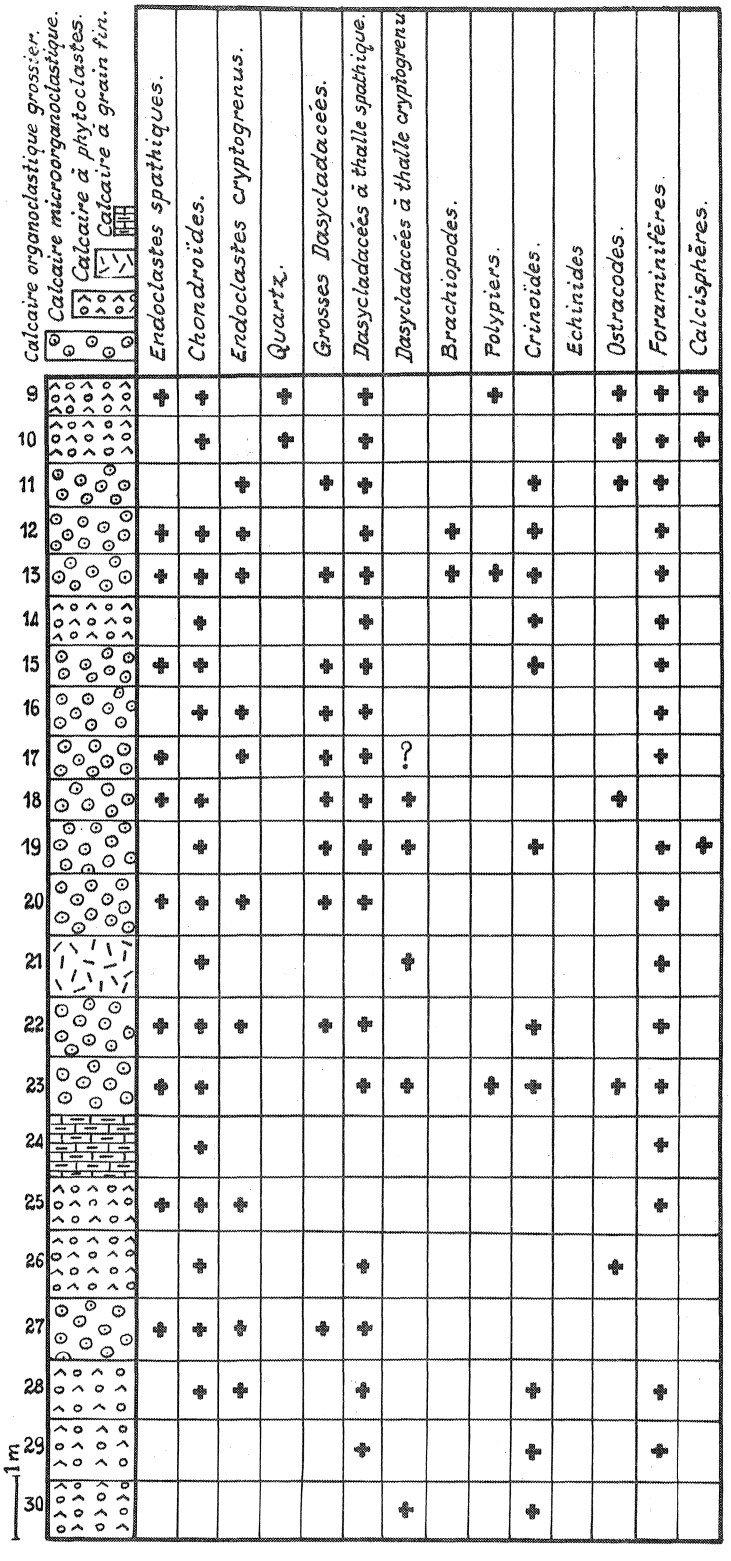


Fig. 48

LOG PETROGRAPHIQUE

Cossé

- Les endoclastes sont constitués par les mêmes éléments que les noyaux des oolithes (Dvinella en prédominance). Ils sont auréolés de calcite cryptocristalline de telle sorte qu'ils présentent, soit une forme de fuseau, soit un contour épousant le fragment spathique sur une face et montrant une queue de calcite sur l'autre face. Tout se montre comme si une précipitation de carbonate de calcium s'était faite à l'abri de cet élément endoclastique, là, où le courant s'annule. La forme de l'auréole matérialise en quelque sorte le trajet des courants (pl. 9, fig. 2).

- Des corpuscules cryptogrenus sans aucune organisation décelable ou chondrolithes sont associés à ces éléments.

- Quelques Foraminifères sans auréole de calcite existent dans l'échantillon C 36.

Le classement des endoclastes, bien que moins élevé que celui des oolithes est, néanmoins, très bon (C 31 : Hé = 0,25 ; C 32 : Hé = 0,37; C 36 : Hé = 0,27). Les valeurs du grain moyen des endoclastes et des oolithes sont très voisines (C 31 : ool. = 420μ , end. = 410μ ; C 36 : ool. = 337μ , end. = 385 μ). Par contre, la valeur du un pourcentile est toujours plus élevée pour les endoclastes que pour les oolithes (C 31 : ool. = 610μ , end. = 782μ ; C 36 : ool. = 425μ , end. = 592 μ). Tous les corpuscules (oolithes et endoclastes) sont alignés parallèlement, ce qui est le résultat de l'action des courants violents qui devaient régner dans le milieu de sédimentation.

b)- La partie supérieure de la carrière entame une série stratifiée (C 9 à C 30). Il s'agit de calcaires organoclastiques, grossiers à certains niveaux (les éléments atteignent la dimension de 1500μ à 2000μ). (fig. 49).

Les bioclastes sont

- . des fragments de Crinoïdes
- . des Ostracodes
- . des débris de tests de Brachiopodes ou Polypiers
- . des éléments algaires : Dvinella, Anthracoporella, Dasycladacae, K. inflata
- . des Foraminifères.

A ces constituants organiques, s'ajoutent

- . des chondroïdes (100μ à 250μ)
- . des endoclastes cryptogrenus (j'ai rangé, sous cette dénomination, des corpuscules cryptogrenus de grande

taille 500 μ à 800 μ , dont on ne peut déceler la nature) (pl. 9, fig. 3).

. des endoclastes spathiques

. des quartz à la partie tout à fait supérieure de la série.

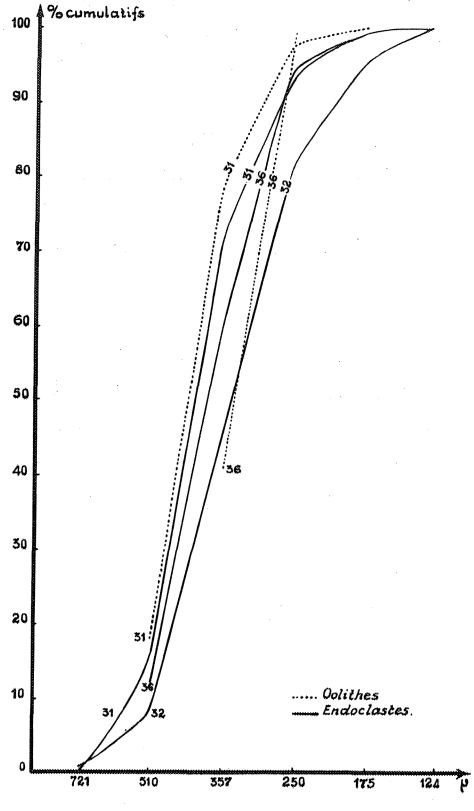


Fig. 49 - Courbes granulométriques, Cossé-en-Champagne.

3°) Micropaléontologie

L'association rencontrée est particulièrement intéressante. Elle se caractérise par la présence de calcisphères, de Eotuberitina, Earlandiidae, Ammodiscidae, Ozawainellidae, Tournayellidae, Textulariidae, Endothyridae, et plus particulièrement d'Archaediscidae dont Permodiscus rotundus N. CERN. v. elongatus C. et L., Archaediscus karreri BRADY, Planoarchaediscus. La base de la carrière se situe dans la zone III et le

sommet dans la zone IV de notre échelle chronostratigraphique. Koninckopora inflata (de KON.) apparaît, en effet, dans les couches les plus élevées.

	Zone III										Zone IV	
	29	28	25	23	20	19	18	16	15	12	11	9
Koninckopora inflata (de KON.)											K	
Algues diverses	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+
Eotuberitina reitlingerae M. MAKL.				+		+						
Archaesphaera minima SUL.						+						+
Pachysphaera dervillei C. et L.												V
Earlandia vulgaris var. vulgaris R.-C. et R.			V	V				V				
Earlandia vulgaris var. minor R.-C.	+	+		+	+	+			+	+		+
Glomospirella spirillinoides G. et G.	V								V			
TOURNAYELLIDAE						+						
Tournayella						+						
Lituotubella								+				
TEXTULARIIDAE												+
Palaeospiroplectammina diversa (N. TCHERN.)												t
ARCHAEDISCIDAE			A		A	A	A	A	A			
Permodiscus			A		A	A	A	A				
cf. Permodiscus rotundus N. CERN.							A					
Permodiscus rotundus N. CERN var. elongatus C. et L.			A		A	A						
Planoarchaediscus spirillinoides R.-C.					A							
Archaediscus karreri BRADY					A							
Plectogyra	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Plectogyra agathis C. et L.							+					
Plectogyra verkhojanica B. et J.						+						
Plectogyra bradyi (MIKH.) var. obsoleta R.-C.						+						
Plectogyra aff. mucronata C. et L.					+							
Eostaffella					V				V			

TABLEAU XXX - Répartition des Foraminifères et des Algues, Cossé-en-Champagne.

D - CARRIERE DE GRAND-ROUSSON ENTRE SAULGES ET BALLEE (MAYENNE)

J'ai tenté de retrouver la carrière du Grand-Rousson entre Saulges et Ballée (Mayenne) dont Y. MILON (1928, p. 60) décrit un échantillon, pour sa richesse en calcisphères. Actuellement, seuls quelques affleurements existent dans le chemin d'accès au moulin de Rousson, ainsi que dans le champ au Nord de ce chemin, au point de coordonnées U. T. M. 693,55 et 5315,20 (feuille de Meslay). Quelques échantillons ont été prélevés, sans qu'il soit possible d'établir un log complet. La direction des couches est N. 110° E, le pendage 80° vers le S O.

Le sédiment est constitué, dans l'ensemble, des dix échantillons recueillis,

- par des amas de calcite cryptocristalline de forme arrondie ou quelconque, plus ou moins denses de 500μ à 600μ. Dans l'échantillon GR 8, une certaine lamination est visible.
- par des chondroïdes de plus petite taille
- par quelques rares oolithes à nucleus cryptocristallin (GR 2)
- par des Foraminifères (Textulariidae, Endothyridae GR 3, 5, 6)
- par des calcisphères abondantes, et plusieurs fragments de Koninckopora inflata (de KON.) sont observables dans GR 5.

E - LES PREAUX

Dans cette même région, à 500 m au Nord-Ouest du point précédent, au Sud de la ferme des Préaux, quelques affleurements étaient visibles dans un champ. Les strates ont une direction N. 110° E et un pendage 80° S O. Elles sont immédiatement inférieures aux couches de Grand-Rousson.

La roche renferme, dans un ciment de calcite spathique, de très nombreuses calcisphères, des Foraminifères (cf. liste suivante) et des amas irréguliers de calcite cryptocristalline.

	1	2	3	4	5
Archaesphaera	+			+	+
Pachysphaera dervillei C. et L.		V	V		V
Earlandia vulgaris var. vulgaris R. -C. et R.		+			
Earlandia vulgaris var. minor R. -C.	+		+	+	
Lituotubella glomospiroïdes R. -C. var. magna R. C.					+
TEXTULARIIDAE	+				
ARCHAEDISCIDAE			A		
Plectogyra	+	+	+	+	
Plectogyra exelikta C. et L. var. exelikta C. et L.	+	?			

TABLEAU XXXI - Micropaléontologie : Les Préaux.

F - LE HALLAIS

1°) Localisation et description de l'affleurement

L'ancienne carrière de la ferme du Hallais se situe à 900 m au Sud de Bannes, sur la route de Bannes à Epineux (coordonnées U. T. M. 5317 et 697,75 feuille de Loué) (fig. 50). Cette carrière avait un front de taille d'1 m de hauteur seulement car elle a été faiblement exploitée pour le macadam (renseignement verbal de M. MILON). Elle est actuellement transformée en pâture.

Le calcaire gris clair, massif, apparaît pseudoolithique ; il renferme des Polypiers solitaires. Quelques échantillons (H 38 à H 44) ont été prélevés afin de définir le type pétrographique et d'établir les corrélations

avec d'autres parties du bassin.

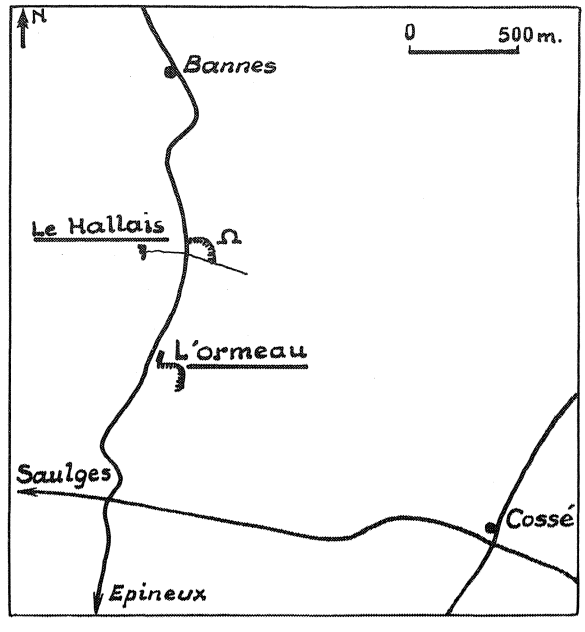


Fig. 50 - Situation des carrières du Hallais et de l'Ormeau.

2°) Etude pétrographique

Ces calcaires sont le résultat d'une sédimentation endoclastique, bioclastique et oolithique.

Les échantillons H 38 et H 39 sont constitués par

- des chondroïdes (150 - 160 μ)
- des endoclastes cryptogrenus (650-700 μ)
- des endoclastes spathiques auréolés de calcite cryptocristalline
- des fragments de Dvinella CHVOROVA.

Les échantillons H 40, H 41, H 43, H 44 sont formés

- d'éléments spathiques algaires appartenant vraisemblablement au g. Dvinella
- de fragments de Crinoïdes
- de chondroïdes
- d'endoclastes bothrolithiques
- de bothrolithes comprenant des oolithes (360 μ à structure concentrique et radiaires) et des débris algaires.

- d'éléments cryptocristallins arrondis de grande taille, sans aucune organisation visible ou avec des sections de tubes à paroi spathique.
- de fragments de Koninckopora inflata (de KON.) (H 41) dont certains présentent une auréole de calcite cryptocristalline. Agglutination ou oolithisation ? Aucune structure n'est visible.
- de sections d'Anthracoporella PIA.

L'hétérogéneité du matériel est traduite par la courbe granulométrique qui a un indice d'hétéromètrie de 0,48 (fig. 51).

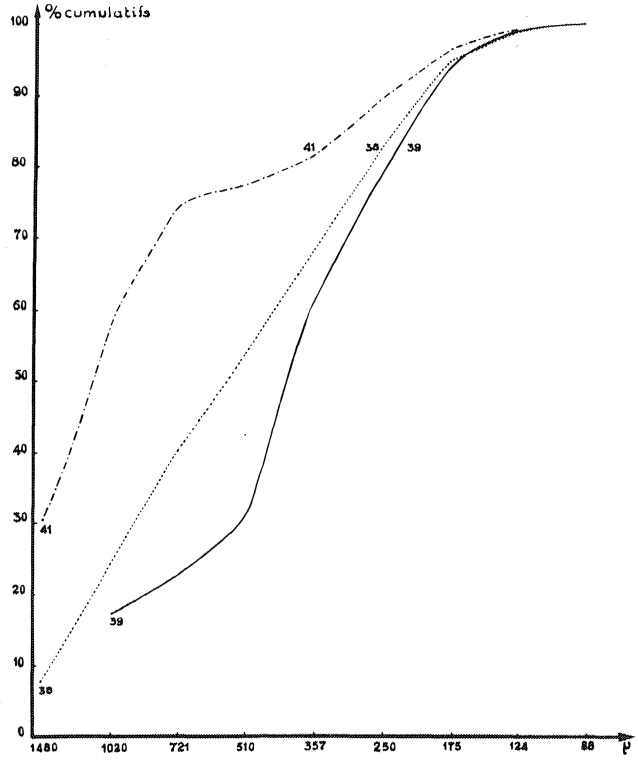


Fig. 51 - Courbes granulométriques, Le Hallais.

La sédimentation est en tous points comparable à ce qui a été observé à La Foucaudière I (Chémeré).

3°) Micropaléontologie

En l'absence de Foraminifères, Koninckopora inflata (de KON.) servira de marqueur.

G - SAINT-PIERRE-sur-ERVE (CARRIERE DES FOURNEAUX)

1°) Localisation et description de l'affleurement

La carrière est située à 0,750 km au Sud du bourg de Saint-Pierre-sur-Erve, sur la route de Saulges, au point de coordonnées U. T. M. 5 320,10 et 694,50 (feuille de Meslay).

Un log pétrographique a été figuré par J. GAYET dans sa thèse de troisième cycle (juin 1965) ; ce log est, en fait, le résultat non publié de l'étude faite par M. BARREYRE (S. N. P. A. Pau), de 38 échantillons prélevés dans cette carrière.

Mon échantillonnage antérieur à la thèse de J. GAYET a été plus serré (85 échantillons ont été recueillis sur toute la longueur du front de taille Est)(fig. 59), ce qui m'a permis en mai 1965 (A. P., 1965) d'établir une chronostratigraphie à l'aide des Foraminifères.

L'ensemble des strates entamées par cette carrière présente une direction N.110° E et un pendage S O de 70° à 80°. (fig. 52). Trois parties se différencient par l'allure de la stratification, la richesse en fossiles, l'aspect macroscopique du sédiment :

- à la base, la zone A est formée par un calcaire gris clair, riche en macrofaune, apparaissant sous deux faciès :
  - a - calcaire faiblement dolomitisé, très riche en Brachiopodes (Spiriferinae, Delepinea comoïdes (SOW.) (ech. 1 à 20).
  - b - calcaire plus passif avec Polypiers solitaires, abondants, associés aux Brachiopodes (21 à 39).

- la zone B est caractérisée par l'aspect massif du calcaire. A la base, il s'agit d'un calcaire dur, cristallin sans aucune macrofaune (40 - 51). La partie supérieure est constituée par un calcaire pseudoolithique (51 bis - 89).

- la zone supérieure C (90 à 107) dans laquelle les couches redeviennent stratifiées, en bancs de 60 à 80 cm vers la base, puis plus massifs au sommet. Des Polypiers solitaires apparaissent, couchés dans les plans de stratification.

2°) Pétrographie

Les différences qui apparaissaient à l'œil nu se retrouvent dans les microfaciès. (fig. 53 - 54).

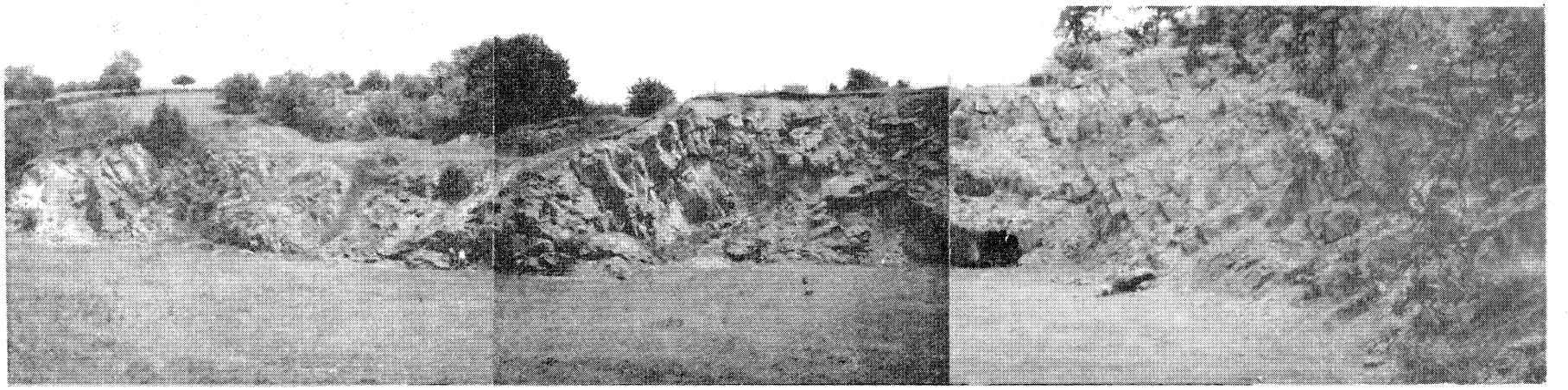


Fig. 52 - Saint-Pierre-sur-Erve : Carrière des Fourneaux.

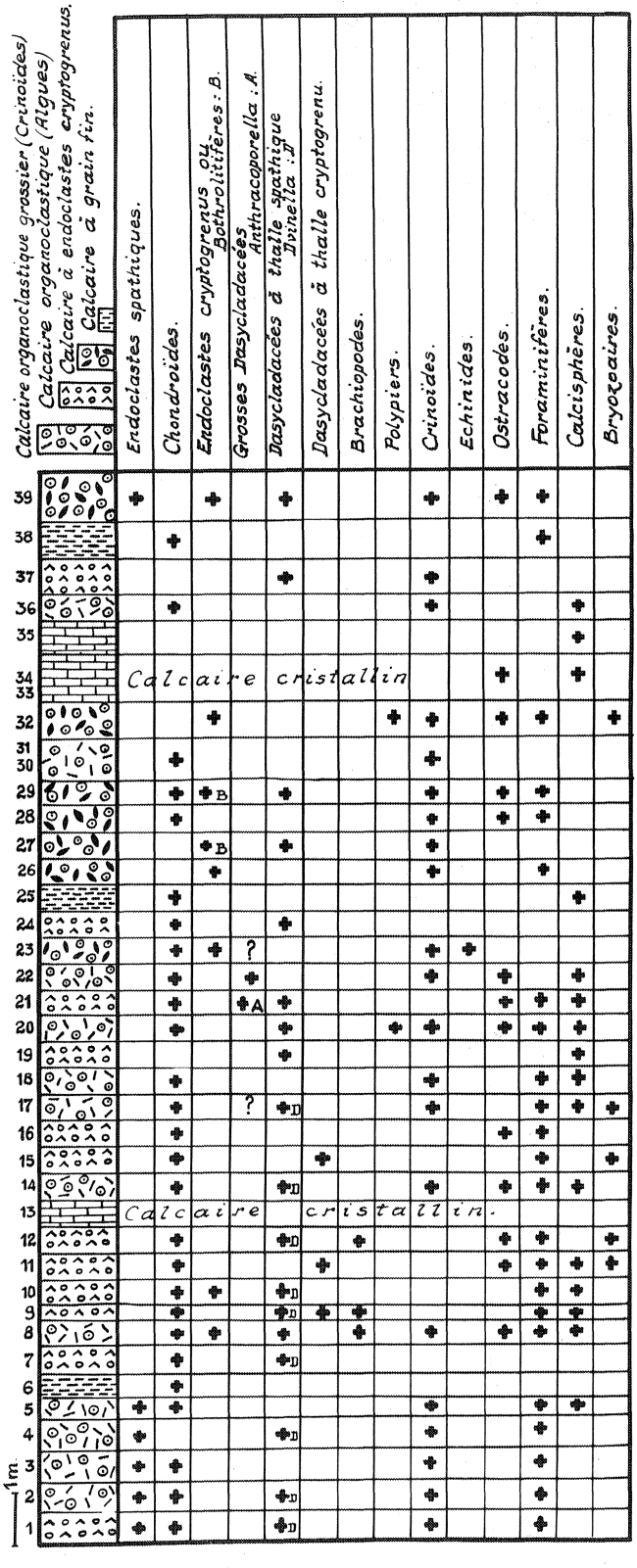


Fig. 53

LOG PETROGRAPHIQUE

Saint Pierre-sur-Erve

Carrière des Fourneaux

zone A

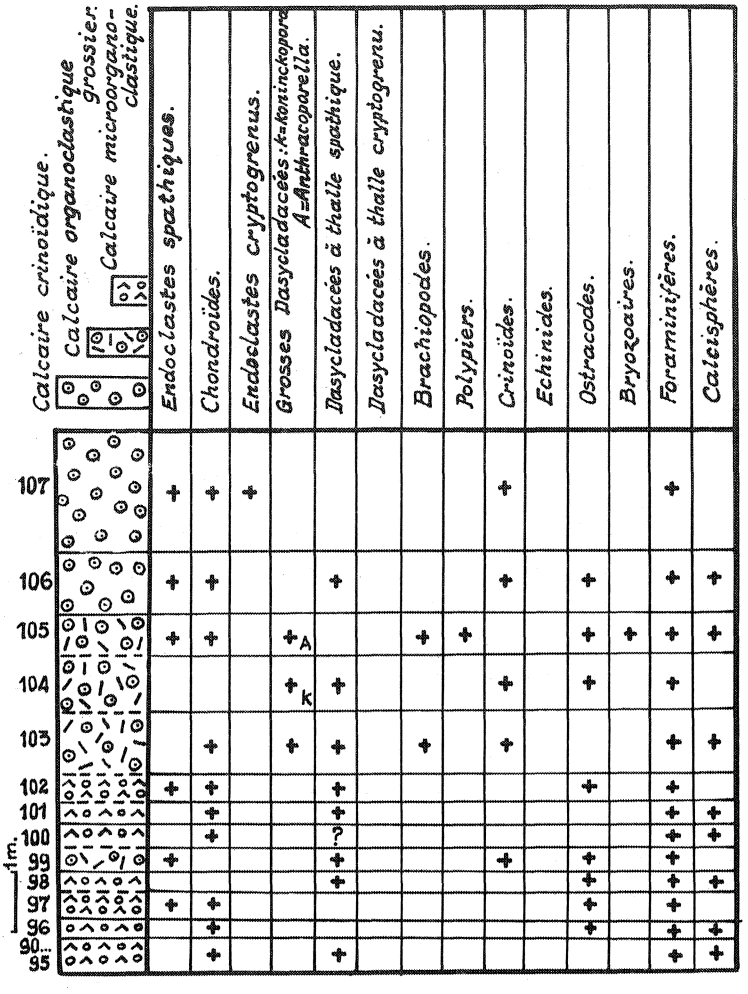


Fig. 54 - Log pétrographique, carrière des Fourneaux, Saint-Pierre-sur-Erve : zone C.

Zone A

- Le niveau a est caractérisé par la présence, dans un ciment spathique, de chondroïdes (120 à 200μ), de débris bioclastiques : fragments de Crinoïdes pouvant atteindre la dimension de 3 mm, Ostracodes, Bryozoaires, Foraminifères, d'éléments algaires (Dvinella CHVOROVA, Anthracoporella PIA et Dasycladaceae à thalle cryptogrenu dont il est impossible de déterminer l'appartenance générique).

- Le niveau b se différencie par la présence d'endoclastes cryptogrenus ou bothrolithiques et une diminution des chondroïdes ; mais les éléments bioclastiques restent les mêmes. Les Foraminifères sont moins

nombreux. L'ensemble de la zone correspond à une sédimentation bioclastique à prédominance algaire.

Zone B

- Le niveau a (40 à 50) est comparable au niveau b de la zone A ; il est caractérisé par la présence de chondroïdes (160μ à 200μ) dispersés, de forme quelconque, associés à des débris de Crinoïdes (1000μ); à des radioles d'Echinides, à des Ostracodes, à des fragments algaires (Dvinella, Anthracoporella). Quelques éléments cryptogrenus de grande taille (400μ) doivent être rapportés à des endoclastes. Mais le fait remarquable est la richesse et la variété en espèces de Foraminifères par rapport à la zone A (pl. 9, fig. 4).

- Niveau b Dans un ciment de calcite spathique, on observe des corpuscules de calcite cryptogrenue de forme variée :

. certains sont arrondis, à structure concentrique complexe : le nucleus peut être micritique ou spathique (très souvent un fragment de Dasycladaceae soit Dvinella, soit Anthracoporellopsis), il est entouré par de la calcite spathique en petits cristaux, puis vient une alternance d'anneaux extrèmement fins de calcite cryptocristalline et d'anneaux largement spathiques ; la couche la plus externe de l'enveloppe est cryptogrenue ; les diverses couches concentriques sont parfois irrégulières avec enrobement de corpuscules spathiques. Cette disposition me fait penser qu'il s'agit d'oolithes algaires. Les zones claires recristallisées correspondent peut-être aux conceptacles ou à la matière vivante qui aurait disparu lors de la diagénèse (cf. T. P. CHAMNEY, 1952 in A. CAROZZI p. 237, 1960).

. d'autres ont une forme quelconque et sont hétérogènes (bothrolithes) (pl. 10, fig. 1 et 2). On y observe :
- des sections transversales et longitudinales de tubes algaires ; les parois montrent des perforations (Dasycladaceae à thalle spathique éch. 62, 76),
- des oolithes algaires identiques à celles précédemment décrites.

La matrice micritique présente une certaine zonation. Ces corpuscules ont souvent une forme très allongée ou constituent des chaînes reliées entre elles par de la calcite cryptogrenue (ceci est particulièrement visible au sommet de la série éch. 86). D. L. BIGGS (1958) a décrit dans des calcaires du Mississipien de l'Iowa (Etats-Unis) des pellets agglutinées dans une pellet plus grande, avec ou sans enveloppe concentrique. Les nucleus de calcite spathique lorsqu'ils existent, sont en continuité optique avec la calcite spathique du ciment. D'autre part, les structures concentriques ne sont pas régulières. Pour ces différentes raisons, D. L. BIGGS estime que les pellets et le ciment sont le résultat de la recristallisation diagénétique d'une boue carbonatée originelle. Bien que certains de ces caractères

se retrouvent dans les calcaires de Saint-Pierre-sur-Erve, je ne pense pas pouvoir appliquer la conclusion de cet auteur ; en particulier, la présence de bioclastes comme nucleus des oolithes algaires montre bien que ceux-ci étaient préexistants et ont été enrobés ensuite par de la calcite microgrenue.

. certains corpuscules ne sont recouverts que d'un côté par la calcite micritique.

Toutes ces observations amènent à conclure que ces oolithes et bothrolithes sont dûs à un encroûtement par des Algues et sont différents des oolithes résultant uniquement de processus physico-chimiques. Récemment, K.H. WOLF(1965_a) a attiré l'attention sur la ressemblance qui peut exister entre ces corpuscules d'origine différente et sur la transformation diagénétique des filaments et cellules algaires en calcite cryptocristalline (1965_b).

Des débris bioclastiques libres se rencontrent dans ce microfaciès : des Crinoïdes, des Foraminifères, des fragments d'Anthracoporella, des chondroïdes et des endoclastes spathiques de petite taille.

Zone C

Deux types de sédiments ont pu être distingués :

a) des bioclastites : dans un ciment de calcite spathique clair, on distingue des chondroïdes arrondis ou en traînées (240μ dans éch. 90 ; 80μ dans les autres échantillons) associés à des débris de Dvinella (éch. 90, 97, 98, 100, 101, 103, 106, 107) ; des entroques de taille nettement plus grande que les autres bioclastes (2000μ), des débris d'Ostracodes et de Brachiopodes. A part les Crinoïdes, la taille des corpuscules varie de 250μ à 300μ ; les Foraminifères sont abondants.

b) la distinction du niveau 104 s'impose par une plus grande dimension des éléments (1000μ),le développement des Foraminifères, l'apparition des grosses Dasycladaceae : Koninckopora inflata (de KONINCK). C'est le début d'une sédimentation grossière telle que celle observée à Chémeré.

3°) Micropaléontologie

Cette carrière est particulièrement intéressante parce qu'elle montre l'évolution,au cours du dépôt,de la microfaune ; chaque zone pétrographique est caractérisée par une association différente.

La zone A renferme les microorganismes suivants : Eotuberitina, calcisphères avec Pachysphaera dervillei C. et L., Earlandiidae,

	Zone II					Zone III															Zone IV		
	11	15	17	23	32	41	42	43	45	47	50	75	88	90	96	97	99	100	101	102	104	105	110
Girvanella densa C. et L.																							
Koninck. inflata (de KON.)																					K		
Parathurammina suleimanovi LIPINA																					+		
Eotuberitina reitlingerae M. MAKL.	+	+	+							+				+		+	+		+		+		
Archaesphaera minima SUL.	+												+	+	+			+	+			+	
Pach. dervillei C. et L.	V	V	V			V	V		V					V	V				V			V	
Earlandia vulgaris var. vulgaris R.-C. et R.	V	V	V	V	V		V	V		V	V			V	V	V		V		V	V	V	
Earlandia vulgaris (R.-C. et R.) v. minor R.-C.	+	+	+		+	+		+	+	+				+	+	+	+	+	+	+		+	+
Diplosphaerina																+							
Ammodiscus									+												+		
Glomospirella	V	V	V			V			V	V				V	V	V			V			V	
Glomospirella spirillinoides GR. et GL.	V	V	V						V	V					V	V	V					V	
Tournayellidae		+	+												+					+		+	+
cf Forschiella prisca MIKH.																					+	+	
Lituotubella glomospiroides R.-C. v. scalaeformis C. et L.									+	+													
Tetrataxis					+	+				+												+	+
Archaediscidae						A				A			A	Ac	A	Ac	A	A	A	A	A	A	
Archaediscus																				A		A	
Archaediscus krestovnikovi R.-C.														A	A	A					A		
Propermodiscus										A				A	A								
Propermodiscus lenitortus C. et L.															A								
Propermodiscus aff. miloni nov. sp.														A									
Permodiscus						Acf								A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Permodiscus deflectens nov. sp.										A													
Permodiscus rotundus N. CERN v. elongatus C. et L.														A	A	A	A	A	A	A	A		A
Permodiscus rotundus N. CERN v. inflatus C. et L.																	A				+		
Plectogyra	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Plectogyra bradyi MIKH.																+							
Plectogyra exelikta C. et L.																					+		
Plectogyra convexa R.-C.																					+		
Plectogyra tenuiseptata (LIPINA)																							+
Eostaffella			?		V					V	V				V		V	V	V	V		V	V
Mediocris		V																				V	
Eostaffella parastruvei R.-C.																						+	

TABLEAU XXXII - Répartition des Foraminifères et des Algues, Saint-Pierre-sur-Erve : Les Fourneaux.

Ammodiscidae, Tournayellidae, Tetrataxidae, Endothyridae, Ozawainellidae. (correspond à la zone II de l'échelle stratigraphique locale).

La zone B en diffère par l'apparition des Archaediscidae (Propermodiscus et Permodiscus) associés aux formes existant déjà dans la zone A, (correspond à la zone III de l'échelle stratigraphique locale).

La zone C se différencie par le développement des Archaediscidae déjà cités plus haut, accompagné par Archaediscus krestovnikovi R. C., de Plect. bradyi MIKH., de Plectogyra tenuiseptata (LIPINA). L'apparition de Koninckopora inflata (de KON.) est associée à celle de Plectogyra exelikta C. et L., Plectogyra cf. convexa R. et C. (correspond à la zone IV de l'échelle stratigraphique locale).

H - VALLEE DE L'ERVE ENTRE SAULGES ET SAINT-PIERRE-SUR-ERVE (MASSIF DE SAULGES)

A. PHILIPPOT (1948) envisage la région de Saulges "comme un complexe tectonique constitué par une série de plis isoclinaux déversés tantôt vers le Nord tantôt vers le Sud".

Un échantillonnage effectué le long de la vallée de l'Erve a permis de reconnaître quelques microfaciès intéressants, malgré la dolomitisation qui affecte les calcaires.

- Les assises immédiatement supérieures à celles étudiées dans la carrière des Fourneaux sont constituées par des calcaires organoclastiques et endoclastiques. Les bioclastes sont des fragments de Koninckopora inflata (de KONINCK) associés à des Crinoïdes et à des Bryozoaires. Les endoclastes sont cryptogrenus ou spathiques. L'association microfaunique est composée d'Archaediscidae (Archaediscus karreri BRADY), d'Earlandiidae, de calcisphères.

- Puis, apparaît une sédimentation oolithique et pseudoolithique correspondant au faciès signalé par D. OEHLERT (1911). Les oolithes (grain moyen = 600 μ éch. 13 ; grain moyen = 350 μ éch. 14) possèdent des noyaux cryptogrenus ou spathiques. L'enveloppe est égale à la 1/2 ou au 2/3 du nucleus. Les endoclastes se répartissent en deux stocks granulométriques (éch. 13) ou sont de taille variée (éch. 14).

- Les strates suivantes renferment principalement des corpuscules cryptogrenus échevelés, étirés, comportant des tubes spathiques. Des débris de Koninckopora inflata (de KON.) et d'Orthriosiphon JOHNSON et KONISHI sont identifiables.

- Ensuite, les calcaires dolomitisés sont très tectonisés : les chondrolithes sont très étirés, ainsi que les gaines cryptocristallines des débris spathiques ; dans les couches voisines de la Grotte à Margot, l'étirement est tel que les éléments ne sont plus reconnaissables.

- Plus vers le Sud, la microfaune est assez riche : Archaediscus krestovnikovi R.-C., Archaediscus karreri BRADY, Permodiscus rotundus N. CERN. v. elongatus C. et L., Propermodiscus. Le microfaciès se caractérise par une prédominance des chondroïdes, associés à quelques débris de Crinoïdes. La sédimentation formée de fins éléments microcristallins est tout à fait comparable à celle observée dans la carrière des Fourneaux, mais les particules sont déformées par la tectonique (54, 55, 57, 59, 60, 61, 62, 64, 65, 66).

	100f	78	77	76	69	63	50
Eotuberitina reitlingerae M. MAKL.		+					
Archaesphaera		+	+				
Pachysphaera dervillei C. et L.			V		V	V	V
Earlandia vulgaris var. vulgaris R.-C. et R.			V	V	V		
Earlandia vulgaris var. minor R.-C.	+	+	+	+	+	+	+
TOURNAYELLIDAE		+					
Tetrataxis							+
Archaediscidae			Ac		A		A
Archaediscus					A		
Archaediscus krestovnikovi R.-C.							Ac
Archaediscus karreri BRADY							A
Propermodiscus			A				
Propermodiscus lenitortus R.-C.			A				
Permodiscus rotundus R.-C. var. elongatus C. et L.			A			A	
Plectogyra	+	+	+	+	+	+	+
Plectogyra aff. bradyi MIKH.				+			
Eostaffella			V			V	

TABLEAU XXXIII - Micropaléontologie du Viséen : massif de Saulges.

- Enfin, apparaissent des calcaires organoclastiques à Crinoïdes, chondroïdes et Plectogyres extrêmement déformées. Près du Pont du Gué, au voisinage de la bande du Culm inférieur, les calcaires sont gréseux (direction N.180° E, pendage vers l'Est) et sont riches en tourmaline et zircon.

Dans le massif de Saulges, quelques marqueurs (Archaediscidae, Koninckopora inflata (de KON.)) et les caractères particuliers de certains microfaciès permettent de conclure à l'existence de plis secondaires et de dater la sédimentation carbonifère du Viséen inférieur au Viséen moyen, par comparaison avec ce qui a été reconnu dans les autres parties du bassin (A. P., 1965).

II_b - REGION OCCIDENTALE

A - VAIGES

- Carrière de La Massuredière -

1°) Localisation et description de l'affleurement

Il s'agit d'une ancienne carrière située à 1 km au Sud de Vaiges (fig. 55) sur la route de Vaiges à la Bazouge-de-Chémeré au point de coordonnées U. T. M. 5322,8 et 688,65. J'ai appelé cet affleurement : carrière de La Massuredière, du nom de la ferme la plus proche.

Les échantillons ont été prélevés du sommet vers la base de la série. La direction des couches (N.100° E) et le pendage (60° vers le Sud-Ouest) ont été déterminés sur quelques bancs de faible épaisseur (65 à 69 - 50 à 51) ; les autres strates sont massives. 26 échantillons ont été prélevés sur une puissance de 21 mètres.

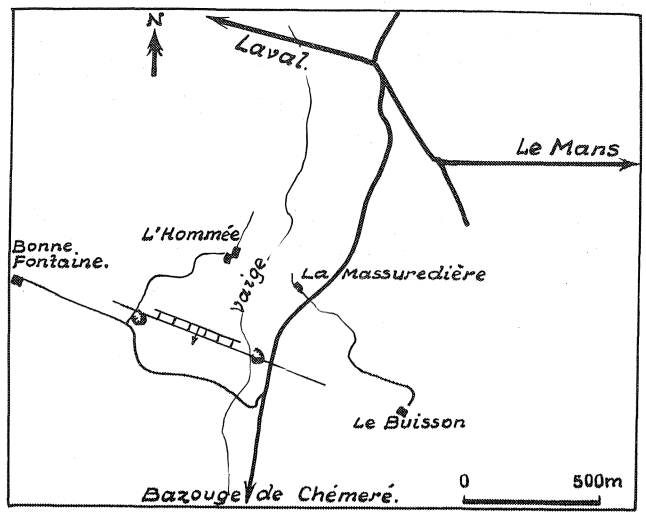


Fig. 55 - Situation des carrières de La Massuredière et de Bonne Fontaine (Vaiges).

2°) Analyse pétrographique

La sédimentation est bioclastique dans toute la série visible dans cette carrière (voir fig. 56).

Certains calcaires atteignent la dimension des rudites. Les corpuscules organiques sont

- des débris de Crinoïdes, en prédominance, pouvant mesurer plusieurs millimètres
- des fragments de Koninckopora inflata (de KON.)
- des valves d'Ostracodes
- des éléments cryptogrenus avec sections de tubes à paroi spathique, correspondant à des Dasycladaceae
- des chondrolithes (500 μ -600 μ) (éch. 75, 74, 63, 54).

Ces biospathrudites contiennent, dans certains échantillons, deux stocks granulométriques : les Foraminifères associés aux chondroïdes et aux endoclastes (grain moyen 300 μ à 400 μ), les débris crinoïdiques et les phytoclastes (aux environs de 2 mm) (éch. 71) ; cependant, les Crinoïdes font parfois défaut (éch. 60, 59, 58).

3°) Analyse séquentielle (fig. 55)

La sédimentation algaire remaniée est prépondérante. Ce type

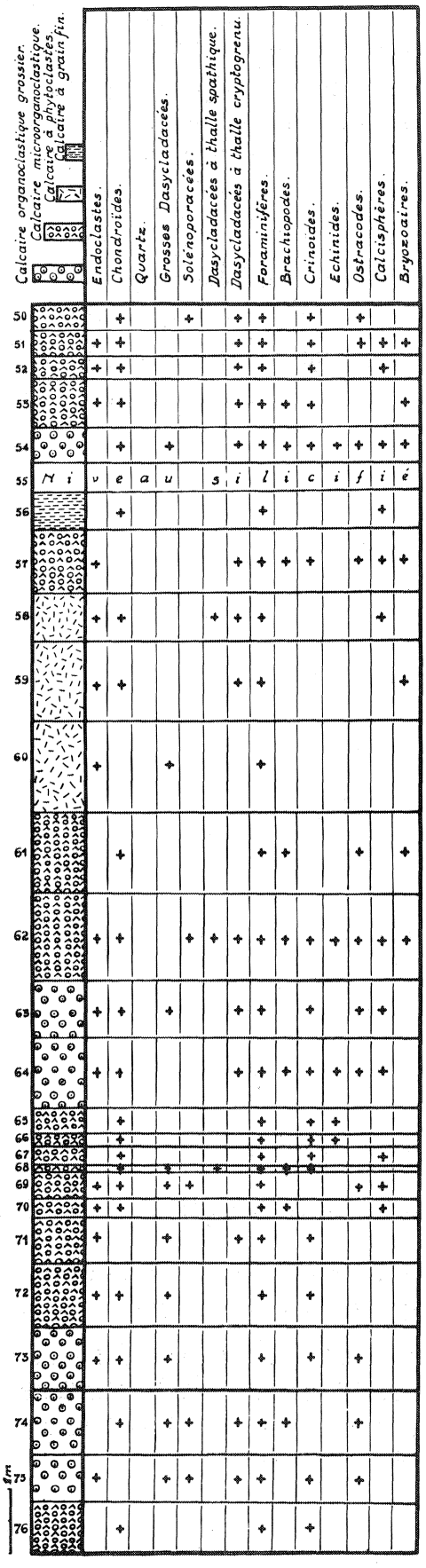


Fig. 56

LOG PETROGRAPHIQUE

Vaiges

Carrière de la Massuredière

de dépôt a été déjà observé à Chémeré (La Foucaudière I).

Il est difficile de définir des séquences de sédimentation. On note trois récurrences de rudites avec présence de grosses Dasycladaceae, surmontés de biospatharénites ; parfois le sédiment s'appauvrit en zooclastes et s'enrichit en phytoclastes.

4°) Micropaléontologie (tableau XXXIV)

	Zone IV				Zone V			
	76	75	72	71	69	63	61	57
Koninckopora inflata (de KON.)	K	K	K	K	K	K		
Eotuberitina reitlingerae M. MAKL.			+				+	+
Archaesphaera minima SUL.						+		+
Pachysphaera dervillei C. et L.					V		V	V
Earlandia vulgaris var. vulgaris R.-C. et R.	V		V	V	V	V		
Earlandia vulgaris var. minor R.-C.			+		+		+	+
Glomospirella spirillinoïdes (G. et G.)					V			
TOURNAYELLIDAE					+			
TEXTULARIIDAE				+	+ com.			
Cribrostomum					C			
Tetrataxis								+
ARCHAEDISCIDAE	A	A	A	A	A	A	A	A
Propermodiscus						?		
Permodiscus				A				
Archaediscus krestovnikovi R.-C.			A		A		A	A
Archaediscus karreri BRADY								A
Archaediscus convexus var. convexus GR. et LEB.								C
Plectogyra	+	+	+	+	+	+	+	+
Plectogyra agathis C. et L.						+		

TABLEAU XXXIV - Micropaléontologie de La Massuredière.

L'association se caractérise, par la richesse en Koninckopora inflata (de KON.), par la présence d'Archaediscidae :

- à la base de la série : Archaediscus krestovnikovi R.-C., Archaediscus karreri BRADY, Permodiscus, Propermodiscus
- au sommet : Archaediscus convexus var. convexus GR. et LEB.

Le genre Cribrostomum apparaît à ce niveau.

- Carrière de Bonne Fontaine -

1°) Localisation et description de l'affleurement

Le deuxième affleurement examiné est une petite carrière localisée au Sud-Ouest de Vaiges au point de coordonnées U.T.M. 5323,20 et 687,20 ; elle est située dans un champ à 35 m de la ferme de Bonne Fontaine. La stratification est nettement visible (direction N.110° E) ; les fronts de taille nord et sud sont sensiblement parallèles aux plans de stratification ; le fond de la carrière a un front de taille de direction N.20° E, les bancs entaillés à cet endroit sont massifs et oolithiques. Le pendage est de 80° vers le Sud-Ouest (fig. 57).

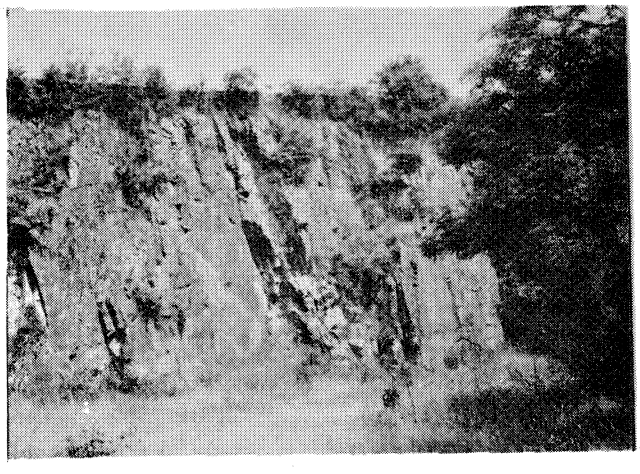


Fig. 57 - Carrière de Bonne Fontaine.

36 échantillons ont été prélevés sur trente mètres de puissance. Les deux affleurements de La Massuredière et de Bonne Fontaine sont éloignés l'un de l'autre de 550 mètres en direction, et les couches de Bonne Fontaine sont immédiatement supérieures à celles de La Massuredière, le pendage se faisant vers le Sud-Ouest (fig. 54).

2°) Analyse pétrographique

Cette sédimentation est très hétérogène ; à l'œil nu, elle apparaît oolithique ; en fait, elle est constituée d'éléments variés, parmi lesquels les oolithes n'entrent, au maximum, que dans la proportion de 25 %. Les autres corpuscules sont des bothrolithes, des endoclastes, des chondroïdes, des Foraminifères, des débris algaires, des fragments de Crinoïdes. Les différents pourcentages des diverses catégories sont figurés au

tableau XXXV ci-dessous :

Echantillons	Bothrolites	Endoclastes			Oolithes	Quartz	Chondroïdes	Ciment
		Arrondis	Zooclastes + Phytoclastes	Anguleux				
106		31,31	0,20	7,14	17,40	0,0	4,95	39,00
			38,65					
105		30,85	2,22	11,30	11,70	0,75	4,80	38,40
			44,37					
104		28,38	1,10	5,70	17,70	0,17	6,25	40,70
			35,18					
103		35	4,2	12,90	15,20	0,0	5,70	37,00
			52,10					
102		24,75	5,40	2,55	25,45	0,20	10,65	31,00
			32,70					
99		22,95	5,00	3,20	15,95	0,70	10,20	42,00
			31,15					
98		25,35	4,60	2,80	29,00	0,10	9,95	28,20
			32,15					
97		29,90	3,82	0,00	18,30	1,48	13,40	33,10
			33,72					
96	34,70	0,60	1,43	0,00	19,70	0,45	8,80	34,30
			2,03					
95	17,20	18,40	3,10	0,00	18,20	0,00	1,30	41,80
			21,50					
94		46,40	2,50	0,00	11,20	0,40	0,00	39,40
			48,90					
93	1,00	44,90	1,20	0,00	13,70	0,80	0,00	38,30
			46,10					
92	38,6	10,5	1,00	0,00	21,50	0,40	0,00	28,0
			11,50					
90	36,80	10,5	0,80	0,00	20,10	0,00	0,00	31,80
			11,30					
89	37,70	14,75	0,98	0,00	16,30	0,10	0,00	30,40
			15,73					
87	30,50	20,0	0,00	0,00	4,90	2,10	0,00	42,50
85	24,10			31,00	14,90	0,00	0,00	30,00
84	17,50	22	2,30	3,40	16,80	0,00	15,60	22,40
			27,70					
83	23,25	15,50	0,50	3,90	16,50	0,00	6,10	34,40
			19,90					
79	13,00	9,80	11,90	6,25	2,20	0,20	5,75	50,90
			27,95					

TABLEAU XXXV - Pourcentagesdes diverses catégories d'éléments figurés. Vaiges (Bonne Fontaine).

- Les bothrolithes observés présentent des parties rentrantes séparant les corpuscules élémentaires et correspondent au deuxième type de C. MONTY (1963), la matrice est cryptogrenue. Ils ne se rencontrent que dans les strates inférieures (96 à 79) (pl. 10, fig. 3 et 4).

Les éléments agglutinés sont :

. des oolithes (96, 95, 93, 92, 90, 89, 88, 87, 86, 85, 84, 83, 82, 79) très nombreuses parfois (17 dans un bothrolithe de l'échantillon 90). De tels corpuscules sont signalés par A. CAROZZI (1964) dans des calcaires lacustres, mais peuvent se rencontrer dans des eaux peu profondes qu'elles soient lagunaires ou marines, par suite de processus d'oolithisation et de dépôt dans une boue où se produisent des phénomènes d'agglutination

. des débris algaires spécifiquement déterminables (Koninckopora inflata (de KON.))

. des éléments spathiques d'origine indéterminée prédominants dans les échantillons 96, 89, 87, 83.

On distingue quelquefois la présence de tubes spathiques dispersés, de nature algaire, dans la matrice (95, 93, 92, 90, 89, 85, 84).

Le contour des bothrolithes est fonction des éléments constitutionnels ; aucun élément corpusculaire n'est tranché sur le bord du bothrolithe, et les bothrolithes à oolithes prédominantes présentent des bosselures correspondant à ces dernières, sous la mince pellicule de calcite cryptogrenue qui enrobe les éléments en épousant leur contour. Le processus d'agrégation est donc ainsi nettement visible et confirme l'hypothèse de L. ILLING (1954, p. 29. 30) qui admet,pour la genèse des "lumps", la cimentation, sur le fonds, de corpuscules divers. Il ne peut, en aucun cas, s'agir d'éléments remaniés. Néanmoins, dans l'échantillon 83, j'ai pu noter la présence d'oolithes armant le bothrolithe, sans enrobage de calcite. Seul une trame cryptogrenue les reliait entre elles. Dans ce cas, on peut admettre qu'il y ait concurrence entre le dépôt chimique de carbonate de calcium et l'érosion qui empêcherait cette précipitation ; la calcite serait piègée entre les oolithes, mais ne pourrait pas se développer à l'extérieur du bothrolithe.

- Les endoclastes. Ont été rangés dans cette catégorie :

. les éléments à contours arrondis, ou pseudoolithes, qui sont, soit en calcite cryptogrenue uniforme, de taille supérieure à 150 μ (82, 83, 85, 86, 88, 92, 97, 99), certains sont des phytoclastes car ils contiennent des fantômes de tubes (87, 89, 100, 101, 103, 105, 107), soit hétérogènes à matrice cryptogrenue (il s'agit alors d'endoclastes bothrolithiques, renfermant les mêmes corpuscules que ceux décrits dans les bothrolithes, mais fragmentés, sectionnés sur le contour extérieur du corpuscule, ce qui, sans aucun doute, justifie la place de ces particules parmi les endoclastes).

. des débris spathiques anguleux dont l'origine ne peut être précisée (92, 99, 101, 104, 105, 107).

- Les zoo- et phytoclastes Il s'agit en l'occurrence de fragments de Crinoïdes (85, 102), de radioles d'Echinides type morphologique Scutellidae (HESSE, 1900) (88), de Dasycladaceae à thalle spathique, de Solenoporaceae, de Koninckopora inflata (de KON.) (85, 90, 92, 94, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 105, 107).

Ces éléments sont très souvent entourés d'une matrice cryptogrenue qui tend à régulariser leur forme (88, 93, 103, 105, 106, 107). (pl. 11, fig. 1). Dans l'échantillon 106, en particulier, j'ai pu noter un fragment de Crinoïde présentant une queue de calcite cryptogrenue et aucun enrobage du côté opposé.

- Les oolithes. La valeur du grain moyen des oolithes varie de 580 μ à 860 μ ; le classement est excellent (cf. courbes cumulatives, fig. 59). Le nucleus peut être un Foraminifère (82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 91, 92, 93, 94, 97, 98, 99, 102, 103, 104, 105, 106) ou un élément cryptogrenu (83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 97, 99, 102, 104, 105) ou un phytoclaste (82, 86, 87, 90, 92, 94, 97, 99, 102, 104, 105), un fragment de Koninckopora inflata (82, 86, 93, 106), un débris de radiole d'Echinide (85, 89, 107), un élément spathique (82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 98, 103, 104, 105, 106, 107). Le cortex est épais, pouvant atteindre 200 μ (84, 86), mais des protoolithes ont été observées (102) ainsi que des oolithes impressionnées par des endoclastes spathiques (94) ; certaines oolithes ont des traînes de calcite microcristalline (92). D'une façon générale, les oolithes à noyau cryptogrenu, ou algaire, sont plus grandes que les oolithes à noyau de Foraminifère ; cette distinction est particulièrement nette dans l'échantillon 87. Des oolithes brisées n'ont été remarquées que dans les échantillons 79 et 82.

- Les chondroïdes. Leur taille les différencie, dans le cas présent, de certaines pseudoolithes qui, bien que dépourvues de structure interne, sont trop grandes pour être rangées dans les chondroïdes, ou pellets.

3°) Etude granulométrique

En se basant sur les courbes cumulatives relatives aux endoclastes et aux oolithes (fig. 58 - 59) des diagrammes CM de PASSEGA ont été tracés pour ces deux catégories d'éléments (fig. 60). Le diagramme CM relatif aux endoclastes indique nettement l'agent responsable de leur mise en place : courant tractif marin, sans doute courant de marées. Il est

différent de celui obtenu pour les endoclastes du niveau oolithique de Juigné (dépôts de plages). Le diagramme CM relatif aux oolithes est parallèle à la ligne C = M : ceci signifie que les oolithes ont été transportées en suspension (ou plus exactement qu'elles sont le résultat d'une suspension dans le milieu de sédimentation) et que leur concentration dans l'eau décroît inversement à la hauteur au-dessus du fond. Les clasticités des oolithes et des endoclastes sont nettement distinctes ; ce fait est normal et confirme l'hypothèse de A. CAROZZI (1960, p. 243) ; l'interférence des deux facteurs : agitation de l'eau dans le milieu de sédimentation sursaturé en CO_3Ca et force des courants d'apport (exprimée par la clasticité des endoclastes) explique, en fonction de la valeur respective de chaque facteur, la proportion relative d'oolithes et de pseudoolithes. Il s'agit, ici, d'un sédiment oolithique et pseudoolithique. Le mouvement de l'eau ne peut agiter les éléments les plus gros (qui constituent les pseudoolithes), mais il prend en charge les grains à clasticité plus faible qui, par suite de leur prise en suspension dans le courant, constitueront des oolithes.

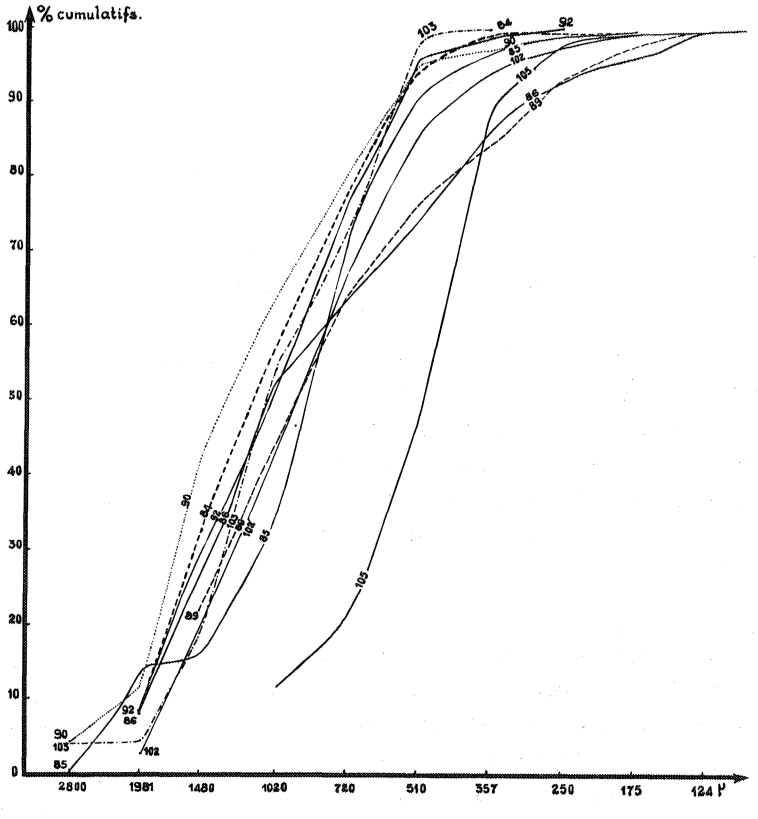


Fig. 58 - Courbes granulométriques des endoclastes : (Vaiges, Bonne Fontaine).

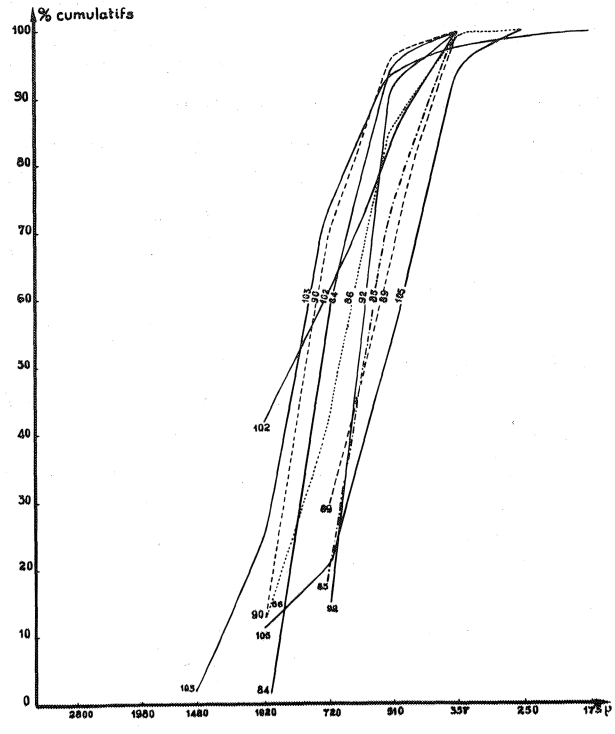


Fig. 59 - Courbes granulométriques des oolithes : (Vaiges, Bonne Fontaine).

Il ne fait aucun doute que la turbulence du milieu était grande, elle est chiffrée par la clasticité maximum des oolithes soit 1180 μ ; cette clasticité, avant d'atteindre ce maximum (103), a crû d'une façon régulière, cette augmentation est aussi accompagnée de celle de la clasticité des endoclastes et de la diminution jusqu'à la disparition des bothrolithes. Cette observation renforce l'idée de courants ralentis pour la genèse des processus d'agglutination.

Les conditions supposées de formation des oolithes en eau agitée, très peu profonde, supersaturée en carbonate de calcium décrites par de nombreux auteurs (G.A. RUSNAK, 1960; P.H. MONAGHAN et M.L. LYTLE, 1956; J.S. WILLIAMS, 1957; E. OELE, 1960) se trouvent confirmées par l'étude des diagrammes CM de PASSEGA : courant tractif, très faible profondeur de l'eau étant donné la valeur de l'indice de clasticité Cs de la suspension granoclassée. L'abondance des Dasycladaceae confirme l'idée de la faible profondeur de l'eau, les Dasycladaceae actuelles atteignant leur plus grande fréquence entre 6 m et 25 m (A. CAROZZI, 1955).

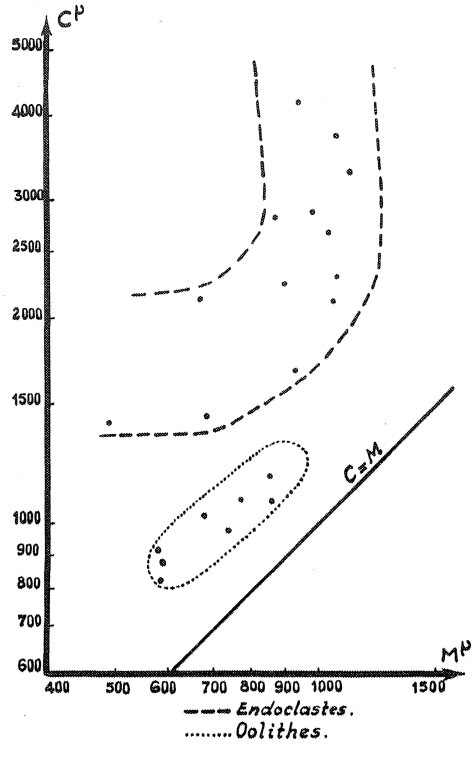


Fig. 60 - Diagrammes CM (oolithes, endoclastes)
Vaiges, Bonne Fontaine

4°) Micropaléontologie

L'association micropaléontologique (tableau XXXVI, page 158) est caractérisée :

- par la présence de Koninckopora inflata (de KON.) abondamment représentée,

- par l'apparition des Archaediscus à nodosités arrondies type A. demaneti. Les Archaediscus à nodosités ne sont pas connus en Belgique avant le V_2 b β et γ. Ils y sont rares et ne deviennent communs qu'au V_3 b γ et dominent dès le Namurien. Cette étape représente donc un stade d'évolution des Archaediscidae particulièrement intéressant à noter. Les espèces rencontrées à Vaiges, sont en mauvais état et plusieurs semblent appartenir à de nouvelles espèces.

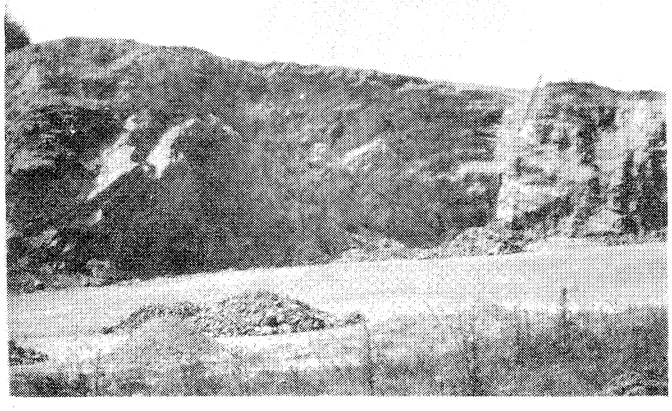
	Zone V												Zone VI																			
	77	78	79	80	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	105	106	107	108	109
Koninckopora inflata (de KON.)			K	K	Kc	Kc	Kc	Kc	Kc	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K		
Eotuberitina reitlingerae M. MAKL.																															+
Pachysphaera dervillei C. et L.													V																		
Archaediscus								A					A	A								A									
Archaediscus krestovnikovi R.-C.													A																	A	A
Archaediscus karreri BRADY																						A									
Archaediscus à nodosités													C	C				?		Cc		C		C	C	C					
Planoarchaediscus																															A
Archaediscus globulaire hélicoïdal à nodosités													S																		
Plectogyra													+		+	+	+					+									
Eostaffella											V																				
Eostaffella parastruvei R.-C.																						+									

Tableau XXXVI Répartition des Foraminifères et Algues

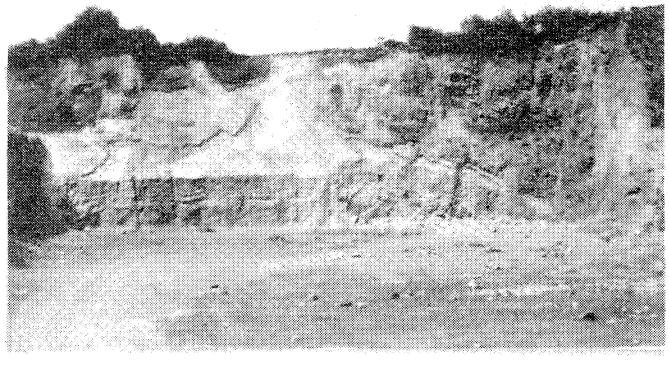
Vaiges (Bonne Fontaine)

B - ARGENTRE : CARRIERES DES ROCHERS

Les carrières des Rochers ou de La Corbinière sont situées à 2,500 km au Sud-Ouest d'Argentré et à 500 m de la route nationale 157, au point de coordonnées U.T.M. 674,50 et 5327,20 feuille d'Evron (fig. 62).



- Carrière A



- Carrière B

Fig. 61 - Argentré : carrières des Rochers.

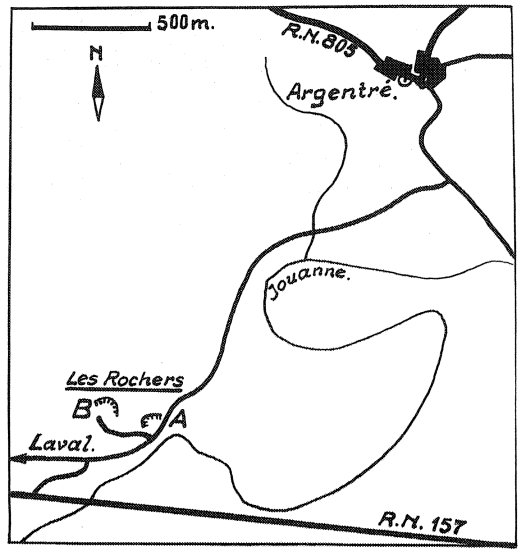


Fig. 62 - Situation des carrières des Rochers (Argentré).

1°) La carrière A montre, à l'affleurement, des couches accidentées de nombreuses failles ; afin d'avoir une série continue d'échantillons, j'ai effectué mes prélèvements le long du front de taille nord-est, correspondant au flanc sud-ouest d'un anticlinal, jusqu'à ce qu'une faille vienne interrompre la série. 49 échantillons ont été prélevés sur 22,50 m de puissance. La direction des strates est N.70° E et le pendage de 45° vers le Sud-Ouest.

a) Etude pétrographique

A l'œil nu, le calcaire apparaît homogène à grain très fin, de teinte noire sur la cassure fraîche, gris clair quand il est altéré, à nombreux entroques. L'étude microscopique conduit à distinguer trois microfaciès :

- le calcaire organoclastique. Le ciment est spathique à grain de l'ordre de 25μ ; on y observe des chondroïdes associés à de nombreux débris organoclastiques : Crinoïdes, radioles d'Echinides, Ostracodes, fragments coquilliers dont l'état de fracturation ne permet pas de déceler l'origine, des Foraminifères, des épines de Productidae (éch. 7, 12, 16, 20, 28, 29, 42, 48, 49).

- le calcaire à grain fin. Le ciment est spathique, les cristaux ont une dimension moyenne de 20μ ; quelques chondroïdes peuvent exister, mais les seuls éléments organiques sont des Foraminifères et des calcisphères (éch. 1, 2, 4, 5, 8, 9, 18, 19, 24, 27, 32, 43, 44, 45, 46).

La macrofaune est constituée par les Polypiers (Caninia) et des Productidae.

- la micrite noire à Algues à thalle spathique. Le ciment cryptocristallin (taille des cristaux = 10 μ) est peu développé. Les chondroïdes sont petits (90 μ) associés à des éléments bioclastiques prédominants. Outre quelques rares entroques, les éléments figurés sont des éléments tubulaires à paroi spathique de deux types. Certains ont un diamètre voisin de 100 μ et une paroi différenciée à zones calcifiées spathiques et à zones non calcifiées. Elles doivent appartenir au g. Dvinella CHVOROVA (Dasycladaceae). D'autres gaines (diamètre = 130 μ) ont une paroi spathique recristallisée (épaisseur = 25 μ) où, malheureusement, on ne distingue plus aucun canal perpendiculairement à la gaine, mais le canal intérieur est cloisonné rappelant la disposition observée dans le genre Anthracoporellopsis MASLOV, (1956, p. 78). Quelques Ostracodes peuvnet exister (3, 6, 10, 11, 14, 15, 17, 21, 22, 23, 25, 26, 30, 31, 36, 37, 38, 40, 47).

b) Analyse séquentielle

La série virtuelle locale s'établit comme suit, de bas en haut :

- calcaire organoclastique,
- micrite noire à Algues,
- calcaire à grain fin.

Le dernier terme représente le pôle chimique, l'essentiel de la roche étant constitué par de la calcite précipitée, les organismes planctoniques (calcisphères) n'ayant qu'un rôle mineur.

Dans ces conditions, huit séquences pourraient être dénombrées. (fig. 63). On ne peut rien déduire de la succession des termes ; certaines séquences sont positives, d'autres montrent une alternance de la micrite noire et du calcaire à grain fin, le tout apparaît arythmique.

La micrite noire est une roche formée par les débris algaires et correspond au gisement décrit par V. P. MASLOV (1956, p. 252) : "les Algues constituent de véritables buissons.... après leur mort, ces plantes tombaient en fragments, ou plus rarement étaient enfouies entières. Ce mode de croissance et d'ensevelissement des Algues formait généralement des gites en forme de lits... ces Algues vivent avec les Crinoïdes et autres organismes du fond. Ces sédiments proviennent toujours des eaux peu profondes".

Il s'agit ici d'une sédimentation dans un milieu où les sédiments sont sans cesse remobilisés, par des eaux superficielles ; dans ce milieu peu profond et bien oxygéné se développe une flore abondante, mais peu variée (deux genres de Dasycladaceae). Le remaniement avait lieu sur place puisqu'on rencontre de véritables lits à Dasycladaceae.

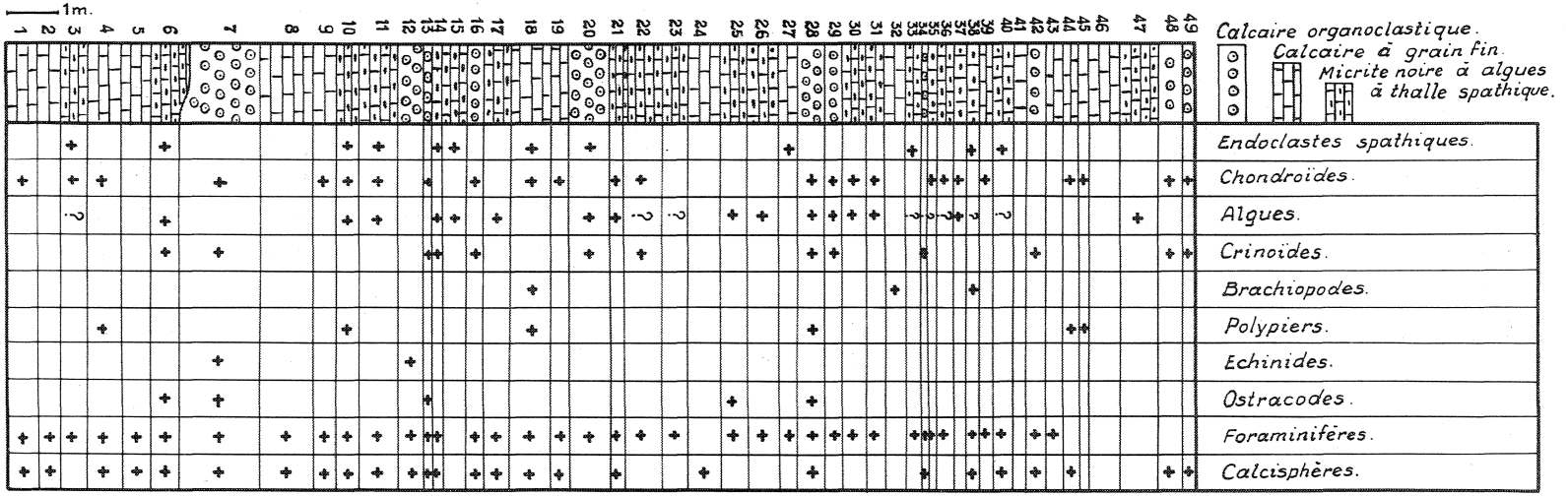


Fig. 63 - Argentré : Carrière A, log pétrographique.

c) Micropaléontologie (tableau XXXVII)

L'assemblage microfaunique se caractérise par la présence de calcisphères, d'Earlandiidae, de Plectogyres, de rares Tetrataxis et de Palaeospiroplectammina diversa (N. TCHERN.). Le milieu était donc favorable au développement des Foraminifères. Cette association relativement pauvre en espèces, caractérise la zone I de l'échelle chronostratigraphique locale.

	2	10	13	14	15	16	18	25	34	35	36	38	40
Algues diverses		?			?			+	?	+		?	
Eotuberitina reitlingerae M. MAKL.	+		+			+	+		+		+		
Archaesphaera minima SUL.	+		+			+						+	+
Pachysphaera dervillei C. et L.	?								?			V	
Earlandia vulgaris var. vulgaris R.-C. et R.	V		V					V				V	
Earlandia vulgaris var. minor R.-C.	+	+	+		+	+	+	+	+				
TEXTULARIIDAE	+												
Palaeospiroplectammina diversa (N. TCHERN.)									t				
Tetrataxis	+												
Plectogyra	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

TABLEAU XXXVII - Répartition des Foraminifères et Algues : Argentré, carrière A.

2°) La carrière B entame un dôme périclinal. Le fond de la carrière montre nettement les surfaces de bancs qui plongent de 45° vers le Sud-Ouest. Les prélèvements ont été effectués sur le front de taille nord-est, de la base vers le sommet de la série (37 échantillons). La direction des couches varie de N.60° à N.90° E; les bancs sont puissants, de 1 à 2 m sans stratification visible.

La roche fraîche est noire, crinoïdique, très fossilifère. G. DELEPINE (1930) signale dans cette carrière "Zaphrentis konincki M.E.H, Siphonophyllia cylindrica (SCOULER), Caninia subibicina MAC COY, Lophophyllum cf. tortuosum (MICH.), Lophophyllum sp. Ce sont des genres et espèces du Tournaisien supérieur Z2-C1 et du Viséen inférieur C2-S1 de Belgique et du Sud-Ouest de l'Angleterre". Les Brachiopodes sont abondants : Spiriferidae, Daviesiella llangollensis DAV., des Productidae ; de très nombreux Lamellibranches, entre autres Conocardium hibernicum SOWERBY (C. BABIN, 1966), des Gastéropodes (Bellerophon, Euomphalus ...).

a) Etude pétrographique

Les mêmes types de calcaires que ceux décrits dans la carrière A ont été retrouvés :

- le calcaire organoclastique, de grain variable suivant la nature des organoclastes. Les niveaux crinoïdiques sont grossiers (éch. 15) ; les zooclastes sont, en outre, des radioles d'Echinides, des tests d'Ostracodes, des Foraminifères et les phytoclastes sont représentés par des éléments de Dvinella CHVOR. Le ciment est spathique et largement cristallisé.

- la micrite noire à Algues est puissante, elle est constituée essentiellement par de nombreux débris tubulaires à paroi complexe comparables au g. Dvinella CH. ou au g. Anthracoporellopsis MASLOV

. des Ostracodes à coquille épaisse dont la couche externe du test est noire
. des Foraminifères rares (Earlandiidae et Plectogyres)
. parfois, quelques éléments crinoïdiques.

Le ciment est microgrenu et peu abondant, les bioclastes étant serrés les uns contre les autres.

- le calcaire à grain fin, à Foraminifères et calcisphères ; le ciment clair est spathique.

b) Micropaléontologie (tableau XXXVIII)

L'association micropaléontologique est en tous points semblable à celle observée dans la carrière A : il s'agit de couches de même âge. Les couches des deux dômes périanticlinaux sont séparées par une faille.

	Echantillons						
	6	14	16	18	19	30	35
Algues diverses	+	+					+
Eotuberitina reitlingerae M. MAKL.			+	+			
Archaesphaera minima SULEIMANOV		+	+	+	+		
Pachysphaera dervillei C. et L.	?	?	?	?			
Earlandia vulgaris var. vulgaris R. C. et R.		+		+	+		
Earlandia vulgaris var. minor R. C.			+	+	+	+	+
TEXTULARIIDAE				+	+		+
Palaeospiroplectammina diversa (N. TCHERN.)	+			?	?	?	
Plectogyra	+	+	+	+	+	+	+
Plectogyra bradyi MIKH.				+			

TABLEAU XXXVIII - Répartition des Foraminifères et Algues : Argentré, carrière B.

C - LOUVERNE

Le calcaire carbonifère a été largement exploité au Sud-Est de Louverné, en bordure de la voie ferrée Paris-Laval. Les carrières sont actuellement abandonnées et partiellement noyées, de telle sorte que l'analyse séquentielle de toute la série du calcaire n'a pu être effectuée.

Les excavations étudiées sont celles des Bas-Gravus et des Aumeunes.

- Carrière des Bas-Gravus -

On accède à la carrière des Bas-Gravus par un chemin de terre qui part du GC 31, en direction du Sud-Ouest. Le calcaire est noir, traversé par de nombreuses veines de calcite ; les bancs de 0,30 à 2 m de puissance sont hachés de diaclases. La direction des couches est N.115° E, le pendage varie de 45° SO à 80° SO, il est parfois difficile à mesurer lorsque les bancs sont massifs. Les macrofossiles sont, pour la plupart, de très grands Caninia qui se rencontrent en abondance vers le sommet de la série entaillée par cette carrière. La puissance du calcaire exploité est d'une soixantaine de mètres (fig. 64).

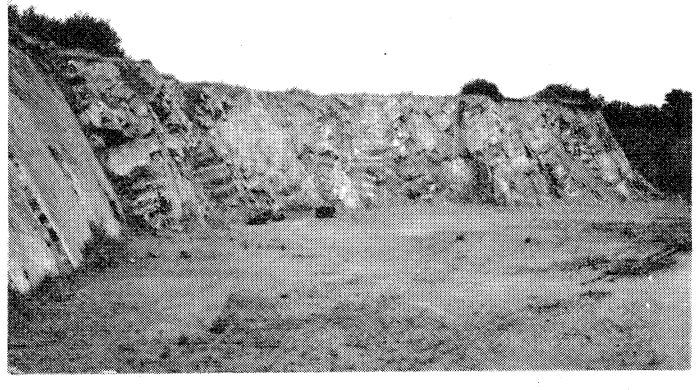


Fig. 64 - Carrière des Bas-Gravus.

1°) Etude pétrographique

Le faciès est très monotone. Il s'agit :

- soit de calcaires organoclastiques (5, 6) grossiers : rudites ou arénites à gros grain renfermant des fragments de Crinoïdes, d'Algues (Dvinella, Anthracoporellopsis), des Ostracodes, des Foraminifères. Le

ciment est constitué de calcite microcristalline de teinte claire ou sombre.

- soit de calcaires à ciment formé de petits cristaux spathiques avec chondroïdes et petits éléments spathiques recristallisés.

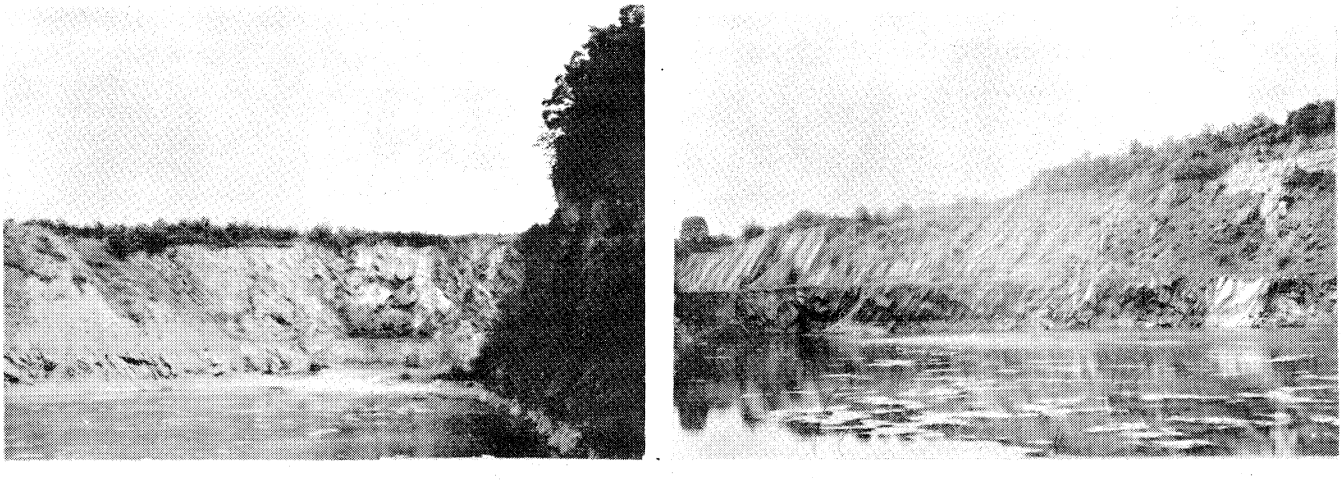
Des phénomènes d'étirement et de recristallisation les affectent très souvent et les bioclastes ne sont pas reconnaissables.

2°) Etude micropaléontologique

L'association faunistique est pauvre : Earlandiidae et Plectogyra. Les calcisphères sont recristallisées et Pachysphaera dervillei C. et L. n'a pu être déterminée avec certitude.

- Carrière des Aumeunes -

La carrière des Aumeunes se situe au Nord-Ouest de la gare de Louverné. Elle est actuellement abandonnée et, en partie, remplie d'eau ; par suite, le front de taille sud-est est le seul accessible (puissance observée : 37 m, échantillons récoltés : 80) (cf. fig. 65).



Front de taille sud — Front de taille nord

Fig. 65 - Carrière des Aumeunes.

La direction des couches est N. 120° E, le pendage de 55° SO. Les bancs les plus inférieurs ont une puissance de 30 à 60 cm, ils sont souvent séparés par de petits lits schisteux de 10 à 12 cm qui peuvent être

considérés comme des joints. La roche est à grain fin, de couleur bleu-noir (éch. 53 à 113). La partie moyenne du front de taille est constituée par un calcaire massif, surmonté par une véritable lumachelle à Brachiopodes (Spiriferacea) et Polypiers (114, 115). Des schistes gréseux rouges altérés reposent en discordance sur ce calcaire et correspondent à un remplissage de fissure par des sédiments d'âge présumé stéphanien. Les bancs suivants sont des calcaires, de faible puissance, de couleur noire et riches en Brachiopodes à test de calcite blanche (119 à 127). Le calcaire redevient massif et apparaît hétérogène à l'œil nu, pseudoolithique. Il est de couleur gris clair (128 à 135), quelques plans de stratification sont néanmoins visibles dans cet ensemble. Sur le front de taille nord-ouest, correspondant à un palier plus inférieur de l'exploitation , sans qu'il soit possible d'y accéder, on peut reconnaître,par la couleur et l'allure de la stratification, le calcaire lité en petits bancs de couleur sombre et le calcaire massif de couleur grise.

1°) Etude pétrographique

Quatre types pétrographiques plus ou moins différenciés peuvent être distingués dans cette série :

a) calcaire organoclastique grossier : il est constitué d'éléments figurés, disséminés dans un ciment de calcite spathique,clair , à cristaux bien individualisés. Les éléments figurés sont :

- . des fragments de Crinoïdes
- . des radioles d'Echinides (type morphologique Echinus)
- . des fragments de thalles de Koninckopora inflata (de KON.) ou des phytoclastes roulés dont la masse est formée de calcite cryptogrenue dans laquelle on peut reconnaître des tubes spathiques
- . des Foraminifères : Plectogyres, Archaediscidae, Ozawainellidae, Tournayellidae
- . des endoclastes de calcite spathique et de calcite cryptogrenue ; ces derniers ont des contours quelconques, parfois déchiquetés.

b) calcaire microorganoclastique : Le ciment est constitué par de la calcite spathique à petits cristaux (30 - 40 μ). Il n'est pas prédominant, mais forme seulement un liant entre les éléments. Ces derniers sont essentiellement des chondroïdes à contours arrondis ou effilochés, en association avec des débris spathiques de petite taille. Les calcisphères sont présentes.

c) calcaire grumeleux : Ce calcaire est formé par des grumeaux (240 μ) de calcite cryptogrenue enrobés dans un ciment de calcite grenue (cristaux de l'ordre de 100 μ) peu abondant. Les chondrolithes sont

très souvent jointifs, de forme irrégulière et une structure cellulaire a pu être décelée dans certains d'entre eux. Parfois, en particulier vers le sommet de la série étudiée, on peut observer de petites pelotes formées par des tubes enroulés. Ces chondrolithes doivent correspondre à des phytoclastes, étant donné leur forme et leur organisation. C. MONTY (1963, p. B 95) signale en effet que de "très nombreux phytoclastes perdent leurs caractères morphologiques lors de la diagénèse et sont fréquemment assimilés à des "pseudoolithes" et rappelle que K. H. WOLF (1962, p. 246) avait déjà dénoncé cette cause d'erreur.

d) calcaire pseudoolithique . A la partie tout à fait supérieure de la série envisagée, le calcaire est formé de corpuscules ovoïdes à diamètre médian de 45 μ, réunis par un ciment de calcite grenue spathique dont le grain moyen est de 65 μ. Il apparaît comme un terme épuré du calcaire grumeleux. On peut penser ici, comme le signale H. PIRLET (1963, p. M 12), dans le Viséen supérieur du bassin de Namur, que ces éléments allongés sont des structures algaires. D'ailleurs, de petits tubes coupés longitudinalement ou transversalement, sont visibles sur certains corpuscules.

2°) Analyse séquentielle (fig. 66)

La série virtuelle locale s'établit comme suit :

- terme de base : calcaire organoclastique grossier
- complexe supérieur : . calcaire microorganoclastique
  . calcaire grumeleux à phytoclastes
  . calcaire pseudoolithique.

Il a paru indispensable de grouper les deux termes supérieurs, car ils passent facilement de l'un à l'autre, les pseudoolithes représentant des phytoclastes roulés. Le terme de base est net et ravine très souvent les bancs inférieurs. Cette série virtuelle est comparable à celle déterminée par H. PIRLET (1963, id. op.) dans le Viséen supérieur du bassin de Namur.

En fonction de cette série virtuelle, il a été possible de différencier cinq séquences.

- La première séquence débute par un banc puissant de 50 cm de calcaire organoclastique grossier (53) dont les éléments figurés ont une dimension moyenne de 500 μ. Les chondroïdes ont un grain moyen de 300 μ. Le ciment spathique présente des cristaux de l'ordre de 100 μ. Ce terme est suivi par 50 cm de calcaires microorganoclastiques à chondroïdes de 80 à 100 μ. Les débris spathiques sont plus grands (150 μ). Les cristaux du ciment peu abondant ont une dimension de 20 μ. La roche apparaît sombre (54, 55, 56).

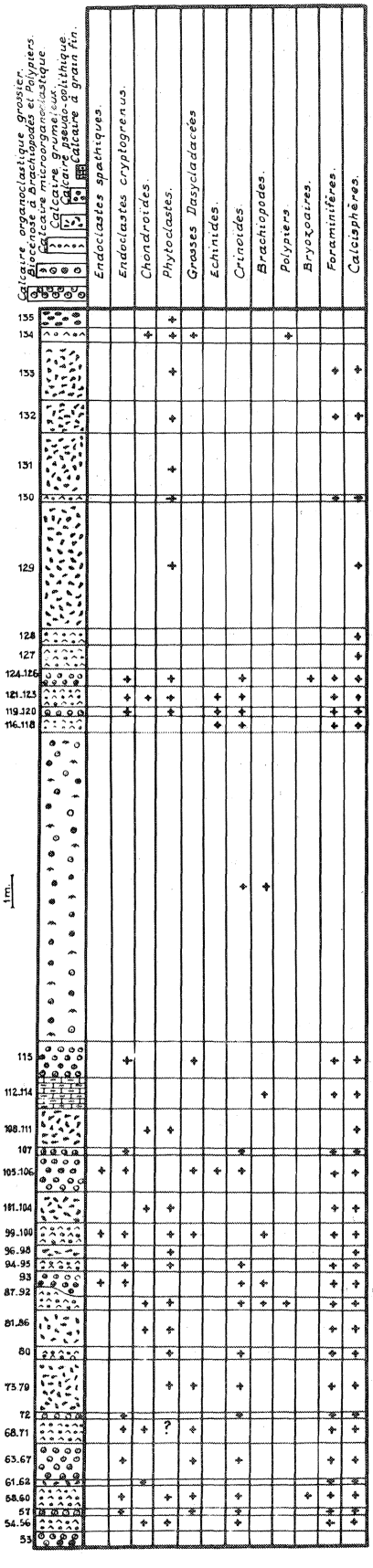


Fig. 66

LOG PETROGRAPHIQUE

Louverné

Carrière des Aumeunes

- La deuxième séquence débute par 20 cm de calcaire organoclastique grossier (57) dont les éléments figurés sont de grande dimension (le premier centile est égal à 2000μ) (pl. 11, fig. 2). Il s'agit de débris crinoïdiques, de sections de Koninckopora inflata (de KON.), de nombreux Foraminifères (Archaediscidae, Plectogyres) associés à des chondroïdes à contours arrondis ou effilochés (140μ à 500μ). La grandeur des cristaux du ciment est variable (100μ à 200μ). Viennent ensuite des calcaires microorganoclastiques (58, 59, 60) sur 80 cm, riches en chondroïdes, avec de nombreux Archaediscus. La partie terminale de la séquence (61, 62 = 20 cm) est constituée de calcaire cryptogrenu en grandes plages de forme irrégulière ; dans ces amas, on distingue avec difficulté une certaine zonation, des corpuscules plus sombres (chondroïdes en puissance) et des sections circulaires, ou allongées, de calcite spathique. Par endroits, le bord des plages cryptogrenues s'effrite et libère des chondroïdes qui paraissent ici être, sans hésitation possible, des phytoclastes. Des calcisphères y sont associées. Les différents amas algaires sont séparés par de la calcite spathique qui, au cours de la lithification, a dû cristalliser dans les vides.

- La troisière séquence commence par un calcaire organoclastique grossier (éléments de 1500μ : éch. 63, 64, 65, 66, 67. (Puissance : 1,20 m). Les fragments de Koninckopora inflata (de KON.) sont nombreux, ainsi que les Foraminifères (Tournayellidae : Lituotuba ? gravata CONIL et LYS, Ozawainellidae, Plectogyres) ; les endoclastes de calcite cryptogrenue sont ici bien nets, roulés et atteignent une dimension de 1200μ. Le ciment de calcite spathique est formé de grands cristaux (140-150μ). Les échantillons 68, 69, 70, 71, 72 (puissance : 0,80 cm) sont constitués, en majeure partie, par des phytoclastes, des débris fins de K. inflata, des calcisphères, des Foraminifères. Les sédiments sont mal classés. Le complexe supérieur de la série virtuelle est bien représenté ; les échantillons 73, 74. 75, 76, 77, 78, 79 (puissance : 1,50 cm) sont des calcaires à phytoclastes, calcisphères, Foraminifères uniloculaires (Eotuberitina) et quelques très rares Foraminifères pluriloculaires. On voit ensuite quelques récurrences microorganoclastiques (éch. 80, 87, 89, 90, 91), à ciment riche en phyllites ; puis viennent les calcaires à phytoclastes plus ou moins jointifs (éch. 81 à 86).

- La base de la quatrième séquence apparaît nettement sur le terrain, car le calcaire organoclastique de base (92, 93) ravine la séquence précédente ; il présente les mêmes caractères que ceux déjà décrits. On observe ensuite un calcaire microorganoclastique (94, 95), puis un calcaire à amas algaires jointifs (97, 98) (pl. 11, fig. 3), semblable aux niveaux 61 et 62 de la séquence 2. On remarque la désagrégation du thalle en phytoclastes. De nouveau, se situent des intercalations de calcaire microorganoclastique, à phytoclastes très denses, associés à des débris spathiques (99,

100). Les Algues remaniées constituent la plus grande partie du sédiment (101 à 104) avec présence de petites balles algaires ; des fragments d'Orthriosiphon JOHNSON et KONISHI (1956) ont été reconnus.

- La cinquième séquence débute par un gros banc (105) (puissance : 1,20 cm) organoclastique très grossier (grain moyen = 1400μ, premier centile = 2000μ) ; il est constitué des éléments déjà observés : Crinoïdes, radioles d'Echinides, fragments de thalles de Koninckopora inflata (de KON.), de phytoclastes, de Foraminifères pluriloculaires. Le ciment est spathique, très clair. La partie supérieure de ce banc (106) contient une plus grande quantité de phytoclastes et de nombreuses calcisphères. Puis la sédimentation est algaire, remaniée en phytoclastes avec des traces d'Orthonelles. Le ciment est dolomitique (108, 109, 110, 111). Les niveaux 112, 113, 114 se présentent sur le terrain en petits bancs noirs qui se débitent en plaquettes, ou qui sont zonés. Ils sont riches en phyllites, en séricite en particulier. Ils renferment des Foraminifères, des débris spathiques et de nombreux phytoclastes. Le calcaire est riche en argile.

- La base de la sixième séquence est formée par un calcaire organoclastique bien classé (115) (premier centile : 1000μ) ; aux bioclastes déjà décrits dans ce microfaciès s'ajoutent des endoclastes cryptogrenus de petite taille (moyen = 175 à 200μ). Ce calcaire comprend une zone très riche en Spiriferacea et en Polypiers, véritable biocoenose. La succession des termes suivants est composée de calcaires organoclastiques argileux riches en matière organique (116, 117, 118) ; puis les calcaires, toujours organoclastiques, sont plus lavés et le ciment est clair (119, 120). Le pourcentage des phytoclastes augmente dans les niveaux supérieurs (121, 122, 123). La sédimentation se poursuit par des calcaires organoclastiques grossiers (125, 126) à grands fragments algaires : K. inflata (de KON.), Girvanella cf. ducii WETHERED et nombreux Spiriferacea. Les couches suivantes (124 à 134) sont des alternances de calcaires à phytoclastes prédominants simulant des pseudoolithes et de calcaires microorganoclastiques ; les seuls zooclastes sont des Foraminifères uniloculaires et des calcisphères. Les bancs à Algues sont plus massifs (40-50 cm) que les biospathárénites (15 cm). Cette dernière séquence est donc complexe, elle annonce l'établissement d'une sédimentation uniquement algaire. Les bancs massifs qui forment les parois sud-ouest de la carrière sont pseudoolithiques ; les pseudoolithes ont une dimension moyenne de 450μ ; aucune structure ne peut être décelée, le ciment est formé de calcite en grains isodiamétriques de l'ordre de 65μ.

L'ensemble du dépôt étudié est bioclastique : les éléments essentiels sont des Algues de l'ordre des Chlorophyta et particulièrement des Dasycladaceae. Le milieu de sédimentation était donc de faible profondeur,

oxygéné et soumis à l'action de courants susceptibles de classer, par intermittences, les bioclastes.

Les séquences dénombrées dans cette carrière ne peuvent être étendues aux autres points du bassin : leur répétition traduit des récurrences de faciès.

3°) Etude micropaléontologique (tableau XXXIX)

La série envisagée est caractérisée par :
- la présence de Koninckopora inflata (de KON.) dès la base de la série,
- la présence d'Archaediscus convexus GR. et LEB., d'Archaediscus à nodosités,
- le grand développement des Archaediscus.

	Zone V																		Zone VI		
	57	58	59	60	63	64	66	67	71	72	85	87	95	103	105	113	115	118	125	126	134
Koninckopora inflata (de KON.)	K	K		K	K		K			K				K			K			K	K
Algues diverses			+		+			+												+	
Eotuberitina reitlingerae M. MAKL.	+																				
Archaesphaera minima SUL.			+				+	+				+	+				+	+			
Pachysphaera dervillei C. et L.	V	V				V													V		
Earlandia vulgaris var. vulgaris R.-C. et R.						V													V		
Earlandia vulgaris var. minor R.-C.	+			+	+	+	+							+							
Glomospira					+																
Glomospirella					+																
TOURNAYELLIDAE								+													
Lituotubella glomospiroides var. magna R.-C.					?									?	?			+			
TEXTULARIIDAE	+				+		+	+		+		+		+					+		
cf Palaeotextularia lipinae C. et L.								+													
Tetrataxis					+							+				+	+				
ARCHAEDISCIDAE	A		A	A	A		A	A	A	A	A			A	A	A					
Archaediscus	A com.		A	A com.			A	A						A	A	A					
Archaediscus krestovnikovi R.-C.	A		A	A												A					
Archaediscus krestovnikovi R.-C. var. piesis C. et L.															A						
Archaediscus karreri BRADY				A										A		A					
Archaediscus convexus var. convexus GR. et LEB.				C										?							
Archaediscus à nodosités type oscillant							C	C				C									
Plectogyra	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Plectogyra exelikta var. exelikta C. et L.	K	K																			
Plectogyra exelikta var. ampla C. et L.								C													
Plectogyra agathis C. et L.					+																
Plectogyra spira C. et L.																			S		
Eostaffella	V		V										V		V		V	V		V	
Mediocris							V														

TABLEAU XXXIX - Répartition des Foraminifères et Algues : Louverné, Les Aumeunes.

Le stade d'évolution des Archaediscus permet un rapprochement certain avec le V_2 b de Belgique. La présence de Plectogyra spira C. et L., espèce caractéristique du V_3 a de Belgique, fait penser que la sédimentation

calcaire a pu ici se poursuivre pendant la période correspondant à la partie inférieure du Viséen supérieur. La base de la carrière correspond donc à la zone V de l'échelle stratigraphique locale et une zone VI peut être distinguée au sommet de la série.

D - CHANGE

Les environs de Changé ont fait l'objet de descriptions détaillées de D. OEHLERT (1910) ; c'est une région particulièrement intéressante parce qu'elle présente sur une surface restreinte les principaux faciès du Carbonifère inférieur. Mais les contacts entre les différents faciès sont souvent tectonisés, ce qui a pu entraîner des erreurs dans la chronologie relative des divers dépôts lorsque ce morcellement a été négligé.

1°) Faciès de transition du Culm inférieur au Calcaire de Sablé

La route de Saint-Jean-sur-Mayenne à Changé, bordant la rive droite de la Mayenne, présente des affleurements entamant la bande méridionale du Culm inférieur et les calcaires qui lui font suite. Le Culm étant très réduit et son passage au calcaire n'ayant été observé qu'en ce point, j'ai réservé sa description au chapitre concernant le Calcaire de Sablé.

Le Culm inférieur débute par un affleurement de blaviérite visible dans une carrière abandonnée ; au-dessus on observe un poudingue à éléments gréseux et ciment ferrugineux. Puis la végétation masque la suite de la série ; une deuxième petite carrière permet,de nouveau,d'étudier les strates carbonifères. La succession est la suivante :

- Sur 3 mètres, on note le développement d'une roche blanchâtre correspondant à une roche vitreuse surmicacée, ayant tous les caractères de la blaviérite (éch. CH 1, CH 4) : le fond est microquartzeux, la séricite est très abondante,disposée en longues traînées parallèles, quelques cristaux de biotite et de calcite sont disséminés.

- Les strates ultérieures, sur 3,10 m, sont de couleur noire ou grise et présentent une schistosité grossière (éch. CH 6 à CH 14). La roche est, en grande partie, microquartzeuse, mais apparaît surchargée en calcite. La matière organique, en minces filonnets, est abondante. La forme de certains grains de quartz et de certains îlots microquartzitiques attire l'attention par leur forme : les sections sont circulaires, ou allongées, avec des bords parallèles. Le quartz est bordé de chlorites qui pénètrent dans les quartz. Par leur densité, leur allure générale et la présence d'un

canal central en partie masqué par un remplissage de chlorites, on peut affirmer qu'il s'agit de spicules de Spongiaires très recristallisés. Ces roches sont des spongolithes.

- Ravinant ces sédiments, affleurent ensuite des calcaires francs de teinte foncée, avec intercalations de silexites beiges (éch. 15 à 33). Ces calcaires sont organoclastiques. Ils sont constitués d'un ciment de calcite parfois microgrenue, parfois spathique avec corpuscules bioclastiques (fragments de Crinoïdes, de radioles d'Echinides, de tests de Bryozoaires, d'Archaesphaera dont le test est rempli de calcite sphérolitique. Les silexites ne présentent aucune structure organique.

- Un accident tectonique ramène ensuite la blaviérite à l'affleurement; elle est altérée. Un échantillon prélevé à cet endroit a été transmis à Mme ESTEOULE qui a décelé de la kaolinite associée à de la séricite (J. ESTEOULE-CHOUX, 1967, p. 57).

- Les lithotopes suivants sont affectés d'une schistosité grossière, les phyllites micacées et chloriteuses sont disposées suivant les plans de cette schistosité ; la calcite est en cristaux épars, le fond de la roche est microquartzeux. Mais, comme cela avait été observé dans la série relevée avant la faille, les îlots quartzeux peuvent être rapportés à des spicules d'Eponges, fortement recristallisés. Cette succession de sédiments correspond à la répétition, par suite de faille, des termes étudiés dans la zone située avant l'accident tectonique.

- A partir de ce point les affleurements sont très discontinus et il n'a pas été possible de poursuivre le levé séquentiel, ni même de reconnaître les strates suivantes.

2°) Carrière Saint-Roch

a) Description de l'affleurement

La carrière Saint-Roch est située à l'Ouest de Changé, en bordure de la route de Changé à La Baconnière. Elle est actuellement abandonnée. La partie supérieure de la série mise à jour vient buter par faille contre la Grauwacke à Paléchinides. Le front de taille ouest met en évidence des calcaires lités en bancs d'épaisseur variable, à cassure esquilleuse d'aspect grenu. Le front de taille nord de direction N. 120° E, qui est le plus étendu, montre sur une grande partie de sa longueur, des petits bancs d'une roche d'apparence homogène, presque noire, très dure, se débitant en parallélipipèdes avec des cassures très franches et des arêtes coupantes. Les surfaces de ces bancs de faible puissance (18 - 30 cm) constituent de grands plans inclinés régulièrement vers le Sud-Ouest, affleurant largement, la direction de

l'exploitation étant celle de la direction des bancs. Dans la partie orientale de ce même front de taille, la structure est compliquée par un pli dont l'axe en s'abaissant et en se tordant, se dédouble en deux unités qui buttent par faille l'une contre l'autre à l'endroit de la virgation. Cet accident tectonique affecte les mêmes couches que celles observées dans la partie occidentale du front de taille nord (fig. 67). A l'Est de l'accident, l'abattage atteint, sous les niveaux à grain fin qui représentent une épaisseur de 1,20 m des calcaires lités semblables à ceux qui sont visibles sur le front de taille ouest.

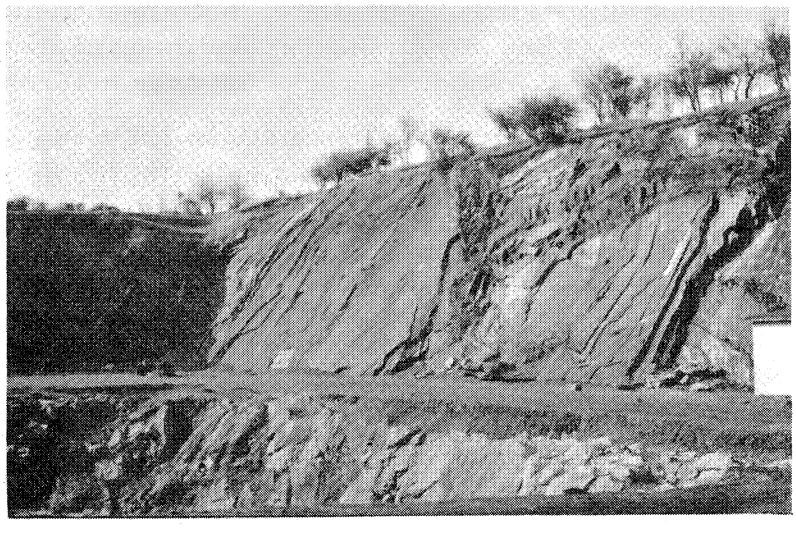


Fig. 67 - Carrière Saint-Roch, Changé ; Spongolithes.

b) Etude pétrographique

Dans la série entamée par la carrière Saint-Roch, il est possible de reconnaître plusieurs types de sédiments :

- des calcaires organoclastiques à Foraminifères de grande taille (Plectogyres, Archaediscidae, Tetrataxis) associés à des radioles d'Echinides, à des débris de Crinoïdes, à des fragments de tests de Brachiopodes.
- des calcaires à grain fin, à délit schistoïde, argileux, dégageant souvent une odeur fétide sous le choc du marteau.
- des spongolithes (A. P., 1963) ou roches à grain fin et à cassure parallélipipédique, affleurant au Nord de la carrière et à l'entrée de celle-ci, c'est-à-dire au Sud et à un niveau stratigraphique plus élevé.

- Les calcaires organoclastiques. Il s'agit à l'œil nu, d'un

calcaire gris-bleu présentant,disséminées dans l'ensemble de la roche, des facettes spathiques correspondant à des entroques. Les bancs sont très souvent épais, particulièrement vers le sommet de la série étudiée. Ce calcaire organoclastique se présente sous deux aspects :

α. le calcaire organoclastique,à grands éléments crinoïdiques de grain variable. La dimension de certains bioclastes peut atteindre 2 mm (Bryozoaires, tests de Brachiopodes, radioles d'Oursins type Echinus ; mais dans le fond de la roche, se rencontrent des organoclastes et des endoclastes à grain moyen atteignant 250μ, emballés dans un ciment de calcite microcristalline riche en argile et matière organique. Les Foraminifères sont nombreux (Endothyridae, Earlandiidae, Tetrataxis),associés à des calcisphères. En conclusion ; la roche est très hétérogène.

β. le calcaire organoclastique fin,bien classé. Les organoclastes sont sensiblement tous de la même taille (grain moyen = 170μ à 200μ). Les Foraminifères (Archaediscidae, Earlandiidae) sont abondants. Le ciment peut être spathique, ou microcristallin.

- Les calcaires argileux (éch. 17, 12, 100, 111, 113, 33, 39)
Ce sont des calcaires extrèmement fins, de couleur bleu-noir lorsque la cassure est fraîche et gris-bleu à l'altération. Ils présentent très souvent un délit schistoïde. Le fond de la roche est formé de calcite microcristalline. De très nombreux quartz de taille variable suivant les échantillons (150μ à 30μ) sont disséminés dans la masse du sédiment, associés à quelques micas (muscovite). Mais l'élément caractéristique est la présence de lits phylliteux, orientés suivant la stratification, abondants,tant dans les échantillons des séquences inférieures où ils forment de véritables amas de plusieurs millimètres de longueur, que dans les échantillons des séquences supérieures où les phyllites forment des traînées de 150μ. Le calcaire s'épure graduellement perdant, de bas en haut, éléments phylliteux et matière organique. La microfaune est représentée par des Archaesphaera silicifiées.

- Les calcaires crinoïdiques à ciment microcristallin (79, 78, 77)
Les parties supérieures des calcaires organoclastiques des séquences 8 et 9 sont des calcaires, en grande partie constitués de calcite microcristalline dans laquelle se trouvent épars de grands fragments crinoïdiques (1000μ à 1200μ), des calcisphères et Eotuberitina reitlingerae M. MAKL.

- Les spongolithes Dans ce niveau, considéré comme entièrement calcaire, j'ai découvert la présence de spongolithes (A. P., 1963). Ces roches n'avaient pas encore été signalées dans le Viséen, dans lequel on ne connaissait que des spicules isolés dans les cherts du calcaire dinantien de Belgique.

La constitution pétrographique est constante. Le sédiment est formé presqu'entièrement de spicules de Spongiaires et correspond ainsi à la définition des spongolithes selon L. CAYEUX (1897). A ces spicules sont associés,en quantité plus ou moins importante,de la calcite granulaire et des micas rassemblés dans un fond argileux. En coupe perpendiculaire à la stratification, on observe les sections circulaires de spicules de Spongiaires formés de quartz microgrenu. Le canal, en général visible, est rempli du sédiment interstitiel. Cependant, il peut être masqué par un remplissage de silice secondaire, ou au contraire, très élargi par dissolution de la silice. La matière organique, extrèmement abondante dans certains bancs, se présente en particules lamelleuses,disposées à plat suivant le plan de stratification ce qui donne à la roche un aspect zoné. On note la présence de sections ovales très allongées d'éléments organisés à paroi perforée, remplis de matière charbonneuse qui paraissent pouvoir être rapportés à des Algues et d'un exemplaire de Meyenella DAVIS cf. meyeni DAV. dont l'attribution aux Radiolaires n'est pas démontrée. En section parallèle à la stratification, les coupes longitudinales de spicules dominent (pl. 11, fig. 4). Elles ont un diamètre d'environ 30 μ et des longueurs allant de 300 μ à 600 μ. Aucun réseau squelettique n'a été observé. La majorité des mégasclères apparaît semblable au type monaxone ; seuls, de très rares éléments sont bifurqués, ou légèrement courbes. L'examen d'une série de plaques minces montre,de la base au sommet des bancs,un certain granoclassement : l'abondance, la grosseur des spicules et la quantité des particules organiques diminuent de bas en haut. Ce fait permet d'affirmer qu'il y a eu transport et décantation du matériel transporté. Dans ces conditions, il est difficile de rapporter les spicules à un groupe déterminé de Spongiaires puisqu'il peut s'agir de fragments de mégasclères d'Hexactinellidés aussi bien que de Tetractinellidés, si l'on élimine les Monactinellidés, étant donné la taille des mégasclères.

c) Analyse séquentielle (fig. 68)

Il est possible d'observer que le calcaire organoclastique ravine parfois le calcaire argileux ; il représente donc le début d'une séquence sédimentaire. En fonction de ces observations, la séquence standard (H. PIRLET, 1963, p. M 20) comparable à la séquence virtuelle de A. LOMBARD (1949) s'établit comme suit, de bas en haut :

- calcaire organoclastique
- calcaire argileux fin à calcisphères.

Les spongolithes ne sont pas constants dans toutes les séquences et doivent être considérés, du point de vue séquentiel, comme un terme des calcaires argileux,enrichi en silice et silicates. Ils sont d'ailleurs interstratifiés dans ces derniers. Il a été possible de dénombrer 9 séquences jusqu'à une faille qui tranche les couches au Sud sur le front de taille ouest. Les

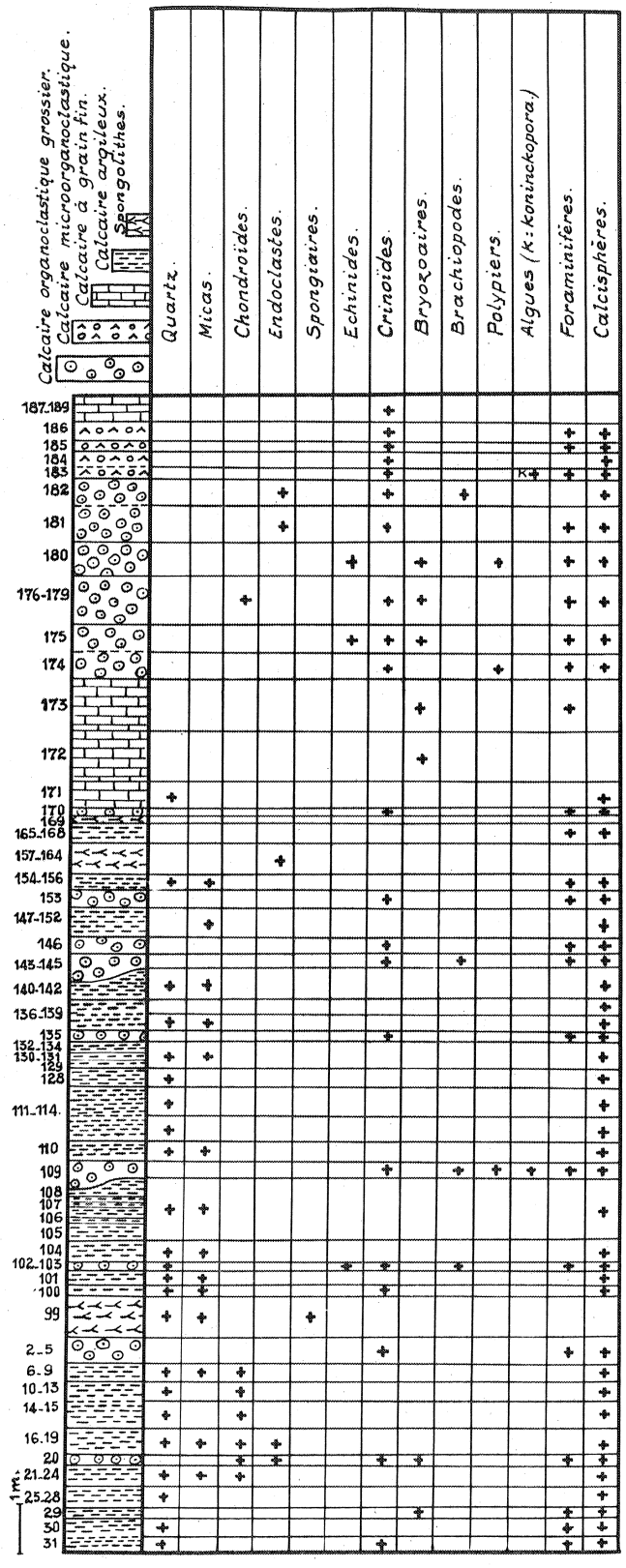


Fig. 68

LOG PETROGRAPHIQUE

Changé

Carriére Saint-Roch

séquences 8 et 9 sont entièrement organoclastiques.

Accès ouest de la carrière Saint-Roch

Des bancs gréseux et schisteux surmontent les calcaires de la carrière Saint-Roch dans un passage donnant accès à la partie ouest de la carrière. Ils présentent le phénomène de fauchage des couches (D. OEHLERT, 1911, p. 654). De bas en haut, on observe la succession suivante (fig. 69) :

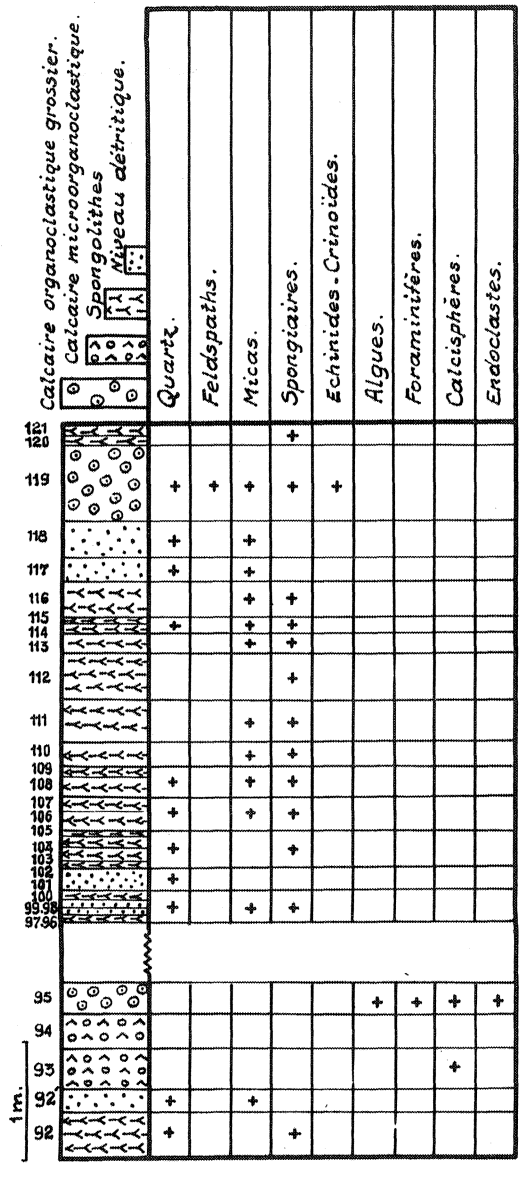


Fig. 69 - Log pétrographique, accès ouest de la carrière Saint-Roch.

- une roche verte à cassure lisse, conchoïdale, formée d'un fond de silice cryptocristalline et de chlorites (92')

- des calcaires gris-noir à entroques. Des calcisphères silicifiées sont visibles dans un ciment de calcite finement grenue (93, 94). Un niveau organoclastique grossier apparaît ensuite : les bioclastes sont des fragments de Crinoïdes et des Foraminifères. A ces éléments organiques, sont associés des endoclastes (95).

Après une discontinuité, se succèdent :

- des spongolithes (97, 96) ; ces roches sont poreuses (96), ou à grain extrèmement fin et au toucher onctueux (97). Les spicules sont entièrement recristallisés à l'état de quartz microcristallin, le fond de la roche est siliceux et chloriteux. Les spicules diminuent et la roche verdâtre, au toucher onctueux est constituée uniquement de ciment cryptocristallin et chlorites (99, 98). Les spongolithes réapparaissent (100, 104, 106) ; la roche à spicules peut se charger en éléments détritiques d'origine éruptive (apatite, biotite) (107, 108, 109, 111, 112, 115). Elle est dense, de couleur vert sombre et a un aspect gréseux très fin. La proportion de spicules varie suivant les niveaux, l'échantillon 113 en est particulièrement riche. Puis de nouveau, les roches à grain fin, jaunâtres réapparaissent (117, 118) ; elles se présentent en petits bancs de 5 à 6 cm de puissance. Le fond du sédiment est cryptocristallin ; les phyllites en petites paillettes (séricite, muscovite, chlorites) sont disséminées en grand nombre. La biotite est plus largement développée ainsi que l'apatite. On y rencontre quelques quartz et cristaux de calcite épars.

Vient ensuite un banc calcaire à grosses tiges d'Encrines (119). Le microfaciès est hétérogène : on peut y observer un lit sombre riche en matière organique et en spicules d'Eponges ; le reste de la roche possède, dans un ciment de calcite granulaire, des bioclastes (Encrines, Echinides) associés à des éléments détritiques (feldspaths : albite et biotite en grandes lamelles). La fraîcheur de ces éléments indique un remaniement peu lointain de leur lieu d'origine et leur forme n'est pas compatible avec une origine authigène. Quelques spongolithes sont encore visibles au-dessus de ce calcaire. En contact par faille, affleure la Grauwacke à Paléchinides.

d) Etude micropaléontologique des strates de la carrière Saint-Roch (tableau XL)

Deux associations fossilifères ont pu être décelées :

- une zone caractérisée par le développement des Archaediscidae : Propermodiscus, Archaediscus krestovnikovi R.-C. et R., Archaediscusconvexus GR. et LEB. v. declinatus C. et L. Archaediscus karreri BRADY

(zone III).

- une zone supérieure caractérisée par l'apparition de Koninckopora inflata (de KON.) associée aux Archaediscidae (zone IV).

Dans les deux niveaux, les Plectogyres et les Tetrataxis sont abondants (voir tableau de répartition).

	Zone III							Zone IV	
	20	132	144	146	153	176	182	183	188
Koninckopora inflata (de KON.)								K	
Eotuberitina reitlingerae M. MAKL.		+	+						+
Archaesphaera			+		+	+	+		
Pachysphaera dervillei C. et L.		V	V						
Earlandia vulgaris var. vulgaris R.-C. et R.				V					
Earlandia vulgaris var. minor R. C.		+			+	+			
Tetrataxis					+	+	+		+
Tetrataxis aff. acutus DURK.									+
ARCHAEDISCIDAE		A	A	A	A	A			
Propermodiscus				A					
Archaediscus krestovnikovi R.-C.		A	A		A				
Archaediscus karreri BRADY						A			
Archaediscus convexus GR. et LEB. v. declinatus C. et L.			+	+	+				
Plectogyra	+	+	+	+					
Mediocris		V							

TABLEAU XL - Répartition des Foraminifères et Algues : carrière Saint-Roch, Changé.

3°) Tranchée du château d'eau de Changé

Au Nord de la carrière Saint-Roch, j'ai pu recueillir quelques échantillons dans les déblais d'une tranchée creusée pour faire passer le canal d'écoulement du château d'eau de Changé ; malheureusement, je n'ai pas eu la chance de voir la tranchée ouverte.

Le château d'eau est implanté sur une formation gréseuse. Il s'agit d'un grès feldspathique à ciment chloriteux. Ces caractères le rapprochent des grès du Culm inférieur. Un calcaire à exoclastes est en contact immédiat avec le niveau gréseux. Il remanie des formations calcaires déjà formées. Etant donné sa matrice spathique (C. MONTY, 1963), les exoclastes proviennent de la remobilisation d'un sédiment en voie de consolidation ; ces exoclastes sont arrondis (moyen = 530 μ, premier centile = 720 μ) et sont constitués, pour la plupart, par un calcaire grenu à grain fin, à nombreux éléments de

quartz. Le pourcentage des bioclastes (Crinoïdes) est important. Puis les lithotopes : calcaire organoclastique grossier, calcaire fin argileux décrits dans la carrière Saint-Roch se retrouvent le long de cette tranchée. Les bioclastes sont des Crinoïdes, des Ostracodes, des radioles d'Echinides. Les Foraminifères sont des Plectogyres, des Earlandiidae, des Tournayellidae (Lituotuba ? gravata C. et L., Eotuberitina et quelques Pachysphaera dervillei CONIL et LYS. Cette série représente le V 1a (cf. place stratigraphique du Calcaire de Sablé, zone 2).

4°) Lotissement de La Barberie

Un lotissement récent (1965), La Barberie, a mis à découvert le long d'une route parallèle à la tranchée du château d'eau, mais plus à l'Est, le contact entre des schistes et grès azoïques à ciment chloriteux et une formation essentiellement calcaire à pendage sud-ouest. Cette série est constituée, de haut en bas :

- de calcaires à fond cryptogrenu avec de grands fragments de Crinoïdes, d'Algues (Coelosporella WOOD, 1940 (JOHNSON, 1956, p. 44), des calcisphères et d'Eotuberitina.

- de calcaires à ciment spathique constitués de grands éléments cryptogrenus (plusieurs mm), à structure laminaire interrompue parfois par la présence de tubes à paroi spathique. Ces corpuscules correspondent certainement à des phytoclastes (éléments d'un encroûtement algaire déchiré). On observe, en outre, des entroques auréolés de calcite cryptocristalline (éch. BA 2).

- puis, de nouveau, on retrouve les calcaires crinoïdiques à ciment cryptogrenu avec Algues (éch. BA 3, BA 4, BA 5, BA 6).

- des spongolithes se répètent plusieurs fois (BA 7, BA 9. BA 10, BA 12, BA 14, BA 16), le fond de la roche est calcaire (petits cristaux spathiques de 10 à 20 μ), les spicules ont un diamètre de 50 μ et des longueurs allant de 300 μ à 600 μ.

- un niveau de calcaire organoclastique grossier, proche de la base de la série étudiée, est très intéressant car il contient des fragments de Koninckopora inflata (de KON.), associés à de grands éléments de Crinoïdes et à des endoclastes cryptogrenus. Immédiatement au-dessus, affleurent des spongolithes.

La série calcaire, observable au lotissement de La Barberie, est en contact vers le Sud avec une formation schisto-gréseuse. Ces pélites à délit schistoïde affleurent au carrefour de la route de Saint-Germain-le-Fouilloux et du chemin qui passe au-dessus de la carrière de Saint-Roch. La

direction est N. 100°-110° E. D. OEHLERT (1911) pensait que cette masse schisteuse de 10 à 20 m de puissance séparait la série calcaire de Saint-Roch en deux. Or, suivant le méridien du château d'eau, je n'ai pu retrouvé ces schistes et la série calcaire observée dans la tranchée correspond à la base de celle étudiée dans la carrière Saint-Roch, tandis que la série de La Barberie datant du V 2a correspond à la partie supérieure de la carrière Saint-Roch, elle est en contact tectonique avec le Culm. Un jeu de failles méridiennes et sensiblement directionnelles intervient (cf. schéma structural, fig. 70).

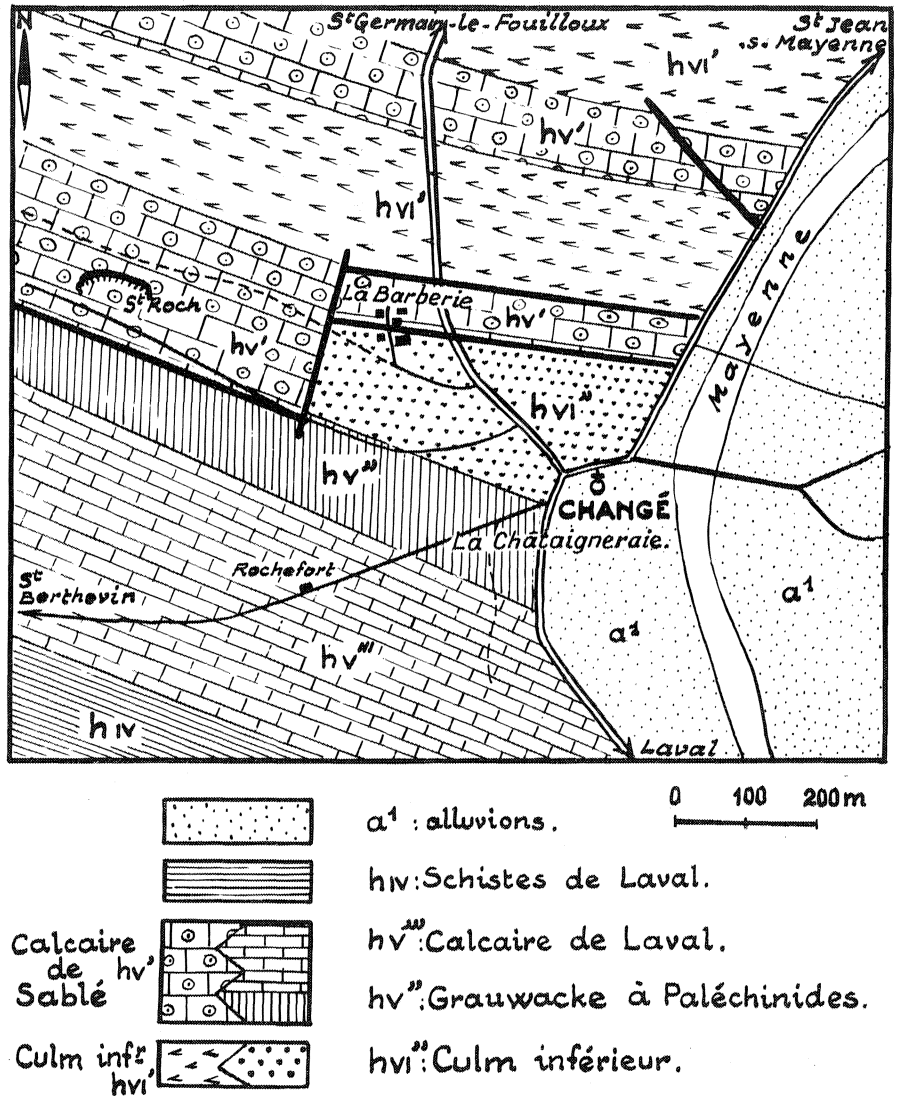


Fig. 70 - Schéma interprétatif de la région de Changé (Mayenne).

La série schisteuse de La Barberie h_{V1}'', passe insensiblement à la Grauwacke à Paléchinides, bien reconnaissable par ses fossiles sur le versant

nord du ruisseau des Berdières (observations récentes dans des fondations de maisons). Les calcaires de La Barberie sont donc en contact tectonique avec une zone schisteuse correspondant à la partie supérieure du Culm inférieur, formant le soubassement de la Grauwacke à Paléchinides. D. OEHLERT signalait en 1910 (p. 13) "que dans la vallée du ruisseau des Berdières, ces deux calcaires (Calcaire de Laval et Calcaire de Sablé) sont séparés l'un de l'autre par une assise de schistes argileux qui passent à leur sommet à une grauwacke très fossilifère servant de base au Calcaire de Laval". L'existence des schistes argileux et de la grauwacke entre le Calcaire de Sablé et le Calcaire de Laval est confirmée par les nouvelles observations, mais l'étude de la microfaune permet des corrélations plus précises qui font du calcaire de La Barberie l'équivalent de la partie supérieure du Calcaire de Sablé (derniers bancs de la carrière Saint-Roch) : les formations sont donc en contact par failles et la structure est plus compliquée que celle décrite par D. OEHLERT. Les conclusions de Y. MILON (1923) sur le contact tectonique entre le Calcaire de Sablé (Saint-Roch) et la Grauwacke sont complétées par la découverte d'un décrochement et d'un autre contact anormal entre le calcaire de La Barberie et le Culm.

CONCLUSIONS GENERALES SUR LE CALCAIRE DE SABLE

I - PLACE STRATIGRAPHIQUE DU CALCAIRE DE SABLE

Le Calcaire de Sablé présente, dans plusieurs coupes et sur une épaisseur suffisante, les caractères d'une sédimentation continue. En suivant les affleurements de proche en proche, il m'a été possible de reconstituer une série dans laquelle les associations de Foraminifères se succèdent de la même façon qu'en Belgique et en Avesnois (R. CONIL et M. LYS, 1964). L'échantillonnage suffisamment serré pour tenir compte de la faible épaisseur des sédiments dans le bassin de Laval comparativement à ce qu'elle est dans le bassin franco-belge permet de penser qu'il s'agit bien d'une formation sans lacune et que l'apparition d'une espèce dans les prélèvements correspond à l'apparition de l'espèce dans l'échelle stratigraphique locale. Les corrélations stratigraphiques ont pu, de la sorte, être établies sur des bases paléontologiques entre la zone étudiée, la Belgique et l'Allemagne (planches hors-texte) : le Calcaire de Sablé s'est déposé depuis le Tournaisien supérieur jusqu'à la base du Viséen supérieur.

Les zones distinguées dans le Calcaire de Sablé sont les suivantes :

Z 1 - (carrières des Rochers, à Argentré, base de la carrière de Port-Etroit à Solesmes)

Calcisphères (Archaesphaera minima SULEIMANOV) et Earlandiidae)
Plectogyres
rares Tetrataxis
quelques Palaeospiroplectammina diversa (N. TCHERN)

Le milieu était favorable au développement des Foraminifères, mais les espèces sont encore peu nombreuses par rapport à la diversité des formes des niveaux supérieurs et la pauvreté de l'assemblage est identique à celui du Tn 3c (Tournaisien supérieur des régions waulsortiennes) de Belgique.

Z 2 - (carrière des Saulneries en Juigné, carrière de Port-Etroit II Solesmes, carrière de Bouessay sur la route nationale 159, base de la carrière des Fourneaux à Saint-Pierre-sur-Erve, carrière de La Péchardière à Auvers-le-Hamon, voie ferrée Sablé-Le Mans VF 65 - VF 30)

Cette zone est caractérisée par l'apparition de Pachysphaera dervillei C. et L. qui, en Belgique, marque la base du Viséen inférieur (V 1a) et se retrouve dans tout l'étage. Pachysphaera dervillei est accompagnée, dès la base, par les Ammodiscidae (Glomospirella, Glomospira) et de façon remarquable par les Ozawainellidae qui apparaissent ici soudainement et de façon précoce. En effet, ils ne sont pas connus dès la base du V 1a belge et restent rares avant l'apparition des Archaediscidae (V 1b). Mais étant indiscutablement caractéristiques du V 1, leur abondance marque nettement la présence de cet étage.

Z 3 - (strates médianes de la carrière des Fourneaux à Saint-Pierre-sur-Erve, voie ferrée Sablé-Le Mans VF 29 - VFO , carrière de Cossé-en-Champagne, vallée de l'Erve entre Saint-Pierre-sur-Erve et Saulges, base de la carrière Saint-Roch à Changé, base de la carrière de l'Epinoyau à Epineux-le-Seguin)

Cette zone correspond à l'apparition des Archaediscidae primitifs, d'abord Permodiscus et Propermodiscus, ensuite Archaediscus krestovnikovi RAUS. -CERN. Cette étape est très importante. Il est curieux de constater que, dans le bassin de Laval comme en Belgique, la famille des Archaediscidae débute par une abondance de Permodiscus et Propermodiscus.

L'apparition des Archaediscidae primitifs caractérise le V 1b, en Belgique (R. CONIL, 1967). Vers le sommet de cette zone, je signalerai un exemplaire typique d'Archaediscus convexus GROZD. et LEBED. var. declinatus CONIL et LYS ; il est important de noter que, contrairement à ce qui a été observé dans les bassins de Dinant et de Namur (R. CONIL et M. LYS, 1964), les Permodiscus persistent dans le bassin de Laval jusqu'à l'apparition d'Archaediscus convexus GROZD. et LEBED. var. declinatus C. et L.

Z 4 - (base de la carrière de Châteauneuf à Juigné, sommet de la carrière de Cossé-en-Champagne, sommet de la carrière de l'Epinoyau à Epineux, base de la carrière de La Foucaudière à Chémeré, sommet de la carrière des Fourneaux à Saint-Pierre-sur-Erve, sommet de la carrière Saint-Roch à Changé).

Cette zone correspond à la zone intermédiaire dont j'avais soupçonné l'existence en mai 1965 (A. P. id. op.). Elle est caractérisée par l'apparition de Koninckopora inflata (de KON.) et la présence d'Archaediscus krestovnikovi RAUS. et CERN., sans Archaediscus convexus var. convexus GROZD. et LEBED. Bien que le développement de Koninckopora inflata (de KON.) soit lié aux conditions écologiques, cette Algue paraît localisée dans le Viséen. En Belgique, elle sert de guide pour repérer la base du V 2a ; de toute façon, elle n'est pas connue à la base du Viséen. Palaeospiroplectammina diversa (N. TCHERN.) est présente. Il est assez exceptionnel de trouver en même temps Palaeo. diversa (N. TCHERN.) et Koninck. inflata (de KON.). En Belgique, la première disparaît peu de temps avant l'apparition de Koninck. inflata. En Allemagne, dans l'anticlinal de Velbert, les deux espèces coexistent très bas dans le V 2a (R. CONIL et E. PAPROTH, 1967).

Z 5 - (Juigné : sommet de la carrière de Châteauneuf. Chémeré-le-Roi : sommet de La Foucaudière. Vaiges : sommet de la carrière de La Massuredière, base de la carrière de Bonne Fontaine. Louverné : partie inférieure de la carrière des Aumeunes)

Cette zone est marquée par la présence de Koninckopora inflata (de KON.), par l'apparition des Cribrostomum à la base de la zone, de Plectogyra omphalota var. minima RAUSER-CERN. et REITL. Archaediscus convexus var. convexus GROZD. et LEBED. apparaît plus tardivement ; la partie supérieure de cette zone est caractérisée par la présence d'Archaediscus à nodosités (ce stade d'évolution des Archaediscidae permet un rapprochement certain avec le V 2b de la Belgique).

Z 6 - (Louverné : partie supérieure de la carrière des Aumeunes. Vaiges : carrière de Bonne Fontaine)

Cette zone se différencie par l'apparition de Plectogyra spira CONIL et LYS et le développement des Archaediscus type globosus C. et L. à nodosités. Plectogyra spira C. et L. est caractéristique du V 3 de Belgique. (R. CONIL et M. LYS, 1967).

Il est intéressant de retrouver, dans le massif Armoricain, les zones de Foraminifères reconnues en Belgique, non seulement parce qu'elles rendent possibles les corrélations à grande distance, mais parce que l'intérêt de la valeur stratigraphique de l'évolution des Foraminifères se trouve confirmé.

Sur la même base, des corrélations stratigraphiques ont été établies avec l'Angleterre : travaux de D. HALLET et R. CONIL (in R. CONIL et M. LYS, 1966 p. B 218) (tableau XLI) et avec l'Allemagne (R. CONIL et E. PAPROTH, 1967 sous presse) (planche hors texte).

Bassin de Laval	Belgique	Angleterre
Z 6	V 3a	S-D 1
Z 5	V 2b	
Z 4	V 2a	S-C 2
Z 3	V 1b	C1-C 2
Z 2	V 1a	C 1
Z 1	Tn 3c	

TABLEAU XLI - Corrélations stratigraphiques entre le bassin de Laval, la Belgique et l'Angleterre.

II - SIGNIFICATION PALEOGEOGRAPHIQUE DU CALCAIRE DE SABLE

La sédimentation du Calcaire de Sablé s'est poursuivie depuis le Tournaisien supérieur jusqu'à la partie inférieure du Viséen supérieur avec des caractères différents suivant le temps et suivant la position géographique du dépôt.

1°) Le Tournaisien supérieur identifié à Argentré et à Solesmes, à flore et faune abondantes mais peu variées en espèces, correspond à une sédimentation bioclastique de zone peu profonde aux eaux bien oxygénées.

A Changé, les calcaires organoclastiques à Crinoïdes, Echinides et Bryozoaires associés à des spongolithes et silexites caractérisent un milieu de sédimentation tout à fait différent : milieu plus calme enrichi en silice, en argile et en détritiques dans certains niveaux.

2°) Le Viséen inférieur (correspondant au V 1a de Belgique) se caractérise par sa stratification en bancs réguliers de 0,80 m à 1,20 m. Il correspond à la définition du Calcaire de Sablé, donnée par D. OEHLERT (1911) dont le type était pris dans les carrières de Port-Etroit à Solesmes. Les sédiments sont organoclastiques grossiers, extrèmement riches en Crinoïdes sous forme d'entroques, en Ostracodes, en Algues (Dasycladaceae) et

renferment de nombreuses formes benthiques (Brachiopodes, Tetracoralliaires, Tabulés, Gastéropodes, Lamellibranches, Trilobites). La richesse en Gastéropodes est en relation avec l'abondance des Algues : les Bellerophontidae devaient être herbivores comme les Gastéropodes dibranchiés actuels (H. et G. TERMIER,1952, p. 389) ; les Euomphalidae, comme les Crinoïdes, étaient vraisemblablement microphages et prospéraient là où les eaux salines contenaient,en suspension, de la matière organique susceptible de leur servir de nourriture (A.W. BOSWER, 1957). Les chondroïdes (inférieurs à 200μ) ont sans doute une origine fécale provenant d'un groupe particulier d'Invertébrés (R.L. FOLK,1962, p. 63) (L.S. KORNICKER, E.G. PURDY, 1957) et leur abondance dans les faciès du V la s'explique par la richesse du bios benthique. Ces caractères existaient déjà au Tournaisien supérieur et sont constants pour toute la base du V la quel que soit le lieu. Les calcaires développés sur de grandes étendues ont dû se déposer dans des eaux chaudes,bien oxygénées,riches en calcium, de faible profondeur (zone sublittorale, plus précisément infralittorale (J.W. HEDGPETH,1957, p. 27; W.C. KRUMBEIN et L. SLOSS,1958) puisqu'ils renferment des Dasycladaceae. Ces dernières, liées au phénomène de photosynthèse,étaient cantonnées dans un intervalle de profondeur de 0 à 50 m (N.M. STRAKOV, 1958, G.Y. CRAIG, 1961) ; les courants dispersaient largement les débris crinoïdiques. Des calcaires semblables ont été étudiés dans le Dinantien de Pologne (S.W. ALEXANDROVICZ et A. SIEDLECKA, 1964), dans le Mississipien de la vallée supérieure du Mississipi (J.S. WILLIAMS,1957). Le ciment de calcite spathique qui réunit les différents corpuscules, essentiellement bioclastiques, provient,d'après G.M. FRIEDMAN (1964), en partie de la dissolution de la matrice d'aragonite et se trouve ainsi précipité dans les espaces interstitiels ; ceci se passe en milieu subaérien. Par contre, il est intéressant de noter que les niveaux riches en Algues présentent un ciment micritique qui, selon les travaux récents de J. L. GEVIRTZ et G.M. FRIEDMAN (1966), se forme dans des conditions de salinité marine normale.

- Au méridien de Bouessay, le synclinal de Solesmes présente au sommet du V la une dominance de biocryptarénites noires,à odeur d'hydrogène sulfuré,caractérisées par la finesse des bioclastes (débris de thalles algaires en prédominance et Ostracodes) et la disposition de ces éléments suivant des plans parallèles aux plans de stratification, sédimentés les uns sur les autres dans une matrice cryptogrenue : ce sont, comme je l'ai suggéré (p. 102), des sédiments peu profonds, formés en milieu calme,pour lesquels la richesse en matière organique fait penser à des bassins stagnants, ou barrés.

L'odeur d'hydrogène sulfuré qui se dégage au choc montre que le milieu devait être plus ou moins réducteur, mais l'existence d'organismes benthiques (Foraminifères et Ostracodes) dans certains niveaux, situe le sédiment dans la zone de dépôts des gyttja (G. WASMUND, 1930) où le benthos

dont les restes se mêlent aux éléments planctoniques, peut encore se développer. Si on compare ce milieu de sédimentation aux conditions euxiniques qui, par suite de la concentration en H_2S, interdisent toute vie benthique au-delà de 120 m vers la côte et 100 m dans la région centrale (H. et G. TERMIER, 1960, p. 242), on est conduit à localiser le dépôt à une profondeur très inférieure, ce qui est confirmé par la présence des Algues qui ne devaient pas pouvoir dépasser, dans une eau chargée de matière organique, la profondeur de 50 m. Ce milieu, peu oxygéné, riche en matière organique, correspondait aux zones "limitées à la partie supérieure du plateau continental et peuplées par les algueraies" (H. et G. TERMIER, 1960, p. 235.)

- A la même époque, à Saint-Pierre-sur-Erve, sur le flanc nord du bassin, les endoclastes cryptogrenus représentent le produit de l'érosion de boues carbonatées déjà indurées, redéposées dans des aires de sédimentation contemporaine, sans transport lointain certes, mais nécessitant cependant (C. J. BRAITHWAITE, 1966) la présence de courants ; le milieu était donc ouvert. La lithification précoce s'effectue dans des conditions semblables à celles qui président à la formation du ciment micritique des niveaux à Algues. L'intervention organique n'est donc pas exclue.

- Dans la région de Changé, le V la n'affleure pas, il est supprimé par faille, dans la coupe de la vallée de la Mayenne.

Au début du Viséen, d'après leurs caractères, les dépôts devaient se répartir de la façon suivante sur le plateau continental à surface ondulée, ou fragmentée lors de la phase bretonne et submergée lors de la transgression dinantienne :

. Vers le Nord-Est du côté de la mer ouverte, dans une zone de faible profondeur aérée, se déposaient des calcaires clairs bioclastiques du type de ceux de Saint-Pierre-sur-Erve sur une épaisseur de l'ordre de 30 m.

. Dans la zone de Sablé plus profonde, se sont accumulés près de 50 m du calcaire typique de Sablé, plus sombre que le précédent mais encore largement fossilifère, ce qui fait supposer une vie benthique importante, dans laquelle l'abondance des Polypiers Tetracoralliaires solitaires indique une profondeur ne dépassant pas 50 mètres : zone quiescente turbide de M. LECOMPTE (1961, 1963).

. Vers Bouessay, le Calcaire de Sablé a un faciès particulier : la teneur en matière organique beaucoup plus élevée donne à la roche une couleur noire; les organismes benthiques (Ostracodes et Foraminifères) sont plus rares et localisés dans certains bancs, les Algues peuvent cependant encore se développer. L'épaisseur et la constitution de ce dépôt le situent dans

une zone calme, à l'abri des courants, relativement profonde et très faiblement oxygénée. Ce biotope paraît correspondre à une zone barrée vers le Nord-Est aux influences du large. La flexure décelée par l'étude du Culm inférieur a dû constituer ce barrage ; vers le Sud-Ouest, le développement du récif de Bouère a confiné le dépôt des sédiments riches en matière organique dans une zone étroite (R.N. GINSBURG et M.A. LOWENSTAM, 1958) et a contribué ainsi à créer le milieu réducteur dans lequel ils ont évolué vers la biocryptarénite de couleur sombre à odeur d'hydrogène sulfuré.

3°) La partie supérieure du Viséen inférieur (V 1b), comme le V 1a, est différente suivant les régions considérées.

- Dans le V 1b, dans la région nord-est (Saint-Pierre-sur-Erve, Cossé) correspondant à la zone de turbulence déjà décelée au V 1a, on reconnaît deux phases de dépôt :

. Phase oolithique et pseudoolithique, à la base de la série.

- A Cossé, les pseudoolithes sont, soit des endoclastes arrondis ou auréolés de calcite cryptocristalline, soit des corpuscules cryptogrenus sans organisation décelable. La précipitation de calcium est nette sur les endoclastes. Les corpuscules cryptogrenus peuvent être assimilés aux grains des bahamites qui sont formés de calcite microcristalline uniforme. Le terme de "bahamites" a été donné par F.W. BEALES (1958, p. 1846) à des calcaires grenus qui ressemblent aux dépôts actuels des bancs des Bahamas décrits par L. ILLING (1954). On entend par "banc" une élévation rocheuse ou non, couverte par moins de dix mètres d'eau (F.S. MACNEIL, 1954, p. 385). La genèse des bahamites se fait dans des conditions de turbulence réduite sous climat chaud. Le carbonate de calcium précipite par suite de l'évaporation et du départ de gaz carbonique. C. MONTY (1963) propose le terme de chondrolithes pour ces corpuscules cryptogrenus et cite un certain nombre de caractères communs aux calcaires des Bahamas, entre autres la rareté des éléments organoclastiques et des macrofossiles et la faible quantité d'oolithes. Ces caractères se retrouvent dans les sédiments de Cossé, on peut penser qu'ils se sont constitués dans des conditions analogues mais l'existence de courants est prouvée par la forme en demi-fuseau des dépôts de calcite cryptogrenue autour des endoclastes et par le pourcentage des oolithes (17 %). Il s'agit d'un dépôt de bordure de banc, en milieu plus agité (F.W. BEALES id. op. ; N.D. NEWELL, 1959).

- A Saint-Pierre-sur-Erve, le sédiment renferme des bothrolithes et pellets algaires. F.W. BEALES (id. op.) indique que, dans les bancs des Bahamas, des agrégats d'oolithes et autres corpuscules peuvent être cimentés et entourés de couches concentriques et que certaines de ces pisolithes ont une apparence algaire. H.A. LOVENSTAM (1955) précise que de nombreuses

Algues calcaires rencontrées dans cette même région précipitent des cristaux de carbonate de calcium en se désintégrant. Dans ces conditions, aucune structure reconnaissable n'est conservée. A Saint-Pierre-sur-Erve, existait donc une zone peu profonde à courants réduits, colonisée par les Algues. L'action des Algues,en empêchant l'agitation des sédiments par les courants de marées,facilite la formation des bothrolithes. La différence de sédimentation entre Cossé et Saint-Pierre-sur-Erve résulte de l'inégalité dans la force des courants, le second s'étant formé sur le banc lui-même.

. Phase organoclastique aréno-ruditique d'origine essentiellement algaire (Dasycladaceae), mais avec une faune de Brachiopodes, Tetracoralliaires et Foraminifères. La disparition des oolithes et des endoclastes auréolés de micrite suggère l'hypothèse d'une augmentation de profondeur et d'une circulation plus facile de l'eau. Cette phase est la seule représentée à Epineux-le-Seguin, durant le V 1b.

- Le V 1b dans la région sud-est (synclinal de Solesmes) continue la sédimentation du V 1a. En effet, nous retrouvons les biocryptarénites et les biospatharénites. Néanmoins, à la partie supérieure du V 1b, le ciment spathique est largement cristallisé, la sédimentation organoclastique devient plus grossière, le faciès de biotope réducteur tend à s'effacer, les courants deviennent suffisamment importants pour éroder les bioclastes et les sédiments antérieurement formés.

- Le V 1b dans la région de Changé : cette partie du bassin est remarquable par l'abondance des spongolithes. Le granoclassement des bioclastes prouvant un certain transport des spicules, il est difficile de préciser le lieu de développement des Spongiaires. Compte tenu de la fragilité des spicules, il devait être cependant peu éloigné du lieu de dépôt. Actuellement, on constate que les Eponges des faciès sableux subcôtiers nécessitent pour leur implantation un substratum assez solide (M. W. de LAUBENFELS, 1957; J.M. PERES,1961), mais par contre,que dans les grands fonds existent des Hexactinellidés et des Tetractinellidés, reposant sur de multiples racines dans la vase (E. LE DANOIS,1948). On ne peut envisager de telles profondeurs pour le faciès à Spongiaires de Changé : tout au plus peut-on expliquer leur présence par une morphologie de fond comparable à ce qu'on observe actuellement dans des zones de comblement sédimentaire "golfes pénètrant profondément dans une masse continentale et dont les rives, à l'origine, sont surélevées par des chaînes bordières, résultant de plissements récents" (E. LE DANOIS id. op. p. 150). Dans ce cas, les vases envahissent la région subcôtière (-50 m à -120 m) et la faune des faciès vaseux remonte. Cette disposition est comparable à ce qui devait se passer dans

cette partie du bassin de Laval (bassin intramontagneux) où le Culm inférieur avait une certaine épaisseur. Cependant il faut noter que le fait de trouver les restes de Spongiaires principalement dans des roches argileuses (ce qui est le cas à Changé) n'est pas un argument pour affirmer que ces organismes s'installaient sur les fonds vaseux ; cela peut signifier que seuls ces lithotopes avaient la finesse suffisante pour les fossiliser (WJ. OKULITCH et S. J. NELSON, 1957).

L'étroite localisation d'abondantes spongolithes uniquement dans cette région du bassin doit être liée à une abondance de silice. Les spongolithes situées à l'accès ouest de la carrière Saint-Roch sont contemporaines de celles situées au-dessus des calcaires amygdaloïdes roses du Saut-Gauthier (Changé, cf. chapitre IV, p. 219) ; ces apports siliceux sont d'origine volcanique. Le volcanisme se manifeste ici sous forme d'un dépôt de tufs très fins, remaniés dans le milieu marin, qui sont en fait associés aux spongolithes du Saut-Gauthier distantes de celles de Saint-Roch de 800 m actuellement. Il n'est pas possible de localiser les bouches de ces émissions.

A Changé, le dépôt des calcaires argileux et des spongolithes devait se faire à une profondeur un peu plus grande que celle existant lors de la sédimentation des calcaires à Dasycladaceae et autres Algues. Ainsi cette sédimentation rythmique : calcaire organoclastique à Algues, calcaire argileux et spongolithes, permet de mettre en évidence une subsidence du bassin, entraînant le ralentissement des courants et, par voie de conséquence, la mort des algueraies et le développement des Spongiaires.

La présence de calcarénites traduit aussi l'instabilité du fond.

4°) Partie inférieure du Viséen moyen (V 2a)

- Le synclinal de Solesmes ne contient pas de Viséen moyen, soit qu'il n'a pas été conservé au sein du synclinal, par suite de la moindre profondeur du pli, soit qu'il ne se soit jamais déposé dans cette région.

- La partie inférieure du V 2a visible à Epineux, Cossé et Saint-Pierre-sur-Erve est constituée par une sédimentation organoclastique ruditique dans l'ensemble. La présence de débris d'Algues indique la faible profondeur du dépôt. La fragmentation et l'usure des bioclastes traduisent l'importance des courants de houle qui devaient incessamment remanier les éléments organiques sédimentés.

- A la partie supérieure du V 2a (Juigné : carrière de Châteauneuf et de l'Ouvrardière ; au Hallais entre Bannes et Cossé ; dans la

vallée de l'Erve entre Saint-Pierre-sur-Erve et Saulges) , se situe une phase oolithique et pseudoolithique, correspondant à des dépôts de plages. La profondeur du milieu de sédimentation a donc encore diminué, l'eau de mer était chaude et saturée en carbonate de calcium, les corpuscules constamment agités par le mouvement incessant des vagues.

- A Changé, la sédimentation manifeste encore une certaine rythmicité, fonction de la subsidence.

5°) Partie supérieure du Viséen moyen (V 2b)

Pendant la partie supérieure du Viséen moyen, dans les environs de Vaiges, Chémeré, Epineux, Louverné, la sédimentation est bioclastique, très grossière. Les Algues (grosses Dasycladaceae, K. inflata (de KON.) entre autres) et les phytoclastes micritiques prédominent dans certaines couches, les biospathrudites l'emportent dans d'autres. Le dépôt s'est fait dans une zone très peu profonde (infralittorale) dans laquelle les sédiments étaient soumis à des remaniements incessants par les vagues.

A Juigné (Châteauneuf), la sédimentation est organoclastique. L'agitation du milieu est moindre que lors de la phase oolithique du V 2a, et de nouveau une faune benthique (Brachiopodes, Tetracoralliaires) s'installe. La profondeur a dû légèrement augmenter.

6°) Base du Viséen supérieur (V 3a)

A Vaiges : Bonne Fontaine, Chémeré : La Foucaudière II, le long de la vallée de l'Erve entre Saint-Pierre-sur-Erve et Saulges, le V 3 est constitué par une sédimentation mixte : oolithique, bothrolithique et endoclastique. La présence de bothrolithes, les caractères granulométriques des endoclastes (pour la plupart des phytoclastes) indiquent un milieu de mer chaude, peu profond, occupé par une algueraie ; la précipitation de carbonate de calcium est abondante, les courants bien qu'existants, ne sont pas suffisamment efficients pour empêcher la formation de ces agrégats complexes ou "lumps". On peut imaginer leur ralentissement au milieu de la végétation sous-marine et, par contre, leur accélération dans certains chenaux (K. W. STAUFFER ,1962). Cette paléogéographie rappelle ce qui a déjà été évoqué au V 1b, c'est-à-dire une morphologie de banc, étant entendu que cette élévation rocheuse pouvait être entièrement entourée par la mer profonde (L. V. ILLING ,1954), ou au contraire se prolonger par un lagon (F. S. MACNEIL ,1954). Le caractère du dépôt paraît devoir correspondre à des conditions de sédimentation comparables à celles décrites par F. W. BEALES (1958) : - étendues peu profondes, couvertes par seulement quelques dizaines de centimètres d'eau ; - les

courants de marées devant amener l'eau sur ces étendues plates ; - sous des conditions de climat chaud, la perte de CO_2 et l'évaporation entraînent une sursaturation en carbonate de calcium. Dans les zones marginales, de nombreux organismes contribuent à l'édification de calcaires organoclastiques ; plus loin, sur le bord des bancs où la précipitation de carbonate de calcium domine, les oolithes se constituent. Quand les courants sont ralentis par des phénomènes de friction, les oolithes, et autres corpuscules, s'agglomèrent pour donner les bothrolithes. La température de l'eau peut s'élever naturellement par suite de la faible épaisseur de l'eau sur les bancs (R. W. FAIRBRIDGE, 1964).

A Louverné, une sédimentation chondrolithique pure se produit : représente-t-elle les bahamites pures déposées sur la surface interne des bancs là où les courants sont totalement réduits ou une sédimentation algaire entièrement recristallisée ? Il est difficile de trancher la question, tout au plus, peut-on constater qu'au-dessus de ces chondrolithes, se développent de petits biostromes algaires de nature précise indéterminée, étant donné l'état de recristallisation.

L'individualisation de ces bancs, dans cette zone au V 3 traduit un exhaussement du fond de la mer qui est le résultat d'une sédimentation organoclastique importante durant le Viséen moyen dans cette même région.

En conclusion,

Le Calcaire de Sablé, dont le type correspond au V 1a du synclinal de Solesmes, apparaît différent de ce type suivant sa localisation dans le bassin et suivant son âge. Cependant un certain nombre de caractères le différencient des autres formations dinantiennes et font que l'on doit conserver ce terme dans un sens général.

Le Calcaire de Sablé est, dans son ensemble, lité, bien que certains niveaux oolithiques apparaissent massifs.

Il est très fossilifère et constitué en grande partie par des calcaires organoclastiques riches en Foraminifères et en Algues (Chlorophyceae, Rhodophyceae).

Il s'est déposé, depuis le Tournaisien supérieur jusqu'à la base du Viséen supérieur, dans une zone infralittorale dont la structure peut être reconstituée à partir des caractères des dépôts : biocryptarénites, bioclastites, oospathrudites, bahamites. La morphologie du fond était très irrégulière avec une zone de flexure suivant une ligne approximative allant de Changé à Sablé. Au cours de la sédimentation, le bassin s'est comblé : les dépôts oolithiques et bothrolithiques sont prédominants à la base du Viséen supérieur.

CHAPITRE III

LA GRAUWACKE A PALECHINIDES

Le terme de "Grauwacke à Paléchinides" a été employé, pour la première fois, par D. OEHLERT en 1898, pour désigner une grauwacke fossilifère qui forme la ceinture la plus externe du bassin de Bouère et qui se situe au-dessus du Culm inférieur. En 1911, D. OEHLERT précise que cette grauwacke à faune carbonifère, caractérisée plus particulièrement par des Echinides, est bien développée près de Laval.

La position stratigraphique de cette formation était discutée lorsque j'ai entrepris cette étude (voir p. 7) ; en effet en 1905, D. OEHLERT situe la Grauwacke à Paléchinides entre le Calcaire de Sablé et le Calcaire de Laval ; en 1928, Y. MILON précise que la Grauwacke à Paléchinides, par sa faune, doit se placer "un peu au-dessus des Calcaires de Sablé tout en faisant partie du Viséen inférieur" ; en 1942, H. PAUL, en interprétant d'une façon erronée le tableau stratigraphique de Y. MILON (id. op.), place cette grauwacke entre des calcaires siliceux visibles à Changé et les Schistes de Laval. En 1948, P.R. GIOT situe la Grauwacke à Paléchinides au-dessus du Culm inférieur et confirme ainsi l'opinion de D. OEHLERT de 1898.

L'étude de nouveaux affleurements appuie cette dernière interprétation et l'examen pétrographique précis permet de définir cette roche et oriente vers une conception nouvelle de l'origine de cette formation.

REGION DE LAVAL (MAYENNE)

I - DESCRIPTION DES AFFLEUREMENTS

Un important chantier de construction ouvert à Laval en octobre 1961, entre le boulevard extérieur et le boulevard Frédéric Chaplet, au lieu-dit Les Fourches (fig. 71) a mis à découvert une série d'affleurements :

- dans la fouille R

. un niveau gréseux (RC) de direction N.120° E, à pendage 70° Sud-Ouest

. un niveau à gros grain, brun foncé gréseux, d'une quinzaine de centimètres d'épaisseur (RG 1), au-dessus et en concordance la Grauwacke à Paléchinides avec son aspect habituel de grès fin couleur ocre jaune, fossilifère (tiges de Crinoïdes) (RG 2). La direction et le pendage de la grauwacke étaient semblables à ceux du grès RC. Les contacts entre les trois formations étaient donc des contacts normaux sédimentaires.

- Le niveau gréseux RC pouvait être suivi en direction vers le Sud-Est et affleurait sur le chemin de la Biennerie. Aucun autre affleurement de grès n'était visible sur le chantier.

- Les fouilles W et V situées au Sud-Ouest et les fouilles P, O, N, M, K, J, I, L, F, C, B situées au Nord-Ouest de la fouille R n'entamaient que la grauwacke ; le grès RC forme donc un dôme qui s'ennoie vers l'Ouest.

- Dans les fondations de la chaufferie située au Sud de la fouille M, on voyait la grauwacke se charger de calcaire et passer ainsi graduellement au Calcaire de Laval, par l'intermédiaire de pélites fines zonées à ciment de calcite (FL3). Le Calcaire de Laval est représenté par des calcaires bleus, crinoïdiques,en gros bancs (FL5). La direction des deux formations est N.140° E et le pendage 50° Sud-Ouest.

- Les fouilles D, E, G situées au Nord de la fouille R ont mis à jour des schistes calcareux et des calcaires gris-vert crinoïdiques de faciès "Calcaire de Laval" qui ont été datés du Viséen inférieur par leurs Conodontes (A. P., 1962). La disposition des bâtiments n'avait pas permis de voir sur cette zone nord le contact de la Grauwacke à Paléchinides et des calcaires. En février 1964, dans les fondations de bâtiments annexes du collège de Laval au Sud-Est du chantier des Fourches, j'ai pu constater que les calcaires verts apparaissaient en dessous de la grauwacke. D'après ce qui a été

vu dans les fondations de la chaufferie, on peut penser qu'il s'agit ici d'une série renversée.

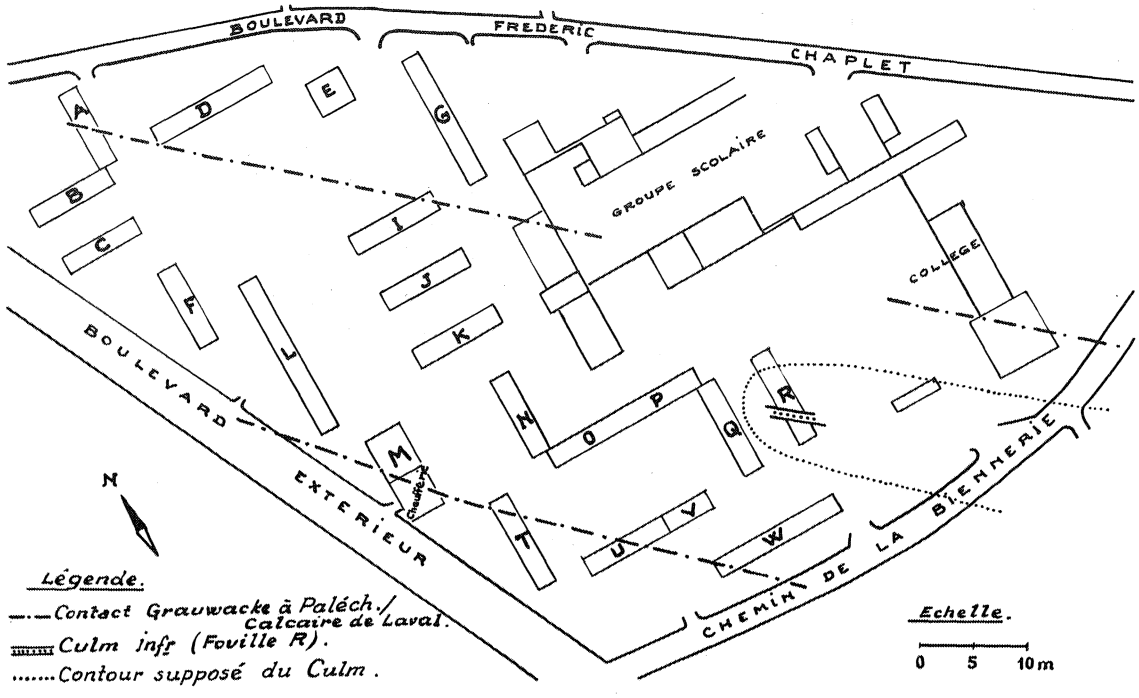


Fig. 71 - Plan de situation du chantier des Fourches (Laval).

La série grauwackeuse vers le Nord-Ouest de la fouille R est comprise entre deux bandes calcaires du Viséen inférieur par suite de l'ennoyage du Culm. Le pendage des couches ainsi que la schistosité fortement développée dans toutes les formations sont sud-ouest. Au niveau de la fouille R, la Grauwacke à Paléchinides enveloppe un noyau gréseux. La grauwacke et les calcaires dessinent donc des plis isoclinaux dont l'axe est occupé par le Culm et à déversement vers le Nord. Pour établir une stratigraphie sûre, seule une étude pétrographique des faciès a permis de mettre en évidence le passage des termes détritiques de la base du Carbonifère (Culm inférieur) aux termes biochimiques (Calcaire de Laval).

II - ETUDE PETROGRAPHIQUE

- Grès RC

Il s'agit d'un grès à ciment abondant, chloriteux, comparable en

tous points aux grès argileux chloriteux du Culm inférieur. Aucun autre niveau dans cette zone de sédimentation ne présente ce faciès. L'attribution de ce grès au Culm inférieur est conforme aux tracés de la carte géologique au 1/80 000 Laval, 1ère édition (1904) d'après D. OEHLERT, 2ème édition 1960 (Y. MILON et A. PHILIPPOT).

- Niveau grossier RG1

La roche, au grain médian voisin de 1 300μ , est constituée de grains de quartz et de feldspaths potassiques, de grains de grès. Le ciment est formé de chlorites ferrifères formant de véritables structures oolithiques entourant les grains détritiques, ou des noyaux de chlorites fibreuses. Ce ciment est largement développé par places. La position stratigraphique de ce sédiment est douteuse ; il peut se rattacher soit au Culm inférieur, soit au niveau suivant.

- Grauwacke à Paléchinides (RG2)

Faisant suite à ce niveau grossier, apparaît un grès fin chloriteux. Les grains de quartz (médian = 175μ) et les paillettes de muscovite sont liés entre eux par des chlorites et des produits micacés. Les chlorites se présentent en fibres disposées,dans la plupart des cas,perpendiculairement aux grains détritiques. La richesse en fer est un caractère particulier de ces niveaux RG1 et RG2 et,d'une façon générale,la "Grauwacke à Paléchinides" doit sa couleur ocre à l'altération en surface de composés ferrifères.

- Echantillons de "Grauwacke à Paléchinides" prélevés dans la fouille K.

L'ensemble de la "grauwacke" est constituée par des grès et des schistes assez peu fossilifères. Les grès fins schistoïdes se situaient dans la zone la plus proche du Culm, les schistes apparaissaient stratigraphiquement au-dessus. Les grès sont essentiellement constitués par des grains de quartz (médian = 50μ), des micas : muscovite, biotite chloritisée. Le ciment se présente sous forme d'un mince réticulum autour des grains ; il est formé de produits micacés et chloriteux. Dans les schistes, la schistosité est soulignée par la zonation du ciment micacé et chloriteux. Les grains de quartz se disposent,pour la plus grande part,parallèlement aux plans des chlorites. Les plus grands d'entre eux les recoupent cependant. Il faut noter l'abondance des rutiles, des tourmalines et des lamelles micacées.

- Pélites calcaires

Ces pélites représentent un terme de passage entre la "Grauwacke à Paléchinides" et la calcaire bleu crinoïdique de type Calcaire de Laval.

La roche est très fine, présente une allure zonée; les paillettes de muscovite sont visibles à la surface des feuillets. Une analyse modale donne les résultats suivants : Quartz 38 %, Calcite 29,3 %, Muscovite 1,, 0 %, Opaques 1,8 %, Zircons 0,6 %, Ciment 29,3 %. (pl. 12, fig. 2).

En conclusion, l'étude de ces fouilles,mettant en évidence la présence d'une bande de grès du Culm inférieur au centre de la zone grauwackeuse (fouille R), permet de situer la Grauwacke à Paléchinides entre le Culm et les Calcaires de Laval sur les flancs d'un dôme de style isoclinal à déversement vers le Nord.

VALLEE DE LA JOUANNE AU SUD DE FORCE (MAYENNE)

Le Culm inférieur se retrouve dans une petite excavation (fig. 72), le long de la rive droite de la Jouanne, au Sud de Forcé (Mayenne). Il dessine une voûte anticlinale,très surbaissée. Immédiatement au-dessus, on observe la Grauwacke à Paléchinides, à pendage sud c'est-à-dire en position renversée. Il semble d'ailleurs qu'il y ait une faille entre le Culm inférieur et la Grauwacke à Paléchinides... Puis, lui faisant suite, affleurent les calcaires gris-bleu stratifiés de Forcé. Les calcaires sont affectés de replis secondaires superficiels,insuffisants pour ramener la Grauwacke à Paléchinides à l'affleurement plus au Nord.

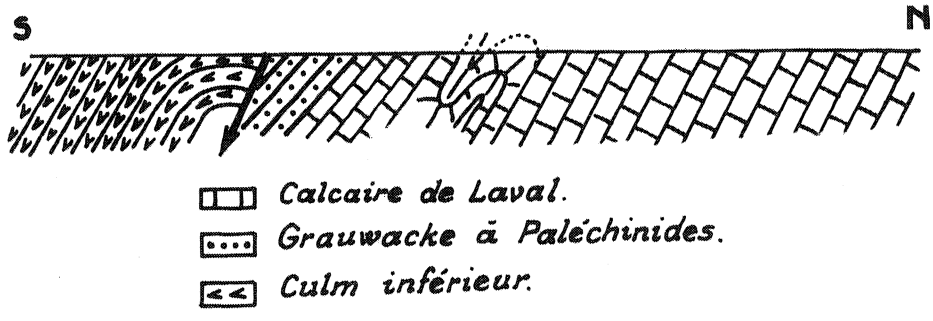


Fig. 72 - Coupe schématique, le long de la vallée de la Jouanne, au Sud de Forcé.

La position de la Grauwacke à Paléchinides comprise entre le Culm

et les calcaires est donc la même que celle observée à Laval.

La grauwacke est très fossilifère (Brachiopodes surtout). Elle correspond à un grès très fin (une pélite : les grains de quartz sont compris entre 80μ et 200μ). Les feldspaths sont très rares, les lamelles de muscovite assez abondantes ainsi que les tourmalines et les zircons. Le ciment de nature micacée est développé par plages, ou perpendiculairement aux grains de quartz.

REGION DE CHANGE (MAYENNE)

La Grauwacke à Paléchinides est en contact tectonique avec le Calcaire de Sablé (Y. MILON, 1928), au niveau de la carrière Saint-Roch. Plus à l'Est, elle repose sur le Culm inférieur (cf. chapitre précédent, p. 183).

1°) Dans des fondations de maisons, à l'Ouest du bourg de Changé, sur la route de la carrière Saint-Roch, j'ai pu constater la présence de la Grauwacke à Paléchinides , à pendage sud. Un niveau calcaire crinoïdique affleurait, interstratifié dans un ensemble de pélites brunes. Ce banc crinoïdique est constitué de fragments de Crinoïdes de plusieurs millimètres, de débris de Bryozoaires emballés dans un ciment de calcite à grain fin (5μ à 10μ). A ces bioclastes, s'ajoutent quelques rares Foraminifères (Plectogyra, Eotuberitina reitlingerae M. MAKL.) et des Archaesphaera. (pl. 17, fig. 1 et 4).

L'absence de Pachysphaera dervillei C. et L. parmi les calcisphères présentes dans le niveau crinoïdique, est en faveur d'un âge tournaisien supérieur, pour la base de la Grauwacke à Paléchinides à Changé.

Le reste de la formation est constituée par une pélite qui contient des quartz (25 à 30μ) peu fréquents, ainsi que de nombreuses lamelles micacées : muscovite et biotite. Le ciment est formé de produits micacés et d'une fine poussière de quartz. Des hydroxydes de fer sont abondants. Dans certains niveaux, on rencontre quelques cristaux de calcite.

2°) Ces caractères pétrographiques sont ceux de la Grauwacke à Paléchinides, affleurant au Sud du ruisseau, dans un chemin creux parallèle à la route Changé-Laval, chemin de la Chataigneraie en contre-bas du jardin public de Changé.

Dans cet affleurement, le pendage des assises est de 40° vers le Sud, mais une schistosité de fracture à pendage nord affecte toute cette série. Le sommet de la Grauwacke à Paléchinides est en contact stratigraphique

normal avec les calcaires bleus à grain fin type Calcaire de Laval.

Un prélèvement serré d'échantillons,dans la grauwacke sur 25 m de puissance,montre que les caractères lithologiques sont constants et que la succession des séquences correspond uniquement à des variations de granulométrie .

- L'étude pétrographique de la grauwacke est très difficile : il s'agit, dans l'ensemble, d'une roche de couleur ocre, parfois brune et quelquefois grise, extrèmement friable, altérée, rendue caverneuse par la présence de très nombreux moules internes et externes de fossiles (Brachiopodes, Tetracoralliaires et Paléchinides, Trilobites) dans laquelle la confection de plaque mince est presqu'impossible.

Une forte proportion de quartz détritique est associée à de la muscovite, à des chlorites, à des minéraux opaques et des oxydes de fer, à des zircons et tourmalines assez nombreux pour être notés sur lame mince ; le ciment est très abondant (pl. 12, fig. 1 et 3)

	Zircons	Quartz	Micas	Chlorites	Oxydes de Fer	Opaques	Fragm. roches	Ciment
GCh1	0,30	46,50	0,50	7,30	0,30	1,20	0,40	43,50
GCh2	0,59	42,90	2,16	9,25	5,50		0,0	39,60

TABLEAU XLII - Analyse modale, Grauwacke à Paléchinides, Changé.

Une analyse thermique différentielle de la partie fine inférieure à 4 μ a seulement permis de révèler la nature micacée de ce ciment.

A 16,50 m de la base de la série étudiée, apparaissent des nodules de sidérite, noyés dans la masse de la grauwacke sur une puissance de 6 m. Au centre de cette zone, un niveau à gros sphéroïdes de sidérite est particulièrement remarquable. Certains atteignent trente cinq centimètres de longueur. La composition des nodules est la suivante : Sidérite 79,8 %, Micas en plages 0,45 %, Quartz 17,50 %, Chlorites 0,25 %, Graphite 1,25 %, Oxydes de Fer 0,25 %. La concentration en nodules est sans doute antérieure à la tectogenèse ; mais la schistosité existant dans toutes les strates ne recoupe pas les gros sphéroïdes de sidérite ; ces derniers ne sont sans doute pas susceptibles d'être affectés par la schistosité.

- 16 échantillons caractérisés par leur grain moyen et leur premier centile se situent dans un diagramme CM analogue à celui correspondant à une turbidite (R. PASSEGA ,1963, fig. 5). D'autre part, la série étudiée est formée de séquences granoclassées, le terme de base ayant un grain moyen de 70 μ et les termes supérieurs de 50 μ à 20 μ . La forme

du diagramme, le granoclassement et les valeurs des grains moyens correspondent bien aux caractères des turbidites.

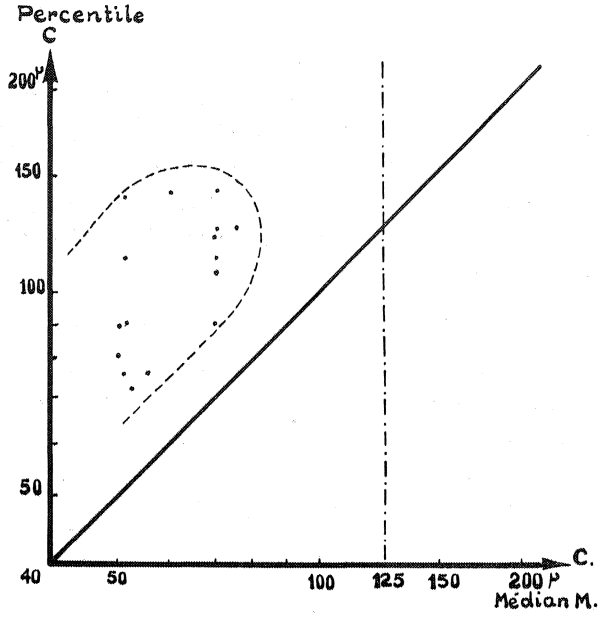


Fig. 73 - Diagramme CM, Grauwacke à Paléchinides, Changé.

CONCLUSIONS

Les constituants minéralogiques de la Grauwacke à Paléchinides, mis à part quelques niveaux à rares cristaux de calcite, sont identiques à ceux du Culm : ciment chloriteux et micacé, éléments clastiques : quartz et micas, tourmalines et zircons. La partie clastique de la Grauwacke paraît continuer la sédimentation du Culm inférieur, abstraction faite des éléments grossiers (galets et graviers) manquant dans la grauwacke qui renferme, par contre, d'abondants fossiles.

Il est peut-être possible d'aborder le problème de la localisation de la grauwacke au Sud-Ouest d'une ligne Le Bourgneuf-Changé (Mayenne) - Saint-Brice (Sarthe) en tenant compte des caractères sédimentologiques du Culm, eux-mêmes assez différents au Nord et au Sud de cette ligne.

Les résultats de l'analyse granulométrique de la Grauwacke

exprimés dans le diagramme CM, le granoclassement, la sédimentation rythmique, les valeurs des grains moyens (70 à 20 μ) correspondent aux caractères d'undaturbidites.

Or, dans le Sud du bassin, notamment au Sud de Laval (cf. Culm du Sud de Laval), les diagrammes CM font penser que le régime de turbidites a dû apparaître périodiquement par suite d'un apport important de sédiment sur une pente relativement faible. Les valeurs maximales de premier centile pour les éléments transportés en suspension granoclassée indiquent une profondeur d'environ 50 m pour le dépôt du Culm de l'Huisserie (Sud de Laval). Cette profondeur devait permettre le remaniement des turbidites par les vagues et leur association avec des dépôts par courants tractifs intermittents. On peut supposer que l'augmentation de la profondeur ait ensuite déterminé la suppression des courants tractifs et que le régime de turbidites ait pu alors s'établir lors du dépôt de la grauwacke. Cet approfondissement du bassin, dans la zone de sédimentation de la grauwacke, paraît vérifié par la présence de sidérite dans ce sédiment. Selon H. BORCHERT (1960, 1964), la plus grande partie du fer est dissoute sous forme de bicarbonate, dans une zone à acide carbonique, située dans une position intermédiaire entre les eaux oxygénées des mers peu profondes et les eaux profondes plus ou moins saturées de SH^2, provenant de la réduction des sulfates de l'eau de mer par des matières organiques en présence de Bactéries spéciales. Dans le cas d'échanges faibles avec les eaux riches en oxygène, par suite de la diminution de la pression, la sidérite (CO^3Fe) précipitera dans la partie superficielle de cette zone à CO^2. La sidérite est un indicateur sensible d'un faible potentiel oxydo-réducteur (N.M. STRAKHOV,1957; E.T. DEGENS ,1958). Dans le cas présent, on peut admettre que la circulation verticale des eaux superficielles était diminuée par suite de la venue d'eaux douces dans un bassin à fond modelé en dépression et en communication restreinte avec la mer ouverte.

En conséquence, la Grauwacke à Paléchinides apparaît comme un sédiment de plus grande profondeur que le Culm correspondant à cette zone intermédiaire riche en CO^2.

Dans le Culm inférieur du Nord-Est du bassin, il n'y a pas trace de turbidites ; tous les dépôts paraissent dus à l'action de courants tractifs. Les diagrammes CM indiquent une profondeur très inférieure à celle de la zone sud. A ce Culm, succède immédiatement la sédimentation calcaire (Calcaire de Sablé) tandis que la Grauwacke à Paléchinides se dépose dans la partie sud-ouest. La Grauwacke à Paléchinides serait donc l'équivalent stratigraphique de la base du Calcaire de Sablé.

La position de la Grauwacke à Paléchinides observée à Grez-en-Bouère (D. OEHLERT,1898; P.R. GIOT,1946), à Laval et à Forcé

(observations nouvelles), à la base du Calcaire de Laval, se situe donc logiquement par suite de l'approfondissement du bassin dans une séquence positive à la suite de la sédimentation du Culm de la région sud-ouest et avant celle du Calcaire de Laval. Au voisinage de Changé, c'est un accident tectonique qui perturbe la structure du bassin et met le Calcaire de Sablé en contact avec la Grauwacke à Paléchinides (Y. MILON,1928). Cette hypothèse est confirmée par le fait que la Grauwacke à Paléchinides qui paraît avoir débuté au Tournaisien supérieur dans cette zone du bassin, est en contact avec le Calcaire de Sablé daté du Viséen moyen (chap. II, p. 184).

En résumé, la roche dénommée Grauwacke à Paléchinides est en réalité une pélite. Le terme a été donné, malgré les différences avec la grauwacke typique d'Allemagne, dans le sens de grès calcareux décalcifié fossilifère, employé par les géologues ardennais.

Dans une séquence générale positive, ce sédiment trouve sa place entre les grès plus ou moins grossiers du Culm et un calcaire (Calcaire de Laval) qui sera étudié au chapitre suivant.

La Grauwacke à Paléchinides est contemporaine de la base du Calcaire de Sablé (Tournaisien supérieur - base du Viséen inférieur). Elle se dépose uniquement au Sud de la flexure indiquée au chapitre précédent, dans une zone qui recevait en abondance le matériel amené par des courants de turbidité tandis que vers le Nord-Ouest, la sédimentation calcaire s'était établie.

CHAPITRE IV

LE CALCAIRE DE LAVAL

D. OEHLERT (1880) a appelé "Calcaire de Laval" un calcaire à texture amygdaloïde, souvent schisteux, se présentant en bancs, bien développé dans la ville de Laval et que l'on peut observer dans la carrière de la Couldre (Changé, Mayenne). Y. MILON (1928) associe au faciès Calcaire de Laval tel qu'il est difini par D. OEHLERT, les calcaires à veines bleues (faciès waulsortien), et démontre qu'il s'agit d'un faciès parallèle au Calcaire de Sablé. G. DELEPINE reprend ces résultats pour la définition du Calcaire de Laval dans le Lexique Stratigraphique International (1956, p. 109).

La description des calcaires à veines bleues du bassin de Laval a été faite par G. DELEPINE et Y. MILON (1922). Y. MILON (1928, p. 55) écrit : "l'axe des veines caractéristiques de ces calcaires est constitué par des organismes qui peuvent être exceptionnellement des débris de Crinoïdes, mais qui sont surtout et presque toujours des Fenestellidés. Leurs touffes abondantes forment la trame du massif, les intervalles étant remplis par de la boue calcaire avec de menus débris de Crinoïdes. Lors des phénomènes de recristallisation consécutifs (ou même contemporains du dépôt), des cristaux aciculaires de calcite se sont implantés perpendiculairement à la surface des Fenestelles, épousant les courbures de leurs colonies flabelliformes ; de là, résultent les allures sinueuses, irrégulières des veines qui sillonnent le calcaire".

On doit donc distinguer :

- des "récifs" waulsortiens : calcaires massifs, gris ou roses, riches en Fenestellidés, parcourus de veines bleues, avec localement des intercalations riches en Crinoïdes (carrière de Boisjourdan (Bouère), carrière de l'Euche, carrière de Feue-Vilaine).

- des faciès environnants stratifiés, comprenant :

  . des calcaires bleus à texture fine à rares débris de Crinoïdes (Forcé, Changé, Laval),

  . des calcaires verts ou roses à nombreux débris crinoïdiques (Saut-Gauthier; Les Fourches; Usine "Le Matériel Téléphonique", Laval).

"RECIFS WAULSORTIENS"

C'est E. DUPONT (1865) qui, le premier, a employé le terme de Waulsortien dont il fait un étage pour désigner un ensemble de roches, les unes massives à veines bleues : Wm, les autres stratifiées, situées dans le bassin de la Meuse (Belgique). Il montre en 1883, que les calcaires à veines bleues sont formés par un entrelacement de deux organismes : Ptylostroma se présentant sous l'aspect de bandes radiées et Stromatocus apparaissant à l'état de calcaire gris-blanc subcompact, ces formes étaient rapportées à des Stromatoporoïdes. Il signale (in J. GOSSELET, 1888, p. 618) que, dans ce calcaire, on observe de nombreuses Fenestella appliquées sur la surface des Ptylostroma. J. GOSSELET (1888), comme Ch. de LA VALLEE POUSSIN (1888), n'admet pas la nature récifale des calcaires et pense qu'ils constituent plutôt "des tapis au fond de la mer" (p. 630); Ch. de LA VALLEE POUSSIN, dans le même article, souligne que le Waulsortien représente, non plus un niveau, mais un faciès contemporain des couches rangées par E. DUPONT dans les étages tournaisien et viséen.

H. de DORLODOT (1909) remarque la richesse en Fenestelles des roches massives du Waulsortien et observe que "la substance qui sépare les Fenestelles, lorsque celles-ci sont rapprochées, est souvent constituée, en bonne partie, par des cristaux aciculaires implantés perpendiculairement à la surface de ces organismes". Ce même auteur, en 1911, démontre que toutes les variétés de la forme et de la structure des veines bleues, dont les élargissements et les entournements donnent naissance aux noyaux spathiques radiés (Ptylostroma), "dépendent de la disposition et du mode d'association des Fenestella". (p. 127). Compte tenu de la coloration des veines bleues due au résidu de matière anthraciteuse, alors que la micrite est de couleur claire, il écrit que les Fenestella ont été littéralement plongées après leur mort et avant leur enfouissement définitif dans un milieu cadavérique" (p. 129), dans lequel les précipitations de carbonate de calcium étaient contemporaines du dépôt, "provoquées par la putréfaction de nombreux animaux et spécialement des animaux mous" (p. 131).

C. PAREYN (1960) établit une différence nette entre les veines bleues simples, de 8 à 15 mm de largeur et les efflorescences à replis digités. C. PAREYN emploie le terme de Ptylostroma pour "désigner des géodes calcitisées à paroi contournée, soulignée parfois par un pigment noir", "cristallisation liée à des Algues putréfiées engluant un tapis à Fenestelles" (p. 352). Il parle de Stromatactis pour des efflorescences de calcite à dissymétrie nette, à face inférieure plane et à face supérieure digitée, "formées au moment du dépôt sur un matériau organique en cours de putréfaction (probablement des Algues), matériau accroché sur des faisceaux de tuteurs" (Polypiers).

I - CARRIERE DE BOISJOURDAN

A - LOCALISATION

La carrière de Boisjourdan est située à 850 m au Sud-Ouest de l'Eglise de Bouère (Mayenne), au point de coordonnées U. T. M. 687,85 et 5 304,10 (feuille de Château-Gontier 1/50 000). On y exploite, actuellement, par sciage, le calcaire waulsortien à veines bleues. Les fronts de taille Est-Ouest font un angle faible (20°) avec la direction des couches et par suite les fronts de taille Nord-Sud ont l'intérêt de montrer l'évolution de la sédimentation au cours du dépôt. Y. MILON (1928), en décrivant le faciès waulsortien de cette carrière, estime que "les bandes bleues paraissent bien être dirigées toujours perpendiculairement à la surface normale du massif" (p. 58).

La tectonique et la discontinuité des affleurements ne permettent pas de voir les relations du calcaire waulsortien exploité dans la carrière de Boisjourdan avec les faciès environnants.

B - DESCRIPTION PETROGRAPHIQUE ET PALEONTOLOGIQUE

1°) A l'œil nu, sur le terrain : les veines bleues, caractéristiques des calcaires waulsortiens, observées à Boisjourdan, dessinent des structures en calcite spathique, différentes suivant leur emplacement dans la carrière.

Sur le front de taille sud, de direction Est-Ouest, les veines dessinent des lignes festonnées. Les veines sont régulièrement séparées les unes des autres, par une matrice qui contient de nombreux débris crinoïdiques (pl. 13, fig. 1), localisés à la partie supérieure des veines (pl. 13, fig. 2). Si on examine une veine en détail, on constate qu'entre une face inférieure à contours réguliers bleu-noir et une face supérieure bleu foncé, effilochée, se développe une zone de calcite spathique plus ou moins large, parfois réduite à un mince liséré spathique et les bords possèdent une structure zonée apparente par les tons dégradés du bleu-noir au gris-bleu (pl. 14, fig. 1). La face supérieure peut présenter des replis bien développés (pl. 14, fig. 2).

Les mêmes observations peuvent être faites sur le front de taille ouest. Les passées crinoïdiques peuvent être localement importantes. Le plancher de la carrière, près du front de taille nord, permet de voir que la sédimentation est rythmique : calcaire à veines bleues (A, B, C, D, E,), micrite à Crinoïdes (pl. 14, fig. 3).

Sur ce plancher, les veines bleues sont moins larges que les efflorescences du flanc sud et paraissent parallèles à la stratification. Ceci se retrouve de façon particulièrement nette à deux mètres plus à l'Ouest, sur un front de taille vertical de direction Nord-Sud. Par contre, au cœur de la masse waulsortienne, sur certaines entailles de direction méridienne, les veines décrivent des lignes très ondulées, pouvant être alignées sur un ou deux mètres, perpendiculairement au pendage de l'ensemble de la lentille calcaire ou dessinant de grandes courbes à orientation variable.

Sur le front de taille nord directionnel, les efflorescences bleues sont buissonnantes et le calcaire à grain fin, intercalaire contient une multitude de Bryozoaires disposés à plat, suivant le plan de stratification et dessinant un pseudo-réseau (pl. 13, fig. 3).

Le calcaire à veines bleues est surmonté par des calcaires crinoïdiques, à très grosses Encrines (pl. 14, fig. 4) sur une puissance de 2 m. Des schistes calcareux lie-de-vin leur font suite.

2°) Au microscope : l'essentiel de la roche, c'est-à-dire la matrice entre les efflorescences spathiques, est constitué de calcite micritique, très finement litée. Les Bryozoaires (type Fenestellidae) sont étalés à plat dans les plans des laminae de micrite (pl. 15, fig. 1, 2), ils recoupent exceptionnellement ces laminae. Ils peuvent néanmoins jouxter la veine de calcite ou très rarement être conservés au sein de cette veine, dans le cas de veines simples. La calcite microcristalline s'est déposée sur leurs colonies. Les Bryozoaires peuvent s'entremêler, mais, comme R. A. NICHOLS (1965) le signale dans l'étude de calcaires à Bryozoaires du Carbonifère (Grande-Bretagne), ils n'ont pas un exosquelette suffisamment solide pour construire véritablement un récif : ils agissent en fait comme pièges à micrite, l'ensemble donnant naissance à une lentille massive. Cependant, certaines veines ont pu se former autour des Fenestelles, puisqu'on rencontre parfois des restes de ces organismes au cœur de la veine.

Alignés parallèlement suivant les plans de laminae, on observe des éléments spathiques cylindriques de taille variable (pl. 15, fig. 3 et 4). Ils apparaissent en section longitudinale comme des fragments plus ou moins longs (500 μ à 1500 μ), légèrement flexueux, sans cavités, parfois bifurqués et formés de calcite spathique. Les sections transversales sont circulaires, le diamètre variant de 30 à 80 μ. Correspondent-ils à des Bryozoaires recristallisés secondairement, à des fragments de thalles algaires ou à des spicules de Spongiaires ? L'interprétation comme spicules de Spongiaires n'est pas à retenir ; les sections longitudinales n'ont pas la rigidité des spicules et les débris ne sont pas formés d'un seul cristal. D'autre part, dans certaines plages, il paraît évident que les fragments ne sont pas absolument indépendants les uns des autres. Les sections de Bryozoaires transversales

ou longitudinales, assez fréquentes dans ce microfaciès, ont des parois délicates et sont remplies de micrite. L'attribution aux Codiaceae paraît raisonnable : leur thalle est formé de filaments branchus de 10 à 70μ de diamètre et constitué,à l'état fossile,de calcite secondaire ne permettant pas de voir la structure originelle (J. H. JOHNSON,1961). Cette description correspond bien à ce qui apparaît au microscope ; le remaniement ayant pu dissocier plus ou moins complètement les parties d'un thalle qui, dans certains genres (Ortonella),est formé de tubes fins largement ou complètement séparés les uns des autres. A côté de ces restes de Codiaceae, les Dasycladaceae sont représentés par des fragments de Dvinella CHVOROVA (pl. 15, fig. 1).

Des conclusions intéressantes peuvent être déduites des relations des laminae de calcite cryptocristalline et des efflorescences spathiques à contours digités. On constate que les laminae se moulent sur certaines parties concaves ou convexes des veines spathiques, ou,au contraire,sont sectionnées sur les bords ou viennent mourir en biseau contre les parois de la veine spathique (pl. 16, fig. 1). La micrite paraît s'être déposée peu à peu, comblant les parties en creux, puis débordant les crêtes de calcite spathique : tout se présente comme si,lors de la sédimentation, des organismes mous existaient à la place des efflorescences de calcite spathique. Ces organismes auraient été peu à peu recouverts par la micrite. L'hypothèse "de paquets d'Algues gisant sur des tapis de Bryozoaires" (C. PAREYN , 1960, p. 352) paraît très plausible. Pour A. LEES (1961-1964),il s'agirait plutôt de Spongiaires et non d'Algues. Dans le cas du calcaire de Boisjourdan, l'existence de Spongiaires dont on ne retrouve aucun spicule paraît douteuse. A Boisjourdan, il n'y a pas de discontinuité dans la micrite et il est possible de suivre les laminae de part et d'autre d'une veine. Il semble donc que les zones spathiques effilochées, formées de cristaux non ordonnés, représentent le remplissage de cavités correspondant au moulage d'organismes mous comme le pense R. G. BATHURST (1959). Pour A. LEES (1961-1964), la micrite observée actuellement n'est pas en position originelle, mais a subi des phénomènes d'affaissement et de décollement interne ("collapse") lors de la destruction organique des organismes mous.

Il est impossible,à Boisjourdan,de distinguer des bancs à Ptylostroma et des bancs à veines bleues ; il semble que les veines bleues sensu-stricto, organisées autour des Bryozoaires dont les restes sont parfois conservés, passent à des zones élargies d'allure géodique et remplies de calcite spathique et qui répondent à la description des Ptylostroma, d'une façon comparable à ce que H. de DORLODOT avait observé en Belgique. En l'absence de restes de Polypiers (Heterophyllia), il n'y a pas lieu de parler de Stromatactis.

C - MICROPALEONTOLOGIE

- Dans les calcaires crinoïdiques associés aux veines bleues, les Conodontes sont variés. L'association est la suivante : Pseudopolygnathus triangula pinnata VOGES, Spathognathodus sp., Gnathodus texanus ROUNDY passant à Gnathodus semiglaber BISCHOFF, Lonchodina sp.

La présence de Pseudopolygnathus triangula pinnata VOGES indique un âge viséen inférieur.

- Dans les calcaires crinoïdiques qui surmontent les calcaires waulsortiens : Gnathodus girtyi HASS, Gnathodus commutatus commutatus BR. et M. ont été isolés. Gnathodus girtyi et Gnathodus commutatus commutatus n'ont pas une répartition stratigraphique bien définie : ils apparaissent au Tn 3a en Belgique (R. CONIL, M. LYS et A. MAUVIER, 1964) ; mais Gnathodus girtyi apparaît, en Allemagne, près de la limite Goα /Goβ (K.D. MEISCHNER, 1962), cette limite se situe dans le V 3bγ de Belgique.

Ces calcaires crinoïdiques, étant supérieurs aux calcaires crinoïdiques interstratifiés dans le Waulsortien et d'âge viséen inférieur d'après leurs Conodontes, doivent dater du Viséen moyen et la comparaison avec l'Allemagne paraît justifiée.

II - CARRIERE DE LA CHAUVELIERE

La carrière de La Chauvelière, au Nord-Nord-Ouest de celle de Boisjourdan, sur le côté nord de la route de Bierné, est noyée ; elle permet cependant de voir actuellement, sur le haut des fronts de taille émergés, des calcaires roses crinoïdiques qui doivent correspondre, compte tenu de la position de la carrière, aux calcaires crinoïdiques du sommet de Boisjourdan. Une seule espèce de Conodontes : Gnathodus girtyi HASS, y a été isolée.

III - CARRIERE DU JARD

Cette ancienne carrière, actuellement entièrement noyée, est située au Sud du chemin d'accès à la carrière de Boisjourdan. Les quelques affleurements qui surplombent le plan d'eau permettent de reconnaître un calcaire rose, pétri d'Encrines, de même texture que le "petit granit" qui, en Belgique, forme la sole des calcaires waulsortiens.

La roche, au microscope polarisant, est formée de calcite micritique servant de liant aux débris crinoïdiques de toutes tailles.

Les Conodontes :

Gnathodus texanus ROUNDY
Scaliognathus anchoralis BR. et M.
Hindeodella sp.

forment l'association caractéristique de la zone à anchoralis et plus particulièrement du milieu de cette zone (H. BOGER,1962, p. 152). En Belgique, Scaliognathus anchoralis BR. et M. n'a été rencontré que dans le Tn 3b (R. CONIL, M. LYS et A. MAUVIER,1964), mais en Allemagne, le toit de la zone se trouve dans la base du Viséen inférieur. La présence de Gn. texanus, dans cette carrière, est en faveur d'un âge viséen inférieur.

IV - CARRIERE BAUDOUIN

La carrière Baudouin est située au Nord-Ouest des précédentes exploitations, au Sud de la route de Bouère à Grez-en-Bouère, au point de coordonnées U. T. M. 687,25 et 5 305,25 (feuille de Château-Gontier).

Elle est actuellement noyée. La profonde tranchée du plan incliné de descente d'exploitation, recoupe des bancs de calcaires et calcschistes noduleux lités, écrasés, comprimés. Les niveaux plus inférieurs sont bleu-gris, les autres sont roses, riches en débris crinoïdiques.

Les calcaires bleu-gris renferment, dans un ciment de calcite microgrenue, des Pachysphaera dervillei C. et L., des Eotuberitina, associés à quelques chondroïdes et à des entroques (pl. 17, fig. 3). L'association des Conodontes est la suivante :

Gnathodus delicatus BRANSON et MEHL
Gnathodus girtyi HASS
Gnathodus commutatus commutatus BRANSON et MEHL
Prionodina cassilaris BRANSON et MEHL
Ozarkodina roundyi HASS
Lonchodina subsymmetrica ULRICH et BASSLER
Geniculatus claviger ROUNDY

La présence de G. girtyi HASS associé à G. commutatus commutatus B. et M. et Geniculatus claviger R. situe ce niveau dans la partie inférieure de la zone à bilineatus, malgré l'absence de ce marqueur essentiel (H. BOGER id. op. p. 154), c'est-à-dire au Viséen moyen.

V - CARRIERE DES RICHARDIERES (SUD DE BOUERE)

La carrière des Richardières est située à l'Ouest de la route de

Saint-Brice à Saint-Denis d'Anjou, à 1,250 km de Saint-Brice, au point de coordonnées 691,25 et 5302,75 (feuille de Château-Gontier 1/50 000). Elle est inexploitée depuis 1930; les parties profondes de l'ancienne exploitation sont actuellement noyées. Deux fronts de taille sud et est, envahis par la végétation, sont néanmoins accessibles.

Dans toute la carrière, on note la trace d'efforts mécaniques intenses. Les couches sont renversées et écrasées.

Dans la partie occidentale du front de taille sud, les calcaires de couleur bleu-noir sont lités et sont interstratifiés avec des passées schisteuses. La direction des couches est N.115° E et le pendage, vers le Sud, de 65°. Ces strates sont à la base de la série étudiée, par suite du renversement des couches constant sur le flanc sud du bassin. Dans la partie orientale du front de taille, c'est-à-dire stratigraphiquement au-dessus, viennent des calcaires pétris de grosses Encrines semblables au "Petit Granit belge", des calcaires roses ou verts, à pâte fine, avec rares entroques.

34 échantillons ont été prélevés le long de ce front de taille. Les calcaires gris-noir, lités (R 112 à R 134) sont constitués de calcite microcristalline (5 μ à 10 μ en moyenne). On y rencontre des fragments de Crinoïdes, des radioles d'Echinides (R 114), de la matière organique (R 126, R 130), du quartz bipyramidé secondaire (R 122) ou non (R 131, R 133, R 120), des calcisphères : Archaesphaera et Pachysphaera dervillei C. et L. (R 114, R 119, R 124).

Les calcaires crinoïdiques (101 à 108, 110, 111) ne montrent, dans une pâte très fine (10 μ), que des débris de Crinoïdes. L'échantillon 109 correspond à un calcaire noir, lité, très riche en filonnets d'argile avec de nombreuses Pachysphaera dervillei C. et L.

Micropaléontologie

Les Conodontes ont été recherchés dans les calcaires crinoïdiques de la partie supérieure de la série, mise à découvert dans cette carrière. Ils n'ont livré que deux espèces :

Gnathodus texanus ROUNDY
Polygnathus inornata (E.R. BRANSON)

En l'absence de Scaliognathus anchoralis BR. et M., de Pseudopolygnathus triangula pinnata VOGES, on ne peut conclure avec certitude que les formes présentes se situent dans la zone à anchoralis. Néanmoins, nous savons que Scaliognathus anchoralis BR. et M. peut manquer dans certains faciès (H. BOGER id. op.) et que, dans ce cas, on peut se référer à certaines formes associées. La présence de Polygnathus inornata qui est une forme rarissime de l'anchoralis-bilineatus Interregnum (id. op. p.154), associée à celle de Gnathodus texanus, peut sans doute suffire pour présumer

que les calcaires crinoïdiques des Richardières appartiennent bien à la zone à anchoralis. Cette zone caractérise le Tournaisien supérieur Tn 3c de Belgique et monte jusqu'au Viséen inférieur,en Allemagne. La présence de Pachysphaera dervillei C. et L. dans les calcaires noirs stratifiés inférieurs fait conclure à un âge viséen et non tournaisien supérieur, pour l'ensemble de la formation étudiée.

VI - CARRIERE DE L'EUCHE

La carrière de l'Euche, située sur le côté ouest de la route de Juvigné, à 800 m au Nord de Saint-Pierre-la-Cour, entame les formations calcaires à veines bleues (Waulsortien) du bassin de Saint-Pierre-la-Cour (Mayenne).

Sur le front de taille est, on retrouve ce qui a été dit au sujet des veines bleues dans la carrière de Boisjourdan, mais l'observation est plus difficile à cause du mode d'exploitation et parce que la roche est extrêmement fracturée. Certaines veines bleues décrivent des efflorescences de calcite comparables au type Ptylostroma, d'autres sont peu épaisses (8-9 mm) et ont un trajet filiforme. De nombreuses plaques minces montrent,dans le ciment micritique,la présence constante de Bryozoaires en section longitudinale et transversale,parfois bordant la marge de la veine soulignée par un pigment noirâtre; les Bryozoaires se retrouvent même quelquefois au cœur de la veine (pl. 16, fig. 1).

Souvent, comme à Bouère, on observe, dans la micrite, des éléments spathiques cylindriques très fins associés d'une façon dense. Les mêmes remarques qu'à Bouère, peuvent être faites, relativement à leur appartenance à des filaments algaires. En outre, des radioles d'Echinides et une Dasycladaceae ont été observées.

Le recouvrement des zones à Ptylostroma et des veines bleues par des niveaux riches en fragments crinoïdiques, de façon récurrente, est particulièrement bien visible sur le front de taille nord.

Les relations des calcaires avec les roches encaissantes ont été décrites au chapitre I relatif au Culm de Saint-Pierre-la-Cour. Les calcaires paraissent constituer des lentilles récifales isolées au sein de faciès terrigènes comme le sont les récifs à Eponges solitaires et Fenestelles (Ptylostroma) décrits par C. PAREYN (1960, p. 354). Toutefois, aucune Eponge n'a encore été trouvée à Saint-Pierre-la-Cour, et les veines bleues typiques sont relativement plus fréquentes que les Ptylostroma.

Il n'est pas possible de séparer des zones à Ptylostroma et des

zones à veines bleues simples ; les deux faciès paraissent intimement associés.

VII - CARRIERE DE FEUE-VILAINE

Cette carrière est située sur le côté sud de la route de Saint-Pierre-la-Cour à Bréal, à 850 m,à vol d'oiseau vers le Sud-Ouest, de l'église de Saint-Pierre-la-Cour. Elle est longue de 350 m environ et est activement exploitée,à la mine,par les Cimenteries Lafarge ; elle entame le même calcaire(à veines bleues et passées crinoïdiques)qu'à l'Euche. Aucun élément nouveau,par rapport à ce qui a été observé à l'Euche,n'a été découvert, le mode d'exploitation ne permettant pas d'ailleurs une étude comparable à celle faite à Boisjourdan.

FACIES ENVIRONNANTS STRATIFIES

Les calcaires bleus, ou gris, à texture fine existent dans la zone sud-ouest entre les deux lentilles (biohermes) de Bouère et de Saint-Pierre-la-Cour.

Les affleurements étudiés se situent (planche hors texte) :

I - dans la région de Changé :
- . Rochefort
- . chemin creux de La Châtaigneraie
- . Saut-Gauthier

II - à Laval : Les Fourches

III - à Laval : l'Usine "Le Matériel Téléphonique"

IV - à Forcé, le long de la Jouanne

V - à La Cropte.

I - CHANGE

A - ROCHEFORT

La carrière d'Andenne étant actuellement remblayée par les décharges publiques de la ville de Laval, j'ai étudié les calcaires bleu-gris stratifiés sur le bord nord de la route de Changé à Saint-Berthevin, à 400m à l'Ouest de l'église de Changé, au lieu dit Rochefort.

Les calcaires affleurant à cet endroit ont une direction N.120° E, un pendage sud difficile à repérer par suite de la schistosité subverticale ; ils correspondent à la base des Calcaires de Laval, car ils sont, en direction, avec les Calcaires de Laval qui surmontent la Grauwacke à Paléchinides (chemin de La Châtaigneraie) (fig. 70, p. 183). 8 échantillons ont été prélevés sur 5 à 6 m de puissance.

Le microfaciès est relativement homogène : le ciment de calcite est finement grenu (dimension moyenne des grains : 10μ), mais beaucoup de grains sont beaucoup plus fins, de l'ordre du μ ; il renferme de très nombreux grains de quartz de petite taille (50μ). Les éléments bioclastiques sont :

- des fragments de Bryozoaires
- des débris de Crinoïdes de très grande taille (plusieurs mm)
- des radioles d'Echinides
- des Foraminifères (Plectogyres, Earlandiidae, Eotuberitina, Palaeospiroplectammina diversa (N. TCHERN.)
- des calcisphères (Archaesphaera et Pachysphaera dervillei C. et L.
- des débris algaires (Dvinella CHVOROVA)

La base du "Calcaire de Laval", dans cette zone, est donc franchement organoclastique. Elle ne diffère du Calcaire de Sablé proche, que par la finesse du ciment et l'absence de macrofossiles (Brachiopodes et Polypiers). L'association microfaunique est comparable à celle caractérisant le V 1a, décrite dans le chapitre relatif au Calcaire de Sablé. Cette première colonisation du benthos par des Foraminifères indifférents aux conditions de milieu (Earlandia, Eotuberitina ...), associés à des Archaesphaera, est comparable à ce que l'on observe en Belgique. Le Tournaisien supérieur (Tn3) du bassin de Dinant aussi bien que le Viséen inférieur (V 1) de la région de la Dendre sont recolonisés par les Foraminifères, là où s'installera ensuite le faciès waulsortien. L'assemblage microfaunique comprend les formes citées ci-dessus quel que soit l'âge Tn3 ou V 1 établi à l'aide des Brachiopodes (R. CONIL, 1966).

B - CHEMIN DE LA CHATAIGNERAIE

Les calcaires stratifiés de couleur bleue, à schistosité bien marquée, situés au-dessus de la Grauwacke à Paléchinides, affleurent à la sortie sud du chemin creux de La Châtaigneraie, dans le bourg de Changé (éch. 126, 127, 128, 129, 130, 131, 149, 150).

La sédimentation est homogène. Les cristaux de calcite du ciment sont finement grenus (50μ). Les quartz et micas sont nombreux, associés à de la matière organique, à la base de la série étudiée. Les Crinoïdes sont constants ainsi que les Bryozoaires. Des Archaesphaera silicifiées et des Plectogyres existent dans l'échantillon 128. A la partie supérieure de la série (éch. 149, 150), les éléments détritiques ont disparu et la calcite est très finement grenue.

C - CARRIERE DE LA COULDRE

Cette carrière située sur le côté ouest de la route de Changé à Laval, à 550 m au Sud de Changé, envahie actuellement par la végétation et difficile d'accès, entame la partie supérieure des calcaires entrevus dans le chemin de La Châtaigneraie.

La partie nord-est de la carrière met à jour les calcaires bleus à aspect massif, à forte schistosité dont le pendage est inverse de celui de la stratification. Les calcaires sont constitués de calcite à grain très fin (15μ à 20μ). Certaines zones sont recristallisées en calcite spathique. Les seuls éléments bioclastiques sont des Crinoïdes et des Bryozoaires, associés à quelques Eotuberitina.

D - SAUT-GAUTHIER

Au lieu dit Saut-Gauthier, sur la route de Laval à Changé, dans la tranchée est de la route, affleure un calcaire rose lie-de-vin, équivalent de la partie supérieure de la carrière de la Couldre. Il possède un délit schisteux, les plans de schistosité sont indiqués par des phyllites. La couleur et l'allure amygdaloïde de la roche évoquent les calcaires griottes. Néanmoins, la couleur des calcaires du Saut-Gauthier n'est pas aussi intense que celle des calcaires griottes du Famennien de la Montagne Noire (Hérault) qui renferment de l'oligiste.

En section polie, des sphéroïdes, ou ellipsoïdes, de 1 cm à 1,5 cm paraissent individualisés dans la masse par des lignes de fracture. En fait, rien ne les différencie, du point de vue minéralogique, du reste de la roche.

En plaque mince, l'essentiel du sédiment est formé par de la calcite très fine (grains de quelques microns). Des phénomènes de quartzification secondaire sont visibles. Le long des plans de schistosité de fracture, la calcite est largement cristallisée, associée aux chlorites en paillettes vertes. Celles-ci ont un fort pléochroïsme, une biréfringence relativement élevée et doivent être apparentées au clinochlore. Les seuls corpuscules bioclastiques sont des fragments de Crinoïdes de toutes tailles (quelques centaines de microns à plusieurs millimètres) (pl. 17, fig. 1).

L'étude précise de ces calcaires montre que leur ressemblance avec les calcaires griottes et les calcaires noduleux est assez lointaine. En particulier, ils ne sont pas constitués "de nodules de 1 à 7 ou 8 cm noyés dans une gangue à structure feuilletée" (G. LUCAS,1955 a et b). On n'observe pas d'alternances de niveaux calcaires ou argileux, ou de calcaires tachetés,comparables à ce qui a été décrit par A. OVTRACHT et L. FOURNIE (1956) pour les calcaires griottes de la Montagne Noire.

Au Saut-Gauthier, l'aspect amygdaloïde de la roche est d'origine tectonique. Cette boue très fine a subi des phénomènes de compaction, puis d'étirement intense de telle sorte que,le long des plans de schistosité, se sont développées des chlorites diagénétiques correspondant aux impuretés argileuses et siliceuses présentes dans la boue originelle. Il semble qu'il y ait là un léger métamorphisme résultant,soit de l'intervention d'une granitisation syntectonique profonde (P. FOURMARIER, A. PELHATE et B. AUVRAY,1965), soit d'un dynamométamorphisme.

La couleur rouge des sédiments est en relation avec un milieu de sédimentation oxydant, c'est-à-dire bien aéré par l'intervention de courants ; ceci est en accord avec l'état très fragmenté des débris crinoïdiques.

Micropaléontologie

Une riche association de Conodontes a été découverte (A. P.,1962) dans les calcaires du Saut-Gauthier :

Gnathodus texanus passant à Gnathodus semiglaber BISCHOFF
Gnathodus texanus ROUNDY
Gnathodus semiglaber BISCHOFF
Gnathodus texanus proche de Gnathodus girtyi HASS
Hindeodella ULRICH et BASSLER
Hindeodella brevis BRANSON et MEHL
Ozarkodina BRANSON et MEHL
Ozarkodina delicatula STAUFFER et PLUMMER
Ozarkodina roundyi HASS

Cette association est caractéristique de l'anchoralis-bilineatus Interregnum : les calcaires du Saut-Gauthier correspondraient donc au V 2a.

E - SERIE SILICEUSE DU SAUT-GAUTHIER

Au-dessus des calcaires amygdaloïdes roses du Saut-Gauthier, affleurent des roches d'un type tout à fait différent. On observe, tout d'abord, une alternance de calcaires noirs (CH SG 7) et de schistes calcareux (CH SG 6), puis une formation à grain fin rubannée "rappelant un peu la "pierre carrée" du bassin de la Basse Loire" (D. OEHLERT,1911, p. 657), enfin des calcaires qui sont en contact avec les Schistes de Laval.

H. PAUL (1942) cite ces "calcaires siliceux" et les assimile aux calcaires siliceux et schistes de l'horizon du Kieselkalk (Culm pélagique allemand), au Nord de Brilon (Wesphalie), sans paraître avoir fait une étude pétrographique détaillée et sans signaler de microfossiles ; ces calcaires appartiendraient ainsi à la partie supérieure du Viséen moyen ou à la base du Viséen supérieur (Lexique Stratigraphique International, E. PAPROTH, 1960, p. 125; A. VOGES, 1960).

L'ensemble de la formation rubannée, à grain fin comprend des niveaux riches en spicules d'Eponges, rappelant les spongolithes décrites dans la carrière Saint-Roch (Changé) et des intercalations de type tuffacé. Celles-ci se débitent en parallèlipipèdes et montrent une zonation de lits verdâtres très fins (épaisseur:1 cm), lits beiges plus grossiers (épaisseur:2 cm), et lits noirâtres (épaisseur:quelques mm).

L'étude au microscope polarisant de plusieurs échantillons montre la constance des éléments principaux : quartz en éclats à contours anguleux, feldspaths (albite), biotite, chlorite, minéraux opaques, apatite bien cristallisée, zircon, dispersés dans une pâte cryptocristalline siliceuse, parfois chloritisée. La calcite peut apparaître en plages dans certains niveaux. La biotite, l'apatite et les minéraux opaques sont plus abondants dans certains échantillons. Aucune analyse modale n'a pu être tentée par suite de la finesse de la roche. (pl. 12, fig. 4)

La constance de la composition minéralogique, la présence de biotite et d'apatite, la forme des quartz et des feldspaths, l'allure et le grain très fin de la roche sont en faveur d'une origine volcanique (tufs) et non détritique des éléments observés. Cependant, il y a tous les termes de passage entre des pélites et de véritables tufs. Il semble donc que, dans cette région, soient conservées les traces d'un volcanisme acide de type explosif : les cendres déposées dans le bassin de sédimentation ayant été mêlées par endroits aux éléments terrigènes et l'apport de silice ayant favorisé le développement de Spongiaires.

Des produits de ces éruptions se retrouvent dans les couches à Spongiaires les plus élevées de la carrière Saint-Roch qui contiennent,

comme on l'a vu au chapitre II, des feldspaths (albite) et de la biotite. Cette série est située à la partie supérieure du V 2a, puisqu'elle couronne les calcaires de la carrière Saint-Roch. Or, les calcaires du Saut-Gauthier, par leurs Conodontes, peuvent être datés également du V 2a. Les tufs du Saut-Gauthier et les niveaux siliceux de la partie supérieure de Saint-Roch sont donc du même âge et sont les témoins plus ou moins directs d'un même phénomène volcanique.

Au-dessus de cette série volcanique, la sédimentation calcaire reprend. Il s'agit de calcaires gris-noir à grosses Encrines. Le ciment essentiellement constitué par de la calcite microcristalline (89,5 %), renferme du quartz d'origine organique (0,56 % correspondant à des spicules d'Eponges recristallisés), 8,7 % sont détritiques et associés à des feldspaths plagioclases (0,67 %), à de la biotite (0,11 %), à des chlorites (0,22 %), à de la pyrite (0,30 %).

II - LAVAL (LES FOURCHES)

La localisation et la description des fouilles de ce chantier ont été faites au chapitre III.

Le faciès des calcaires dinantiens était représenté par des calcaires bleus crinoïdiques, en gros bancs (FL 5) situés au-dessus de la Grauwacke à Paléchinides (Chaufferie du lotissement). Des calcaires gris-vert, crinoïdiques et des schistes calcareux affleuraient dans les fouilles D, E, G, (échantillons D 10, D 11, D 12, D 13) et sont stratigraphiquement supérieurs aux calcaires bleus crinoïdiques.

A - DESCRIPTION PETROGRAPHIQUE

Le calcaire bleu FL 5 est constitué d'un ciment micritique (cristaux de l'ordre de quelques microns) renfermant de nombreux débris crinoïdiques.

Les calcaires gris-vert et les schistes calcareux (D 10, D 11, D12, D 13) présentent la même constitution pétrographique : ciment micritique à éléments de l'ordre de quelques microns. Il peut être silicifié par zones (D 10) ou renfermer des quartz de petite taille (20μ à 30μ) (D 13), des cristaux de pyrite, ou des éléments phylliteux. Les fragments crinoïdiques et les Bryozoaires sont abondants. Des Eotuberitina en mauvais état ont été décelés dans l'échantillon D 11.

B - MICROPALEONTOLOGIE

La recherche de Conodontes n'a été fructueuse que dans les calcaires gris-vert crinoïdiques de la fouille D.

L'association suivante a été dénombrée :

Gnathodus texanus ROUNDY
Gnathodus semiglaber BISCHOFF
Pseudopolygnathus triangula pinnata VOGES
Ozarkodina

Les trois premiers genres sont caractéristiques de la zone à anchoralis et indiquent donc un âge viséen inférieur (A. PELHATE, 1962).

III - FONDATIONS DE L'USINE "LE MATERIEL TELEPHONIQUE"(L.M.T.) A LAVAL, ROUTE DE RENNES

Une tranchée de direction Nord-Sud, exposée à l'Est, a permis d'observer la succession suivante, du Nord au Sud :

- schistes grauwackeux azoïques et schistes gris (éch. : L.M.T. 3 et 4) venant buter contre des calcaires lie-de-vin
- calcaire lie-de-vin à délit schisteux (5,60 m)(L.M.T. 2)
- calcaire noir à délit schisteux (éch. 5)
- schistes calcareux verts (éch. 6)
- schistes calcareux rouges
- calcaire blanc crinoïdique (1,50 m) (éch. 7)
- schistes calcareux verts (3,50 m)
- calcaire blanc crinoïdique (0,50 m)
- schistes calcareux verts (15 m)
- calcaire rouge crinoïdique (éch. 8)

Une série de fouilles implantées sur le chantier (fig. 74) a permis de retrouver les calcaires gris-vert crinoïdiques, situés au-dessus des schistes grauwackeux affleurant dans la tranchée citée plus haut. La surface des calcaires montrait de magnifiques lapiez.

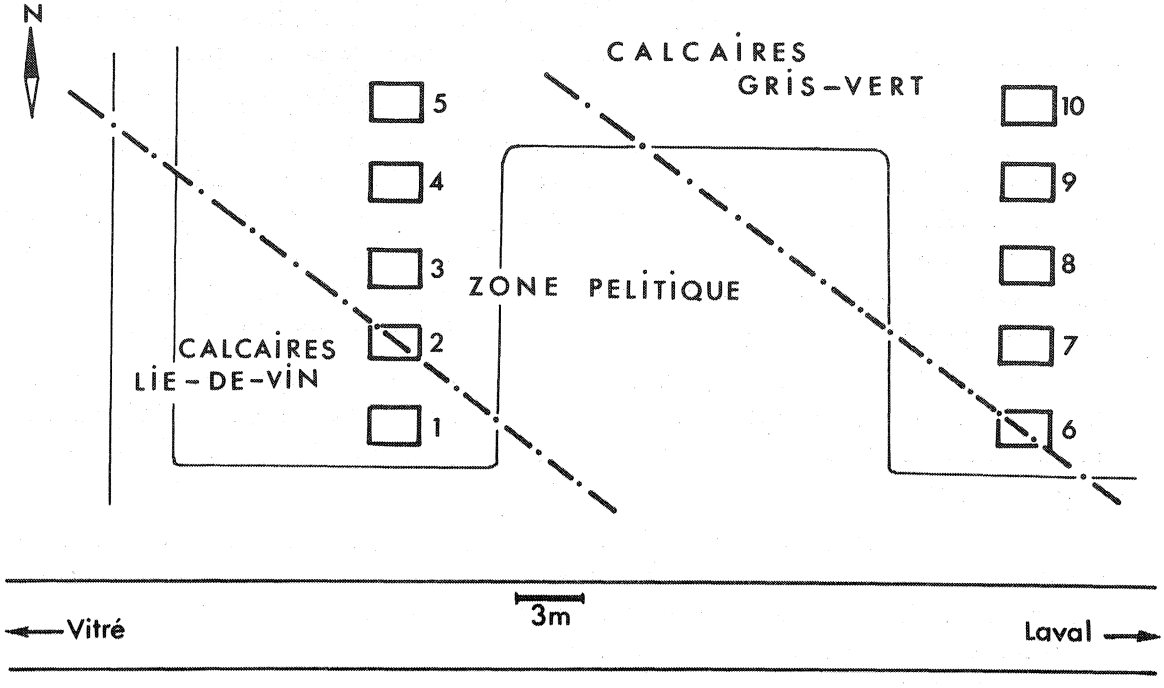


Fig. 74 - Plan d'implantation des fouilles de l'usine "Le Matériel Téléphonique", Laval.

A - DESCRIPTION PETROGRAPHIQUE

- Les schistes grauwackeux azoïques (L.M.T. 3) sont constitués de quartz microcristallin et de phyllites disposées suivant les plans de schistosité. Des cristaux de chlorite (150 μ à 180 μ) sont développés perpendiculairement au plan de stratification et repoussent les feuillets de la matrice originelle. Ces cristaux recoupent donc le clivage. Ils sont postérieurs au phénomène ayant donné naissance à la schistosité. Ces caractères font penser à un métamorphisme de contact. Ceci est comparable à ce qui a pu être observé dans le Briovérien, au Sud de Janzé (I-et-V) (P. FOURMARIER, A. PELHATE, B. AUVRAY, 1965, p. 35).

D'autre part, l'ensemble des strates (calcaires et pélites) présente, dans cet affleurement, une forte schistosité de flux. On peut donc penser ici (ibid. p. 35) que "l'intervention successive des actions de granitisation en profondeur a permis le développement de la schistosité, puis celle d'un massif circonscrit qui n'est pas monté assez près de la surface pour être atteint par l'érosion, mais qui s'est manifesté... par l'apparition de minéraux indépendants de l'allure du clivage, postérieurs par conséquent à la formation de celui-ci".

- Les pélites gris clair (L. M. T. 4), au contact même des calcaires lie-de-vin, constituent un niveau très intéressant.

La roche est formée de quartz très fin (cristaux de quelques microns) et de lamelles phylliteuses. L'attention est attirée par la présence de nombreuses plages microquartzitiques de formes irrégulières soit circulaires, soit allongées en bâtonnets. La régularité de ces sections et leur dimension constante (25 μ à 40 μ de diamètre) font leur attribuer une origine organique ; malgré l'absence de canal axial (due à la recristallisation intense) il s'agit vraisemblablement de spicules de Spongiaires.

Il est difficile, étant donné le renversement des couches sur le flanc sud du synclinorium de Laval, de préciser la place stratigraphique de ces niveaux péliteux L. M. T. 3 et L. M. T. 4, en l'absence de fossiles caractéristiques.

Le niveau à Spongiaires (L. M. T. 4) a été retrouvé dans des fondations de maisons, d'une part, sur le côté nord de la route de Bretagne, en face du n° 59bis (BL 1) et d'autre part, sur le côté est de la route de Beauvais (BL 2). Ces deux points sont alignés suivant la direction des couches et concernent donc le même niveau. Ces niveaux étaient, comme dans les fouilles L. M. T., en contact avec les calcaires crinoïdiques.

Les gisements de L. M. T. 4 et BL 1-BL 2 ne sont pas dans le prolongement l'un de l'autre ; il semble donc que les pélites à Spongiaires réapparaissent à la faveur de plis secondaires qui affectent les calcaires.

- Calcaire lie-de-vin à délit schisteux (L. M. T. 2)

Il est constitué de calcite cryptocristalline (cristaux de quelques microns) dans laquelle se rencontrent, épars, des éléments crinoïdiques de grande taille (plusieurs millimètres).

- Schistes calcareux verts (L. M. T. 6)

Ils sont formés de calcite finement grenue (cristaux de 5 à 10 μ). Dans ce ciment, se trouvent, à l'état dispersé, quelques rares éléments microquartzeux, des cristaux de pyrite et des Eotuberitina reitlingerae M. MAKL. déformées.

- Calcaire crinoïdique rouge (L. M. T. 8)

Le calcaire est composé d'un amoncellement de tiges de Crinoïdes liées entre elles par un ciment calcitique micritique.

B - MICROPALEONTOLOGIE

- La liste des Conodontes recueillis dans les calcaires crinoïdiques gris-vert, affleurant dans la fouille 6 et situés au-dessus des pélites à Spongiaires est la suivante :

Gnathodus texanus ROUNDY
Gnathodus texanus aff. girtyi HASS
Gnathodus semiglaber BISCHOFF
Gnathodus bilineatus bilineatus ROUNDY
Prioniodina sp.
Prioniodina cassilaris BRANSON et MEHL
Hindeodella sp.

Ces formes sont caractéristiques de la zone à bilineatus. Les calcaires gris-vert de la fouille 6 peuvent donc être datés du Viséen moyen V 2b.

- Dans les calcaires schisteux lie-de-vin, les Conodontes suivants ont été isolés

Gnathodus texanus ROUNDY
Gnathodus semiglaber BISCHOFF
Gnathodus delicatus BRANSON et MEHL
Ozarkodina roundyi HASS
Ozarkodina delicatula STAUFFER et PLUMMER
Tripodellus sp.
Hindeodella sp.
Euprioniodina sp.

Cette association (G. texanus, G. semiglaber, G. delicatus), en l'absence de Scaliognathus anchoralis B. et M., de Pseudopolygnathus triangula pinnata VOGES, est caractéristique de l'Interregnum anchoralis-bilineatus, c'est-à-dire date les calcaires schisteux lie-de-vin de la base du Viséen moyen V 2a.

- Les pélites à Spongiaires apparaissent interstratifiées entre les calcaires schisteux, lie-de-vin, de la base du Viséen moyen et les calcaires gris-vert, crinoïdiques, du sommet du Viséen moyen V 2b ; elles datent donc elles-mêmes du Viséen moyen.

IV - FORCE

- Au Sud-Ouest de Forcé, le long de la rive droite de la Jouanne, affleurent les calcaires dinantiens. Leur direction est N. 150° E et leur pendage de 40° vers le Sud. Ils sont déversés et affectés d'une forte schistosité

et de replis secondaires (cf. fig. 72, chap. III). Leur litage est régulier.

Les calcaires ont une texture très fine ; certaines passées organoclastiques d'une dizaine de centimètres de puissance, sont assez riches en fragments crinoïdiques. La calcite microcristalline, associée à de la dolomite (cristaux de dimension moyenne 5 à 10 μ) forme l'essentiel de la roche qui englobe des amas quartzeux diagénétiques. Les niveaux organoclastiques contiennent des fragments de Crinoïdes de quelques millimètres, des débris de Bryozoaires, des Foraminifères (Eotuberitina) et des Archaesphaera.

- Sur le côté sud-ouest de la route de Laval à Sablé, dans le bourg même de Forcé, dans une ancienne carrière en voie de comblement, on peut voir des calcaires semblables à ceux observés le long de la Jouanne. La schistosité est nette et a même inclinaison que le pendage, vers le Sud. Dans la partie sud-est de la carrière, une masse pélitique affleure, interstratifiée entre deux bandes de calcaires. La roche est constituée de quartz extrèmement fin (5 μ à 8 μ) ; certaines parties plus grossières ont une forme particulière : allongée ou circulaire . Elles correspondent certainement, étant donné la constance de leur configuration, à des fantômes de spicules de Spongiaires entièrement recristallisés en microquartz.

Cette zone siliceuse est comparable à celle qui a été observée à l'Usine "Le Matériel Téléphonique", à Laval. La position stratigraphique apparaît identique entre deux bandes de calcaires.

Malheureusement, les calcaires de Forcé ne contiennent aucune microfaune (ni Foraminifères, ni Conodontes), et, par conséquent, ne peuvent pas être datés avec certitude.

Cependant, l'apparition de ces niveaux siliceux à Spongiaires au sein de la sédimentation calcaire est un phénomène remarquable qui permet d'émettre l'hypothèse que les pélites à Spongiaires de l'Usine L.M.T. de Laval et celles de Forcé sont des formations homotaxiques datant du Viséen moyen (cf. paragraphe relatif à l'Usine "Le Matériel Téléphonique", Laval).

V - LA CROPTE (CARRIERE DU ROCHER)

La carrière est située sur la rive gauche d'un affluent de la Vaige, au point de coordonnées Lambert (686,80 et 5 313,75, feuille de Meslay), à 600 m de la ferme du Rocher, à 1 km au Sud de la Cropte (Mayenne).

La carte géologique de La Flèche au 1/80 000 (1ère et 2ème éditions) indique, à cet endroit, du Culm inférieur. En fait, la carrière entame des calcaires gris, à pâte fine, affectés de nombreuses cassures. La roche apparaît massive (fig. 74). 14 échantillons ont été prélevés dans cette carrière.

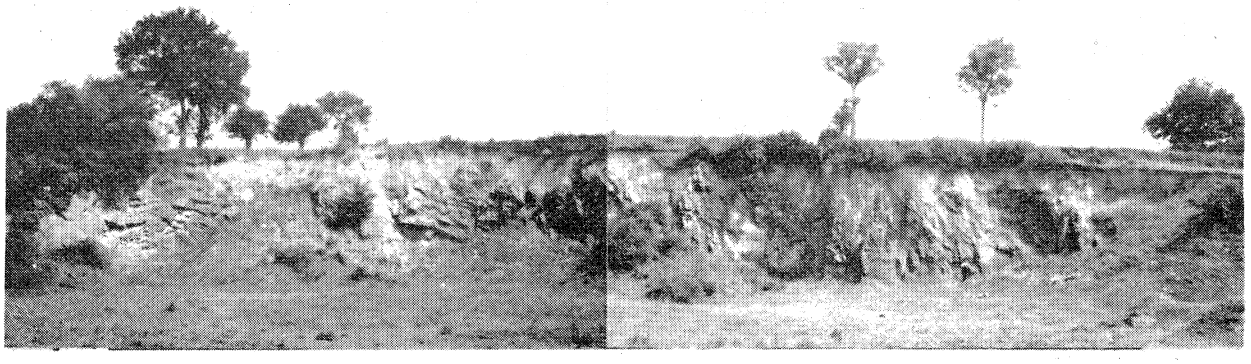


Fig. 75 - Carrière de La Cropte.

La formation est homogène. La roche est formée de calcite à grain fin (dimension moyenne des cristaux : 10 à 50μ), dans laquelle se rencontrent de grands fragments de Crinoïdes parfois recristallisés. Le quartz est parfois présent (éch. CR 6). Certains niveaux (CR 8 et CR 13) renferment des Pachysphaera dervillei CONIL et LYS ; mais la roche n'a pas livré de Conodontes.

CONCLUSIONS

I - PLACE STRATIGRAPHIQUE DU CALCAIRE DE LAVAL

Mise à part la lentille biohermale de Saint-Pierre-la-Cour, datée à l'aide de ses macrofossiles (Productus sublaevis v. christani de KON., Productus pustulosus PHIL., Productus corrugatus MAC COY (Y. MILON, 1924) du Viséen inférieur, les autres faciès étaient considérés comme azoïques. Les Conodontes et, accessoirement, les calcisphères ont permis de préciser la stratigraphie.

Les zones de Conodontes établies, en Allemagne, par G.BISCHOFF (1957), A. VOGES (1960) et H. BOGER (1962) ont été retrouvées dans le bassin de Laval. Les corrélations stratigraphiques ont été faites en se basant sur le travail de R. CONIL et E. PAPROTH (1967).

- Zone à anchoralis

L'association caractéristique :

Gnathodus texanus ROUNDY
Scaliognathus anchoralis BRANSON et MEHL

a été mise en évidence dans les calcaires crinoïdiques du Jard (Sud de Boisjourdan, Bouère) ; la zone à anchoralis commence en Belgique et en Allemagne avec le Tournaisien supérieur et le toit de la zone se situe à la base du Viséen inférieur.

Un peu plus haut dans la série (Boisjourdan : faciès à veines bleues ; Les Fourches Laval), apparaissent :

Pseudopolygnathus triangula pinnata VOGES
Gnathodus semiglaber BISCHOFF
accompagné de Gnathodus texanus ROUNDY.

Scaliognathus anchoralis B. et M. a disparu, mais Pseudopolygnathus triangula pinnata VOGES, forme un peu plus tardive (A. VOGES, 1960), suffit à caractériser la partie supérieure de cette zone à anchoralis, correspondant à la partie inférieure du Viséen inférieur.

- Interregnum anchoralis-bilineatus

Gnathodus texanus R. passant à Gnathodus semiglaber B.
Gnathodus semiglaber BISCHOFF
Gnathodus texanus R. proche de G. gyrtii HASS
Gnathodus delicatus BRANSON et MEHL

caractérisent cette zone intermédiaire. Elle est représentée avec certitude au Saut-Gauthier (Changé) et dans les calcaires lie-de-vin du chantier L. M. T. (Laval). En Allemagne, l'interregnum se situe à la partie supérieure du Viséen inférieur. Il paraît atteindre, dans le bassin de Laval, la base du Viséen moyen (V 2a), par suite de la présence de la forme de passage de Gn. texanus à Gn. gyrtii.

- Zone à bilineatus

Gnathodus bilineatus bilineatus ROUNDY
Gnathodus gyrtii HASS
Gnathodus commutatus commutatus BRANSON et MEHL
Geniculatus claviger ROUNDY

sont les formes essentielles de cette zone.

Leur sont associés, dans les gisements étudiés (carrière Baudouin ; calcaires gris-vert de l'usine L. M. T., Laval) :

Gnathodus delicatus BRANSON et MEHL

Gnathodus texanus ROUNDY
Gnathodus semiglaber BISCHOFF.

Cette association est caractéristique de la partie inférieure de la zone à bilineatus.

Gnathodus girtyi apparaît, en Allemagne, très près de la limite Goα/Goβ (K. D. MEISCHNER, 1962), c'est-à-dire dans le V 3b. Par contre, Gnathodus bilineatus, Gnathodus semiglaber, Gnathodus texanus apparaissent avant le V 2b. En conséquence, il semble que l'association rencontrée dans le bassin de Laval caractérise la partie supérieure du Viséen moyen (V 2b).

II - SIGNIFICATION PALEOGEOGRAPHIQUE DU CALCAIRE DE LAVAL

Le "Calcaire de Laval", constitué en majeure partie par une micrite très finement stratifiée, a dû se déposer à une profondeur telle que la turbulence n'était pas assez puissante pour s'opposer au dépôt d'une boue micritique.

Lors de l'installation du régime calcaire, les calcisphères et les Foraminifères (Eotuberitina, Plectogyres) colonisent le milieu et apparaissent à la base du dépôt. Ils sont associés à de rares Crinoïdes et Bryozoaires.

Puis, les biohermes waulsortiens s'installent, séparés par des zones intermédiaires de caractères très différents (tableau XLIII).

A - DANS LES ZONES BIOHERMALES (Saint-Pierre-la-Cour, Bouère), la sédimentation se poursuit au-dessus des calcaires à Eotuberitina

1°) par des calcaires crinoïdiques (Les Richardières, Le Jard) qui constituent la sole des récifs waulsortiens. Ils peuvent être datés du Tournaisien supérieur - Viséen inférieur par leur association de Conodontes (zone à anchoralis). Il semble donc que, dans ces régions, les conditions étaient favorables au grand développement des Crinoïdes ; la présence de ces organismes sessiles, microphages, implique des mouvements de l'eau suffisants pour assurer le maintien, en suspension, des particules organiques leur servant de nourriture.

2°) au-dessus, se situent les biohermes waulsortiens. Ces derniers sont constitués, pour la plus grande partie, par des Bryozoaires. Pour H. DUNCAN (1957), ces organismes vivent, de préférence, à une profondeur légèrement inférieure à la base des vagues. Dans le bassin de Laval, la

présence de débris algaires (Dasycladaceae et Codiaceae) dans la micrite et l'existence supposée d'Algues molles,pour l'édification des efflorescences calcitisées,n'autorisent pas une profondeur supérieure à 60 mètres. Il semble que les Bryozoaires,dont le développement est rapide,aient repoussé les Crinoïdes à la périphérie de leur biotope, aidés peut-être par les Algues. Ils ont contribué à la formation d'un calcaire massif (bioherme) en retenant la micrite dans les mailles de leur réseau et entre leurs frondes. L'abondance de la micrite (précipité chimique) dans ce dépôt peut être expliquée, soit par l'action des Algues (photosynthèse) comme l'estiment M.K. ELIAS et CONDRA (1957) in R.A.H. NICHOLS, 1965, ou encore par les phénomènes de putréfaction d'animaux mous,comme le supposait H. de DORLODOT (1911),soit par l'accumulation de fins débris organoclastiques (fine mouture d'éléments algaires, de thèques de Bryozoaires...) sans qu'il reste, à cette échelle, de traces organiques identifiables (K.H. WOLF, 1965).

Le caractère le plus apparent de ce calcaire est l'existence de veines et d'efflorescences bleues. Dans les veines proprement dites, la structure des Bryozoaires est très rarement conservée, comme le signale C. PAREYN (1960, p. 352) dans les récifs sahariens. L'origine des zones élargies et digitées, formées de grands cristaux spathiques, paraît s'expliquer d'une façon satisfaisante par l'existence d'organismes mous, vraisemblablement des Algues. A l'état vivant, les Algues dressaient leurs thalles sinueux, en association avec les frondes de Bryozoaires. Après la mort, elles devaient former des amas en coussinets aplatis, reposant sur les voiles de Fenestelles. Après leur putréfaction, les Algues ont laissé des vides remplis secondairement de calcite spathique. Cette interprétation permet de comprendre le caractère désordonné de la disposition des efflorescences spathiques par rapport à la stratification.

La destruction périodique des Bryozoaires est, sans doute, en rapport avec une turbulence accrue, à certains moments. Les Crinoïdes qui devaient prospérer autour des biotopes à Bryozoaires dans des zones de faible courant, protégés par le récif, étaient démantelés et leurs débris venaient se mêler à la micrite et participer ainsi à l'édification du récif. On note, à ce moment, un arrêt de la sédimentation à veines bleues.

La rythmicité observée : calcaires à veines bleues - micrite à Crinoïdes,correspondant à l'alternance calme - turbulence,est liée à un phénomène de subsidence à vitesse irrégulière ; lors de l'approfondissement du bassin, on assiste à un développement des Bryozoaires et d'Algues ; par suite, la croissance des bancs rattrape l'enfoncement subi et le milieu de sédimentation redevient plus turbulent avec apport de Crinoïdes, puis,de nouveau,le bassin s'approfondit.

Selon la définition des biohermes,donnée par F.S. MACNEIL

(1954), les calcaires waulsortiens à Bryozoaires et Algues constituent un bioherme, c'est-à-dire une structure formée par des organismes en voie de développement et dont la dimension verticale dépasse l'épaisseur des sédiments déposés à la même époque, autour de lui. Ont-ils constitué de véritables récifs ? Celà ne paraît pas vraisemblable étant donné la nature des organismes constructeurs. Des restes d'organismes (Crinoïdes, Echinides) qui vivaient sur ou près du bioherme sont associés aux calcaires à veines bleues. Les calcaires waulsortiens ont formé plus tôt des bancs,c'est-à-dire:des proéminences isolées sous une profondeur d'eau supérieure à 12 m (MACNEIL, 1954, p. 399). Les roches de flancs des véritables récifs n'ont pas été observées .. on ne peut exclure à priori leur existence, car elles peuvent échapper à l'observation par suite de la discontinuité des affleurements.

Ces biohermes sont comparables à ce que A. R. TROELL (1962) a décrit dans le Mississipien du Sud-Ouest du Missouri et du Nord-Ouest de l'Arkansas où les lentilles de calcaire massif ont une dizaine de mètres d'épaisseur et une centaine de mètres de longueur, tandis que dans le bassin de Laval, elles paraissent plus développées. Des calcaires crinoïdiques entourent le bioherme constitué de calcite micritique et de Bryozoaires. Les mêmes hypothèses que celles exposées plus haut sont évoquées par A. R. TROELL, pour expliquer la genèse de ces biohermes américains.

3°) A Bouère, le sommet du bioherme est recouvert par les calcaires crinoïdiques : les conditions redeviennent identiques à ce qu'elles étaient avant l'installation des récifs. Puis, la sédimentation cesse par suite de l'envasement. La dernière assise de calcaires crinoïdiques est surmontée par les calcaires argileux,lie-de-vin,à délit schisteux.

A Saint-Pierre-la-Cour, une émersion soudaine a dû mettre fin à la sédimentation, les Schistes de Laval n'étant pas connus dans cette région.

Les calcaires waulsortiens se terminent au Viséen inférieur (zone à anchoralis).

4°) Au-dessus des récifs waulsortiens de Bouère,se déposent des calcaires gris micritiques et des calcaires roses crinoïdiques. La sédimentation est donc comparable à celle qui existait déjà à la base : boue fine carbonatée, à Crinoïdes. Elle est datée de la partie supérieure du Viséen moyen (zone à bilineatus).

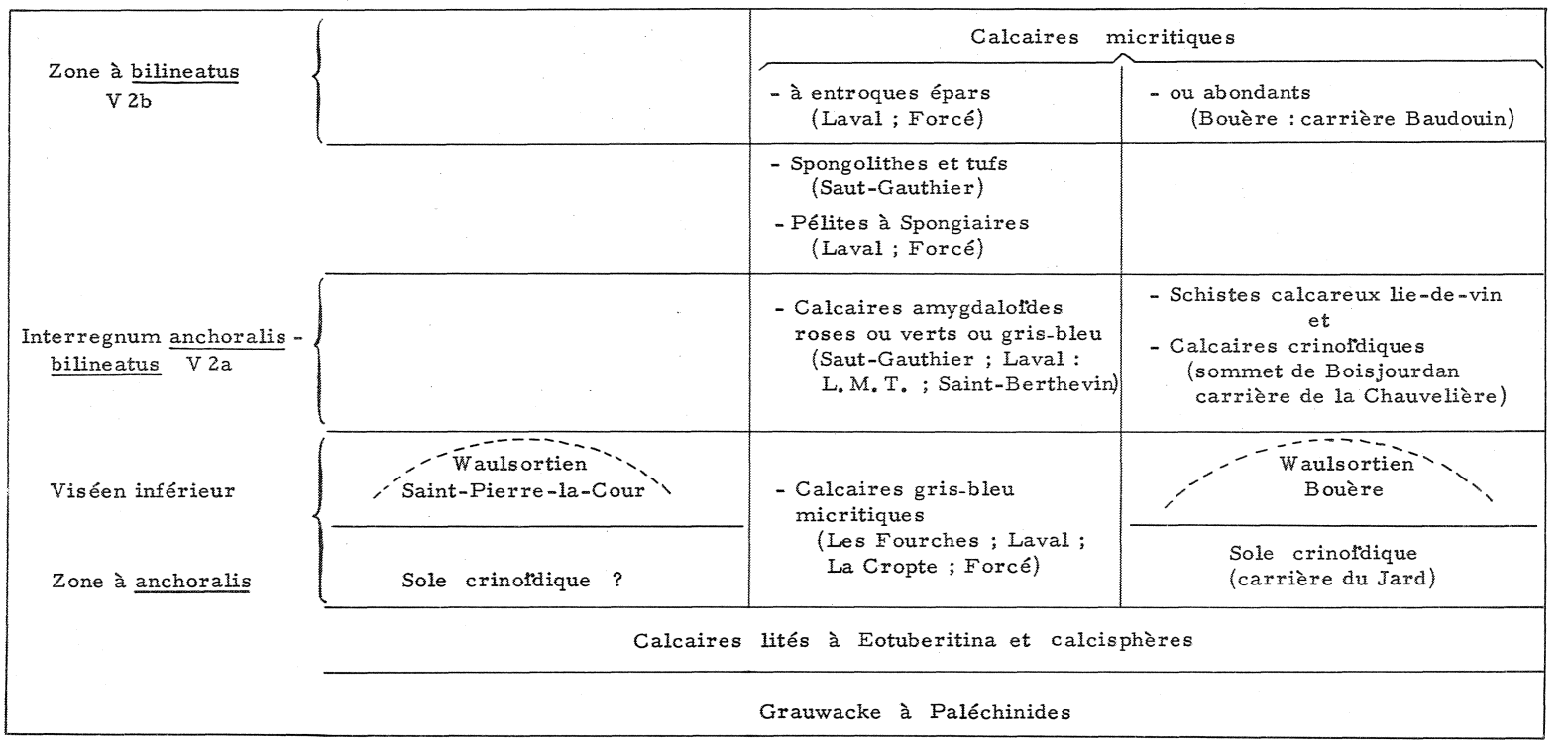


TABLEAU XLIII - Stratigraphie du Calcaire de Laval.

B - DANS LES ZONES INTERMEDIAIRES (Laval, Changé, Forcé, La Cropte), la série se poursuit, au-dessus des calcaires à Eotuberitina

1°) par des calcaires micritiques gris-vert ou gris-bleu, à éléments crinoïdiques dispersés, stratifiés et affectés d'une forte schistosité. A Laval et à Changé, ils renferment des Conodontes (partie supérieure de la zone à anchoralis) et sont, de ce fait, évidemment contemporains des biohermes waulsortiens : Viséen inférieur.
A Forcé et à La Cropte, les mêmes calcaires sont dépourvus de microfossiles, mais leur position au-dessus des calcaires à Eotuberitina ne laisse pas de doute sur leur place dans la stratigraphie.

2°) par des calcaires amygdaloïdes roses ou gris-vert, à délit schisteux, à éléments crinoïdiques (Laval : L. M. T. ; Changé : Saut-Gauthier) riches en Conodontes (Interregnum anchoralis-bilineatus = partie inférieure du Viséen moyen), ou par des calcaires gris-bleu, azoïques (Forcé).

3°) par des pélites à Spongiaires (Laval : L. M. T. ; Changé : Saut-Gauthier ; Forcé) liées à des phénomènes volcaniques de type explosif et à des apports terrigènes.

4°) par des calcaires gris-vert, ou bleus, à éléments crinoïdiques (Laval : L. M. T. ; Changé : Saut-Gauthier), datés par une association de Conodontes (zone à bilineatus) de la partie supérieure du Viséen moyen.

En résumé, les faciès observés dans ces zones intermédiaires correspondent à la diagénèse de boues calcaires extrèmement fines ; il s'agit de dépôts d'aire calme. Une distinction doit être faite entre les faciès à Conodontes (Calcaire de Laval sensu-stricto) et les calcaires de Forcé.

- L'appartenance des Conodontes à un groupe animal connu a été discutée. Le seul fait établi est que les Conodontes sont des pièces de soutien d'animaux vermiformes (2 à 3 cm de longueur) ; par suite de leur répartition indépendante du faciès, ils ont été rapportés à des êtres nectoniques (V. L. POKORNY, 1965, p. 48). Deux observations paraissent néanmoins remarquables : les calcaires à Foraminifères contiennent très peu de Conodontes et les calcaires crinoïdiques en sont généralement riches. Devant ces faits, on est fondé à admettre que l'existence des organismes représentés par les Conodontes est en rapport avec les conditions du milieu ambiant. En particulier, ces organismes paraissent fuir les milieux trop agités, de très faible profondeur et semblent cantonnés dans des sédiments fins (boues);

leur association avec les Crinoïdes est peut-être liée à leur nourriture : plancton, ou matière organique en suspension.

- Les calcaires de Forcé (calcaires micritiques à éléments crinoïdiques épars) restent identiques à eux-mêmes au cours de tout le Viséen. Ils représentent le même faciès que les calcaires de Leffe, décrits par R. CONIL et H. DUPONT "situés en marge des formations waulsortiennes caractérisées" (1965, p. B 48) dans le bassin de Dinant, Belgique. Les deux calcaires sont pauvres en éléments organoclastiques, à part quelques entroques et thèques de Bryozoaires. Le carbonate de calcium entrant dans la constitution de ces calcaires peut correspondre au dépôt de particules extrèmement fines, provenant de l'abrasion des tests des organismes vivant sur la plate-forme infralittorale (Calcaire de Sablé) ou dans les récifs waulsortiens, et sédimentés dans ce milieu plus calme (K. E. CHAVE, 1960). J'ai pu observer moi-même, sous la direction de M. CONIL, dans le faciès de Leffe (Belgique), que les passées organoclastiques, abondantes au voisinage des récifs waulsortiens, s'amenuisent très vite lorsqu'on s'écarte des biohermes. Une autre hypothèse peut être envisagée pour expliquer la formation de ce sédiment micritique dans lequel, à l'exception des entroques et de rares thèques de Bryozoaires, l'origine organoclastique des éléments calcaires microscopiques ne peut être mise en évidence : d'après E. C. ROBERTSON, L. R. SYKES et M. NEWELL in P. E. CLOUD, 1962, un phytoplancton abondant, non conservé, peut, par suite du phénomène de photosynthèse, être responsable de la précipitation d'une fine poussière de carbonate de calcium. D'autre part, ces calcaires paraissent riches en matière bitumineuse et il est possible que des phénomènes de sulforéduction aient entraîné la formation de carbonates en élevant la réserve alcaline (A. RIVIERE et S. VERHNET, 1964). Les calcaires de Forcé donnent la réaction microchimique des roches dolomitiques, de non coloration par la solution d'alizarine acidifiée avec 0,2 % de ClH (B. D. EVAMY, 1963) ; des analyses chimiques seraient nécessaires pour établir la proportion de carbonate de calcium et de carbonate de magnésium.

En conclusion,

si nous reprenons les définitions originelles :

- le "Calcaire de Laval" est défini pour la première fois par D. OEHLERT en 1882, comme un calcaire rose, ou vert, amygdaloïde, bien développé dans la ville de Laval ; en 1909, p. 614, il précise : calcaire "dont les bancs sont tantôt gris, tantôt rosés ou zonés de gris et de rose ... Ce calcaire est souvent à structure amygdaloïde et passe dans ce cas à un calcschiste". Sous ce terme, il comprend tous les calcaires superposés à la Grauwacke à Paléchinides qu'il cartographie ainsi depuis Saint-Pierre-la-Cour jusqu'à Bouère, sur les cartes au 1/80 000, feuilles de Laval et La Flèche.

. en 1922, G. DELEPINE et Y. MILON distinguent, dans le "Calcaire de Laval", des calcaires massifs traversés par des veines noires ou bleuâtres" (p. 1 079), développés à Saint-Pierre-la-Cour et à Bouère, et les reconnaissent semblables aux calcaires waulsortiens de Belgique.

. en 1928, Y. MILON définit comme faciès d'accompagnement des récifs waulsortiens, les calcaires rosés crinoïdiques de Saint-Berthevin, de Laval et les calcaires bleus de Forcé.

. en 1942, H. PAUL ne veut pas assimiler les calcaires de Forcé au Calcaire de Laval parce qu'il ne s'agit pas d'un calcaire waulsortien, et estime que ces calcaires sont des termes de passage au "Calcaire de Sablé". Il néglige, en cela, l'opinion de Y. MILON qui n'a jamais qualifié le calcaire de Forcé de waulsortien (faciès à veines bleues) mais comme un des faciès d'accompagnement des récifs waulsortiens.

Qu'apportent les observations nouvelles ?

- les faciès des zones interrécifales ne peuvent être tous considérés comme des faciès d'accompagnement, puisque certains, tels que le calcaire rose de Laval ou la partie supérieure du calcaire de Forcé sont plus récents que les biohermes waulsortiens et correspondent, par conséquent, à une sédimentation postérieure.

- les faciès environnants des lentilles biohermales waulsortiennes doivent être réduits à la partie inférieure des calcaires de Forcé, aux calcaires bleus à rares éléments crinoïdiques de Changé (chemin de la Châtaigneraie ; La Couldre), Laval (Les Fourches). Le terme de faciès environnant stratifié doit être préféré au terme de faciès d'accompagnement, car il s'agit certainement d'une sédimentation ayant ses caractères propres et n'étant pas nécessairement liée aux "récifs waulsortiens".

- les calcaires amygdaloïdes, lie-de-vin ou verts, associés à des schistes calcareux (Changé : Saut-Gauthier ; Laval : usine L. M. T. ; Saint-Berthevin) ou gris-bleu (Forcé) correspondent à la base du Viséen moyen et ils sont synchrones des calcaires crinoïdiques et des schistes calcareux lie-de-vin qui ennoient les biohermes waulsortiens.

La série se termine, au sommet du Viséen moyen, par une sédimentation homogène pour toute la région du bassin située au Sud de la flexure décelée au chapitre II : calcaires gris-bleu ou verts ou roses, à éléments crinoïdiques rares dans la région de Laval, abondants dans la région de Bouère.

Les pélites à Spongiaires n'ont pas été décelées dans les zones où avaient existé les récifs waulsortiens, mais leur puissance est

extrêmement réduite et, par suite de la discontinuité des affleurements, elles peuvent passer inaperçues, comme cela avait été le cas jusqu'à présent dans les autres régions.

Le terme de "Calcaire de Laval" doit être conservé pour désigner une formation complexe, datant du Viséen inférieur et moyen ; en effet, les différents faciès de cette formation, bien que n'étant pas tous synchrones, ont été cartographiés sous ce nom sur les cartes géologiques au 1/80 000 par D. OEHLERT et Y. MILON, et sont connus, ainsi, dans la littérature géologique.

Les caractères reconnus par D. OEHLERT (et qui l'avaient induit à grouper ces divers faciès sous une même dénomination et à opposer le Calcaire de Laval au "Calcaire de Sablé") sont les suivants :

. une très grande pauvreté en macrofossiles localisés, par poches, dans des calcaires à veines bleues, ou absence totale dans les calcaires environnants

. absence de Foraminifères (alors que le Calcaire de Sablé contient une riche macrofaune et des "Endothyra")

. les seuls éléments organiques, reconnaissables à l'œil nu, sont des débris crinoïdiques plus ou moins abondants

. présence d'une forte schistosité responsable de l'aspect amygdaloïde du calcaire. (Le Calcaire de Sablé est beaucoup moins tectonisé et présente un litage bien régulier, tout du moins à la base de la formation)

. présence d'une couleur grise, ou grise et rose, ou rose (le "Calcaire de Sablé" a une couleur homogène gris-noir).

Ces caractères, visibles sur le terrain et mis en évidence par D. OEHLERT, sont complétés par les études au laboratoire qui montrent la constance de la calcite micritique comme constituant essentiel de tous ces calcaires au cours du Viséen, alors que le Calcaire de Sablé est essentiellement organoclastique.

La mise en évidence des Conodontes dans la plupart des faciès précise encore la distinction entre Calcaire de Laval et Calcaire de Sablé. La découverte des niveaux à Spongiaires dans les deux faciès est une donnée nouvelle, fournie par l'étude micropaléontologique ; elle complète les corrélations établies entre les zones de Conodontes du Calcaire de Laval et les zones de Foraminifères du Calcaire de Sablé.

Le Calcaire de Laval s'est déposé depuis le Viséen inférieur jusqu'au Viséen moyen dans une zone un peu plus profonde que celle où se formait le Calcaire de Sablé, bien que littorale puisqu'il semble que ce soit développée une activité algaire associée à celle des Bryozoaires. Le

Calcaire de Laval fait suite à la sédimentation de la Grauwacke à Paléchinides et est cantonné, comme cette formation, au Sud-Ouest de la flexure nord-ouest sud-est allant de Changé à Sablé.

La comparaison entre les calcaires à veines bleues et Ptylostroma de Saint-Pierre-la-Cour et de Bouère et le Waulsortien du bassin de Dinant (Belgique) est classique depuis les travaux de G. DELEPINE et Y. MILON (1922).

Le "Calcaire de Sablé", dans le synclinal de Solesmes, peut être comparé au Marbre noir et aux calcaires organoclastiques du Viséen inférieur du bassin de Dinant (Belgique), tandis que les calcaires de Forcé ressemblent au calcaire de Leffe, faciès environnant du Waulsortien de Belgique.

CHAPITRE V

LES SCHISTES DE LAVAL

Les schistes qui surmontent le Calcaire de Laval ont été dénommés Schistes de Laval par D. OEHLERT en 1894. Représentant le terme le plus élevé de la série stratigraphique du Carbonifère inférieur du bassin de Laval, ils se situent dans la partie axiale du synclinorium et datent du Viséen supérieur - Namurien (A. CARPENTIER, G. DELEPINE et H. MARTEL, 1935).

Ces niveaux détritiques contiennent de nombreuses veines de houille dont deux ou trois, par gisement, ont été exploitées au siècle dernier et toutes abandonnées entre 1850 et 1860. A. STOUVENOT (1921, p. 6) note que "le grand développement géographique des Schistes de Laval est dû à des plis répétés mis en évidence par la réapparition dans le milieu du bassin, des grès et poudingues et des veines d'anthracite de la base de l'étage.. il est difficile de préciser le nombre et la place de ces plis". Les couches d'anthracite "par suite des plissements se trouvent dans plusieurs synclinaux dont les flancs sont assez redressés et se localisent dans la région de Poillé, de Bazougers, La Bazouge, Ballée, Auvers, Avoise".

Les veines exploitées étaient irrégulières, en lentilles peu épaisses, 1 m au maximum, sauf dans la région de Bazougers où les "bouillards" (schistes charbonneux) pouvaient atteindre 40 m. Dans cette zone, les toits de la veine 2 étaient des grès très durs et les murs, des schistes puis des poudingues ; la veine 3 étant interstratifiée dans des schistes.

Aucun levé séquentiel sur de grandes puissances n'a pu être tenté sur les Schistes de Laval, compte tenu de leur plissement intense et du manque d'affleurements.

I - CHANGE (AU SUD DU SAUT-GAUTHIER - BUTTE DE HEURTEBISE)

A - DESCRIPTION DE L'AFFLEUREMENT

Les Schistes de Laval reposent sur des calcaires gris-bleu type Laval qui surmontent eux-mêmes les calcaires siliceux et les tufs du Saut-Gauthier. Ils affleurent dans un chemin d'accès à la butte de Heurtebise ; à cet endroit, la direction de la schistosité, parallèle à la stratification, est N. 140° E.

Les prélèvements rapprochés d'échantillons ont été effectués sur le sommet de la butte sur un affleurement de 10,50 m de puissance (éch. 1 à 33).

Plusieurs types de sédiments peuvent être distingués :

. des pélites fines bleuâtres, renfermant de petits agrégats gréseux (1 à 2 cm) (1, 10bis, 15, 17, 19)

. des niveaux hétérogènes dans lesquels on observe de grandes lentilles silteuses (plusieurs centimètres de longueur) dans une matrice argileuse finement stratifiée (13bis, 18, 23, 24, 27, 29, 30)

. des schistes gris-bleu (2, 3, 5, 11, 12, 13, 14, 31, 33) présentant de fines straticules silteuses, parfois assez mal délimitées sous forme de petites flamèches (4). Certains échantillons sont fossilifères : Bryozoaires-Crinoïdes.

Un autre affleurement (éch. 33 - 64), à quelques mètres au Sud-Ouest du précédent, est constitué par des sédiments détritiques hétérogènes, à schistosité verticale et de direction N. 140° E. Les variations d'angle entre la schistosité toujours verticale et la stratification originelle (reconnaissable grâce à la fine stratification des lits argileux et gréseux) mettent en évidence une charnière anticlinale et une charnière synclinale, la stratification horizontale (charnière) est visible sur 7 m. Il s'agit de replis à faible amplitude qui affectent ces sédiments et qui sont masqués totalement par la schistosité.

Les différents types de roches différenciés, dans le premier de ces affleurements, se retrouvent dans le second :

. les niveaux hétérogènes gréseux et argileux sont prédominants, alternant sous forme de fines laminae ; les parties gréseuses présentent des figures de charge dans l'argile ; on observe très souvent de petites balles de grès de quelques millimètres au sein de la matrice argileuse (éch. 34, 41, 49, 50, 51, 52, 58, 59, 60).

. les grès s'épaississent par zones (7 à 8 cm) : ils

constituent parfois des amandes entourées d'un mince reticulum d'argile (éch. 39, 40, 42, 43, 44, 45, 47, 48).

B - ETUDE PETROGRAPHIQUE

- 1er affleurement (cf. analyse modale, tableau XLIV)

Les premiers échantillons (1 à 10) ont une composition minéralogique constante : du quartz extrèmement fin (10 à 30μ), des lamelles de muscovite, une trame phylliteuse parallèle au plan de schistosité, des chlorites largement cristallisées perpendiculairement aux plans de schistosité.

Puis le grain devient plus grossier ; les constituants minéralogiques : quartz, muscovite, biotite chloritisée sont associés à des feldspaths frais calcosodiques (albite-oligoclase). Certaines zones sont entièrement argileuses et chloriteuses (10bis) et correspondent aux pélites fines bleuâtres.

Les schistes (11, 12, 13, 14, 16, 17) sont formés d'une fine poussière de quartz avec séricite. Quelques uns montrent des poches d'étirement avec graphite et queue de cristallisation (14, 15).

Les pélites suivantes (19, 21, 23, 24) sont constituées de quartz très fin (grain moyen voisin de 50μ) (19,85 % à 28,70 %), de feldspaths (5,40 % à 2,26 %), de muscovite en lamelles (0,22 % à 2,30 %), de biotite (0,22 % à 1,90 %), de chlorites bien individualisées (23,60 % à 41,30 %), d'un ciment phylliteux abondant (26,80 % à 50,50 %).

Les niveaux 26, 27, 28, 29, 30 sont des schistes contenant quelques amas détritiques irréguliers (quartz, biotite, muscovite, feldspaths) noyés dans une matrice argileuse. On observe quelques poches d'étirement avec du graphite et la disposition perpendiculaire à la direction des éléments de la matrice, des cristaux bien développés de certaines chlorites et certains micas.

L'échantillon 32 permet de constater une augmentation du pourcentage des feldspaths (11,65 %) : les feldspaths calcosodiques présentent, dans les plans des macles des phyllites type séricite-illite-chlorite, mais restent relativement frais. Par contre, les feldspaths potassiques sont très altérés et difficilement identifiables. La biotite est chloritisée. Le ciment argileux chloriteux est très abondant.

- 2ème affleurement

Les grès (39, 40, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 55, 56, 61) apparaissent constitués de quartz, de feldspaths calcosodiques, de feldspaths

potassiques très altérés, peu de muscovite et biotite, les chlorites sont très bien développées (aux environs de 50 %) très souvent diagénétiques dans les feuillets de muscovite ; le ciment argileux est peu abondant, on observe de la kaolinite en vermicules (éch. 56).

Les schistes renferment quelques quartz très fins disséminés, de très nombreuses lamelles de muscovite et des chlorites.

Des analyses thermiques différentielles des ciments décèlent un mélange d'illite et de chlorites.

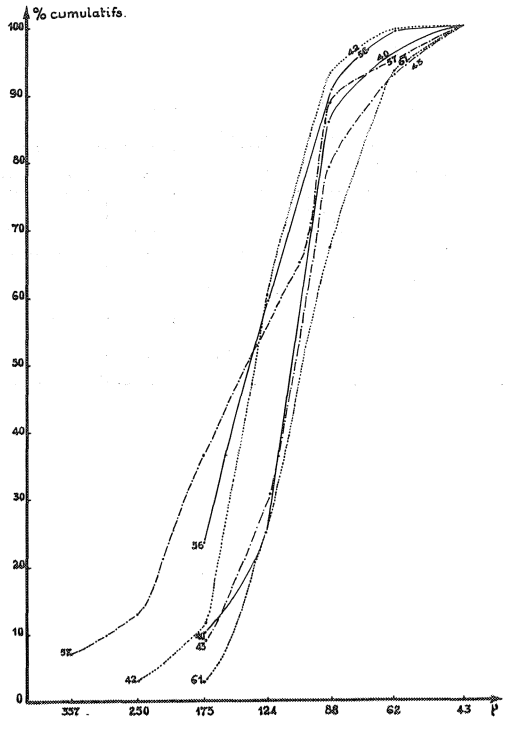
	Echantillons									
	19	21	23	24	32	34	39	43	56	61
Quartz	23,2	21,20	19,85	28,70	28,3	31	36,10	33,90	36,4	39
Feldspaths calcosodiques	2,04	1,85	2,30	2,65	3,30	4,15	3,39	2,90	4,30	6,85
Feldspaths potassiques	0,22	0,50	1,75	2,80	8,55	2,45	2,59	2,70	3,35	4,10
Muscovite	0,22	0,35	2,30	1,30	2,0	4,30	0,38	0,0	0,0	0,40
Biotite	0,22	1,90	1,35	1,88	0,25	0,60	0,59	0,0	2,15	0,40
Chlorites en plages	23,60	40,70	41,30	36,00	1,75	36,60	50,40	51,50	40,0	42,60
Ciment	50,50	33,50	31,15	26,80	55,60	20,90	6,35	3,70	13,25	6,65
Minéraux opaques				0,15	0,25			5,30	0,55	
Zircon							0,20			

TABLEAU XLIV - Analyse modale
(Heurtebise, Schistes de Laval).

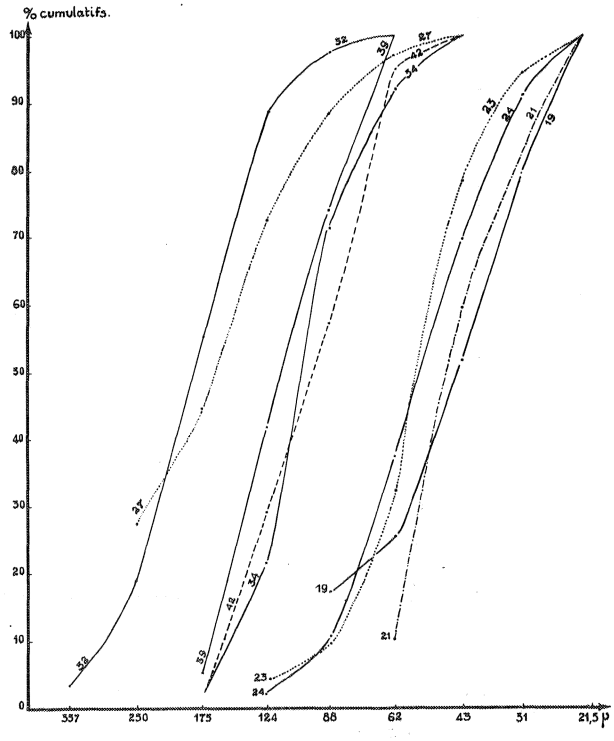
C - GRANULOMETRIE

Les sédiments sont extrèmement fins (cf. tableau XLV, p. 242) ; les quartz sont bien classés.

La valeur médiane des indices d'hétérométrie est égale à 0,29 (fig. 76, A et B).



- A



- B

Fig. 76 - Courbes granulométriques : Schistes de Laval, Heurtebise (Sud de Changé).

	Echantillons														
	19	21	23	24	27	32	34	39	40	42	43	44	56	57	61
Grain moyen en microns	43,5	52	55	59	164	184	102	114	97	132	107	108	136	138	102
Clasticité en microns	96	75	160	136	330	380	190	186	176	270	210	210	210	370	220
Indice d'hétérométrie	0,40	0,28	0,26	0,28	0,43	0,36	0,26	0,34	0,28	0,28	0,28	0,24	0,34	0,52	0,30

TABLEAU XLV - Caractéristiques granulométriques (Heurtebise, Schistes de Laval).

Le diagramme CM de PASSEGA (fig. 77) correspond à un diagramme de courant tractif pour la plupart des échantillons. Quelques niveaux plus fins se situent dans le diagramme III de PASSEGA (1957, p. 1 973) caractéristique des dépôts en eau calme.

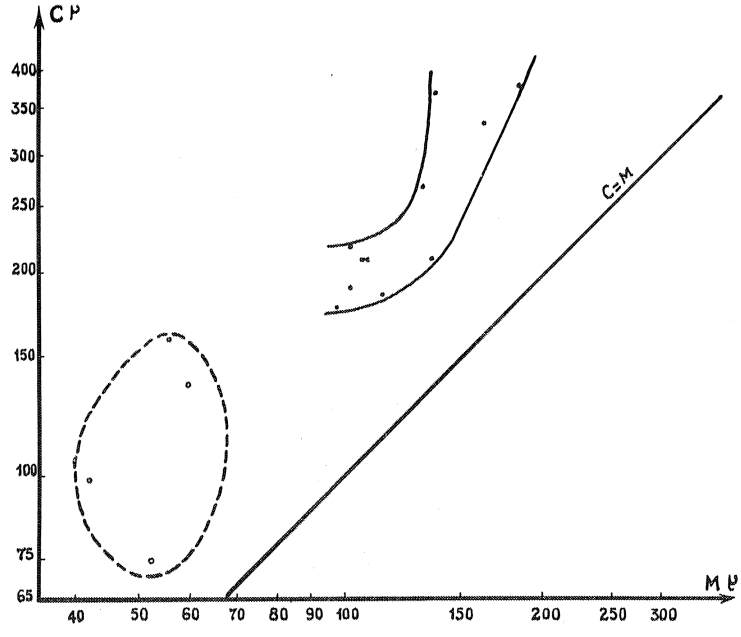


Fig. 77 - Diagramme CM, Schistes de Laval, Heurtebise (Sud de Changé).

D - CARACTERES DISTINCTIFS

Les Schistes de Laval, à Changé (lieu dit Heurtebise) sont caractérisés :

- par leur composition minéralogique (feldspaths calcosodiques assez bien conservés et feldspaths potassiques altérés, richesse en micas : muscovite et biotite chloritisée et en chlorites.

- par leur texture (argile et silt) soit en fines laminae avec figures de charge, soit lenticulaires.

- par leur dépôt par un courant tractif ou en eau calme.

II - MOULIN DE LA ROCHE

Les Schistes de Laval affleurent en direction sur quelques mètres, à l'Est et à l'Ouest de la route d'Auvers-le-Hamon à Bouessay, au moulin de la Roche (coordonnées U.T.M. 5308,50 - 697,25 ; feuille de Loué).

Deux types de sédiments peuvent être distingués :

. des schistes gris-noir compacts à paillettes micacées visibles à l'œil nu sur les plans de délitage (RO 1, RO 2, RO 3, RO 4, RO 5, RO 7)

. des pélites gris clair à beige, nettement plus massives et plus grossières que les schistes (RO 6, RO 8, RO 9, RO 10, RO 11, RO 12).

A - PETROGRAPHIE

Les schistes sont formés essentiellement d'une matrice argileuse, plus ou moins importante, dans laquelle sont disséminés des quartz très fins, de fines paillettes de séricite et de chlorite (RO 1, RO 2, RO 4). Des feldspaths calcosodiques et potassiques apparaissent lorsque le grain est un peu plus gros (RO 3, RO 5), associés à de la biotite et de la muscovite.

Les pélites sont nettement plus grossières : elles renferment, outre le quartz, des feldspaths calcosodiques frais anguleux, des feldspaths potassiques très altérés, réduits à l'état fantomatique, de la biotite, de la muscovite dont les feuillets sont ouverts en éventail, des chlorites largement développées perpendiculairement aux grains, ou en plages éparses.

Les proportions des différents constituants sont reportées sur le tableau XLVI, page suivante :

	RO 6	RO 8	RO 10
Quartz	23,25	18,30	20,75
Feldspaths calcosodiques	2,70	0,95	0,63
Feldspaths potassiques	3,92	1,45	2,40
	6,62	2,40	3,03
Biotite	0,40	0,0	0,80
Muscovite	3,38	3,45	2,10
Chlorites	7,85	46,50	0,63
Ciment	58,50	29,20	70,30
Opaques			2,40

TABLEAU XLVI - Analyse modale, Schistes de Laval, Moulin de La Roche.

B - GRANULOMETRIE

Les pélites les plus grossières susceptibles d'être analysées en plaque mince sont, néanmoins, encore très fines (grain moyen de 68 μ à 78 μ). Elles sont bien classées (fig. 78 ci-contre), la médiane des indices d'hétérométrie est égale à 0,29. Le diagramme de PASSEGA (fig. 79 ci-contre) correspond à un dépôt en eau calme, comme c'était le cas pour les schistes de Changé (Heurtebise).

Les Schistes de Laval, dans cette partie du bassin présentent des caractères identiques à ceux qui avaient été décelés à Changé.

III - BASSIN DE LA BACONNIERE

D. OEHLERT (1882) décrit le bassin de La Baconnière comme une cuvette synclinale de direction Est-Ouest, délimitée par les Grès à Platyorthis monnieri et les Schistes et Calcaires à Athyris undata.

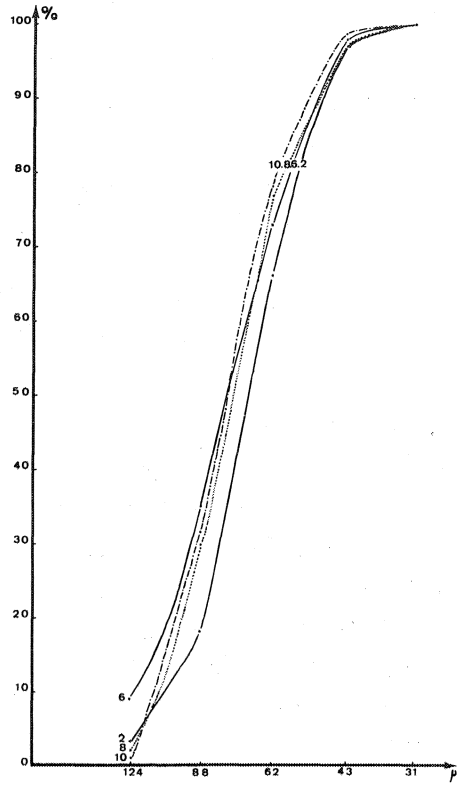


Fig. 78 - Courbes granulométriques : Schistes de Laval, La Roche, Auvers-le-Hamon.

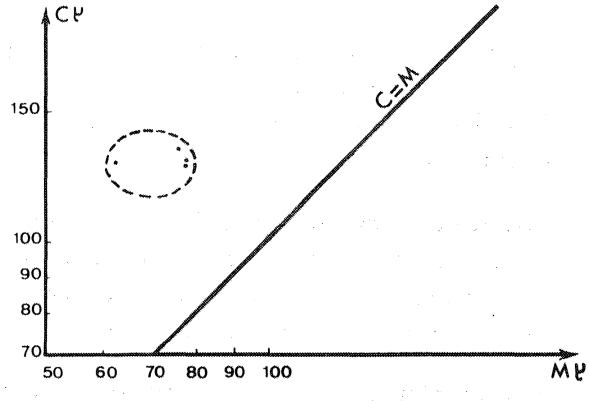


Fig. 79 - Diagramme CM, Schistes de Laval, La Roche, Auvers-le-Hamon.

Une coupe levée par E. BLAVIER (in D. OEHLERT id. op., p. 91), donne la succession suivante du Nord au Sud, et de bas en haut :

. Grès à Platyorthis monnieri
. Calcaires à Athyris undata
. banc de poudingues
. couches de schistes grisâtres alternant avec de rares bancs de grès à grains de quartz et de feldspaths et paillettes de micas, avec couche d'anthracite.

"Vers le milieu du bassin", écrit E. BLAVIER, "on remarque un banc formé d'une brèche à pâte siliceuse et à fragments de quartz noir, agatiforme".

Les couches d'anthracite ont fait l'objet d'exploitations au siècle dernier (1834-1869). Par la flore conservée dans les schistes associés à la houille et étudiée par A. CARPENTIER (1924) qui signale :

. Cardiopteris polymorpha GOEPP.
. Cardiopteris dubuissonni BRONGNIART
. Diplotnema adiantoïdes STERNB.
. Archaeocalamites scrobiculatus SCHL.,

les schistes de La Baconnière ont été considérés comme homotaxiques du Culm supérieur de Mouzeil (Loire-Atlantique), et rapportés au Viséen supérieur - Namurien.

Actuellement, aucun affleurement n'est visible et seuls des galets correspondant au poudingue et des fragments de grès et de brèche à pâte siliceuse, épars dans les champs, ont pu être recueillis.

A - PETROGRAPHIE

Les grès sont constitués par du quartz très anguleux ou à golfes de corrosion, de rares feldspaths, de la muscovite, des fragments de grès, de phtanites, des éléments de roches volcaniques, associés dans un ciment chloriteux et ferrugineux.

La brèche signalée par E. BLAVIER présente, dans un ciment siliceux, (calcédonite et quartz microcristallin) des quartz, de grands fragments de grès, de phtanites de schistes charbonneux extrèmement anguleux. Les plus grands éléments ont 13 mm de longueur.

Les constituants pétrographiques reflètent directement la lithologie des formations environnant le bassin houiller de La Baconnière. Les éléments de grès et phtanites proviennent soit des grès à Platyorthis monnieri, soit des grès et quartzites noirs avec niveaux de phtanites du Gédinnien et du Silurien. Il est difficile de retrouver les conditions de formation

du ciment de calcédoine et de quartz microcristallin ; il peut correspondre à la silicification par les eaux retenues dans les sédiments, d'une matrice gréseuse et peut-être légèrement calcaire (voisinage des calcaires à Athyris undata) (G. MILLOT, 1964, p. 347).

B - MORPHOMETRIE

Aucune analyse granulométrique n'a pu être tentée sur les galets, les échantillons n'ayant pas été recueillis en place.

Par contre, des études morphométriques : indice d'aplatissement et indice d'émoussé, ont pu être effectuées sur les galets de grès-quartzite compris entre 40 mm et 62,5 mm (référence 50 mm). La médiane de l'indice d'aplatissement est égale à 1,48 et la médiane de l'indice d'émoussé à 0,564 (min. 0,194 - max. 0,861). La valeur élevée de ce dernier indice traduit l'origine torrentielle (galets de marmites) de certains éléments.

IV - CONCLUSIONS

L'assemblage minéralogique des sédiments des Schistes de Laval: quartz, feldspaths, minéraux micacés abondants, ciment phylliteux (illite et chlorites) est "inconciliable avec l'existence de climats tropicaux humides dans les régions alimentant la sédimentation houillère" (G. MILLOT, 1964, p. 193).

Les niveaux de houille contiennent des Cardiopteris, des Diplotnema qui se classent dans les Pteridospermophytes subarborescentes (P. CORSIN, 1961), des Sphenopteris (Ptéridophytes herbacées à subarborescentes), des Lepidodendron, des Calamites. D'après R. KRAUSEL (1964, p. 55), ces plantes arborescentes vivaient dans des marécages, car leurs tiges ne sont formées que de peu de bois et d'une écorce relativement épaisse, mais leurs feuilles pouvaient présenter des structures xérophytiques. C'est un caractère que l'on retrouve dans les marais actuels même sous climat tempéré où le sous-bois est hygrophile et les arbres ont des caractères xérophytiques. Cet auteur conclut que le climat lors de la formation de la houille était humide, mais pas forcément tropical et il souligne que l'absence d'anneaux de croissance du bois et de bourgeons de conservation peut indiquer un climat uniforme sans saisons et sans alternances de sécheresse et d'humidité (p. 56). Les restes organiques : Fougères, Pteridospermées et arbres s'entassaient ensemble dans les zones d'accumulation où ils subissaient les phénomènes de putréfaction qui se développent sous l'eau, ou dans un milieu fortement imbibé.

Au cours du Viséen supérieur, s'amorce la phase sudète qui crée de nouveaux reliefs. L'érosion devient plus active comme le prouvent la reprise de la sédimentation détritique comportant localement des dépôts de poudingues reposant à La Baconnière directement sur le socle siluro-dévonien et l'arrêt de la sédimentation dans la région de Saint-Pierre-la-Cour après la formation du récif waulsortien. La sédimentation des Schistes de Laval, avec ses veines de houille se situe donc dans "un paysage tectoniquement vivant, lié à l'orogénèse hercynienne" (G. MILLOT, 1964, p. 198) et au cours de celle-ci, en même temps que s'élevaient des montagnes, se creusaient des dépressions dans lesquelles s'accumulaient au fur et à mesure les sédiments provenant de son érosion (R. FEYS et CH. GREBER, 1959).

Une particularité des Schistes de Laval, parmi les formations étudiées, est l'altération des feldspaths potassiques et la fraîcheur relative des plagioclases. La recherche d'une explication d'ordre climatique ne paraît pas s'imposer en l'absence de formations rouges ou concrétionnées réclamant une certaine aridité (A. RONDEAU, 1958 ; G. MILLOT, 1964, p. 195 et 196). Cette explication serait difficile à accorder avec le développement et les caractères de la végétation différentes des "flores sèches à Walchia des hautes terres" (R. KRAUSEL, 1964, p. 55) et la localisation des zones houillères probablement lenticulaires dans des schistes uniformément de couleur sombre.

Les feldspaths potassiques existent déjà altérés dans le Culm inférieur. Les feldspaths calcosodiques apparaissent avec les formations volcaniques signalées dans la région de Laval, au Viséen moyen. L'extension des témoins de ces manifestations volcaniques est peut-être plus grande que celle qu'il m'a été possible de retrouver. Il semble donc que ces feldspaths peuvent provenir du remaniement des tufs viséens.

ESSAI DE SYNTHESE

L'étude détaillée des formations carbonifères du bassin de Laval permet de préciser leur stratigraphie, de proposer des interprétations paléogéographiques et de retracer l'évolution du bassin au cours de la tectoorogénèse hercynienne.

Flexure Changé - Sablé

		ZONE SUD - OUEST	ZONE NORD - EST
Namurien Viséen supérieur Nm-V 3		SCHISTES DE LAVAL	SCHISTES DE LAVAL
Viséen moyen V 2	CALCAIRE DE LAVAL	- Calcaires gris micritiques à entroques plus ou moins nombreux (Laval - Bouère) - Spongolithes et tufs (Saut-Gauthier en Changé) - Pélites à Spongiaires (Laval - Forcé) - Calcaires amygdaloïdes roses ou verts ou gris-bleu (= Calcaire de Laval sensu stricto) - Calcaires crinoïdiques (environs de Bouère)	CALCAIRE DE SABLE base du V 3 : - Calcaires oolithiques de Vaiges-Chémeré - Calcaires pseudoolithiques de Louverné V 2b : - Calcaires organoclastiques à dominance algaire (Vaiges ; Chémeré ; Juigné) V 2a : - Calcaires oolithiques de Juigné - Calcaires organoclastiques et - Spongolithes de Saint-Roch (Changé)
Viséen inférieur V 1	CALCAIRE DE LAVAL	- Calcaire gris-bleu micritique à rares Encrines (calcaire de Forcé, de La Cropte ; calcaire des Fourches à Conodontes) - Biohermes à veines bleues (Waulsortien) - Sole de calcaire crinoïdique - Calcaires lités à Eotuberitina et calcisphères	CALCAIRE DE SABLE V 1b : - Calcaires pseudoolithiques (Saint-Pierre-sur-Erve ; Cossé) - Calcaires supérieurs du synclinal de Solesmes - Spongolithes de Saint-Roch (Changé) V 1a : - Calcaires de Saint-Pierre-sur-Erve ; Louverné - Calcaires de Sablé s. s. (Port-Etroit ; Bouessay)
		- Grauwacke à Paléchinides	- Calcaires d'Argentré et de Changé
Tournaisien		CULM INFERIEUR	CULM INFERIEUR
Dévonien supérieur		CULM INFERIEUR ?	CULM INFERIEUR

TABLEAU XLVII - Tableau stratigraphique des formations du Carbonifère inférieur du bassin de Laval.

RESULTATS STRATIGRAPHIQUES

Les résultats stratigraphiques de l'étude du Carbonifère inférieur du bassin de Laval sont résumés dans le tableau XLVII.

I - DEVONIEN SUPERIEUR - TOURNAISIEN

La découverte d'un niveau fossilifère (Pleurodictyum, Spiriféridés) dans le Culm, à Changé (Mayenne), à 40 mètres de la base de la formation, suggère que le faciès Culm a pu commencer à se déposer dès le Dévonien supérieur. Dans cette zone, la partie supérieure du Culm inférieur est surmontée par des calcaires à Archaesphaera (sans Pachysphaera dervillei C. et L.) qui doivent correspondre au Tournaisien supérieur et qui sont contemporains des calcaires d'Argentré. Par contre, le sommet du Culm inférieur, au Sud de Laval, est daté du Tournaisien supérieur par la présence de Dyctioclostus vaughani MUIR-WOOD (=Productus burlingtonensis HALL) forme caractéristique du Tournaisien supérieur (Tn 3bc) belge.

En dehors des localités ci-dessus, aucun gisement fossilifère n'est connu dans le Culm inférieur. Cependant, le relevé détaillé des affleurements et l'étude des Foraminifères permettent de conclure que le faciès Culm s'est établi dès le Dévonien supérieur et que la sédimentation calcaire qui lui fait suite s'est installée plus tôt (Tournaisien supérieur) dans le Nord du bassin que dans la région sud (Viséen inférieur) ; cf. chapitre I.

II - VISEEN INFERIEUR

Les caractères de la sédimentation calcaire sont différents de part et d'autre d'une ligne de flexure Le Bourgneuf-Changé-Sablé qui sépare une zone subsidente vers le Sud-Ouest d'une zone soulevée septentrionale (chapitre I). La Grauwacke à Paléchinides et les dépôts réunis sous le nom de Calcaire de Laval sont localisés au Sud-Ouest de cette ligne tandis qu'au Nord-Est se développe le Calcaire de Sablé.

- Dans le Sud-Ouest du bassin, la Grauwacke à Paléchinides fait suite au Culm ; elle se serait déposée dès le Tournaisien supérieur (chapitre III) et semble atteindre la base du Viséen inférieur. Les calcaires lités à Foraminifères (Eotuberitina) et calcisphères (Pachysphaera dervillei C. et L.)

lui succèdent à Changé, Laval, Forcé, Les Richardières (Sud de Bouère). Puis, selon les régions, se constituent des biohermes waulsortiens à sole crinoïdique (Bouère, Saint-Pierre-la-Cour) ou bien s'accumulent des calcaires micritiques stratifiés à rares éléments crinoïdiques (Forcé, Laval, La Cropte).

- Au Nord-Est de la ligne définie ci-dessus, se déposent les calcaires organoclastiques à riches faunes benthiques (Calcaire de Sablé). A la partie inférieur du Viséen inférieur (V 1a), il est possible de distinguer un lithotope barré (calcaire de Bouessay) et une zone dans laquelle les eaux sont renouvelées (Saint-Pierre-sur-Erve, Louverné : Les Bas Gravus) ; la turbulence s'accentue à la partie supérieure du Viséen inférieur (V 1b) (calcaires de Saint-Pierre-sur-Erve et Cossé), alors que la communication avec la mer ouverte paraît se faire plus facilement et que le lithotope barré tend à disparaître (calcaires de la partie supérieure du synclinal de Solesmes, ou calcaires de Solesmes). Les spongolithes de Saint-Roch (Changé) datent également du sommet du Viséen inférieur.

III - VISEEN MOYEN ET PARTIE INFERIEURE DU VISEEN SUPERIEUR

- Au Sud-Ouest de la ligne Changé-Sablé, les biohermes waulsortiens sont recouverts par des calcaires crinoïdiques, des schistes calcareux lie-de-vin et des calcaires à éléments crinoïdiques abondants (carrière Baudoin, Bouère). Entre les biohermes, se déposent les calcaires amygdaloïdes lie-de-vin ou gris-bleu (Calcaire de Laval sensu stricto, défini par D. OEHLERT). Ils sont surmontés soit par des tufs volcaniques remaniés (Saut-Gauthier, Changé), soit par des pélites à Spongiaires (Laval, Forcé). La série du Viséen moyen se termine par une sédimentation calcaire fine à entroques disséminés (Laval : Saut-Gauthier).

- Au Nord-Est de cette même ligne, au début du Viséen moyen (V 2a), le Calcaire de Sablé sensu-lato est bioclastique à dominance algaire (calcaires supérieurs de Saint-Pierre-sur-Erve et d'Epineux) ou oolithique (oolithe de Juigné) ou enfin, associé à de nouveaux spongolithes (Saint-Roch, Changé). A la fin du Viséen moyen (V 2b), la sédimentation est essentiellement algaire (grosses Dasycladaceae remaniées à Vaiges, Chémeré, Louverné). Lorsque commence le Viséen supérieur (V 3a), les sédiments oolithiques (oolithe de Vaiges, Chémeré) ou pseudoolithiques (Louverné) deviennent prépondérants.

IV - PARTIE SUPERIEURE DU VISEEN SUPERIEUR - NAMURIEN

Les différents calcaires formés au cours du Viséen sont surmontés par les Schistes de Laval. Ces derniers n'ont pas fait l'objet de recherches stratigraphiques nouvelles ; d'après les études anciennes de la flore et de la faune, ils se sont déposés depuis le Viséen supérieur jusqu'au Namurien. Compte tenu de ces résultats, il semblerait donc que les Schistes de Laval aient commencé à se former pendant que persistait, en certains points du bassin, une sédimentation calcaire ; toutefois la difficulté d'établir des corrélations entre flore et faune empêche de l'affirmer.

INTERPRETATIONS PALEOGEOGRAPHIQUES

Après l'orogénèse bretonne, les sédiments paléozoïques (Cambrien-Dévonien moyen) constituent des reliefs et sont vigoureusement attaqués par l'érosion. Le matériel détritique est déposé dans un bassin de sédimentation intramontagneux. La morphologie du paysage environnant varie suivant les régions considérées ; deux zones de sédimentation à caractères différents s'individualisent de part et d'autre d'une ligne de flexure Le Bourgneuf - Changé - Sablé. Au Sud-Ouest de la ligne Changé-Sablé, la pente devait être faible et se poursuivre sur une grande distance, constituant un glacis qui prolongeait les voussures de la Bretagne méridionale métamorphique. Les grandes masses de sédiments s'accumulaient dans des zones d'épandages subsidentes atteignant le domaine maritime où elles devaient être remaniées. Les caractères des sédiments permettent de les situer dans cette plaine alluviale : dépôts de levées amenés par les courants tractifs, undaturbidites au front de l'épandage, houille formée par putréfaction de la végétation dans les dépressions marécageuses. Il est important de remarquer que, si la houille a pu être exploitée, on ne connaît pas de faune d'eau douce, la mer paraît avoir eu une influence dès le début de la sédimentation. Au Nord-Est de cette ligne Changé-Sablé, vers l'Ouest, les reliefs constitués à la phase bretonne étaient importants et la violence de la glyptogénèse entraînait un matériel très grossier (nombreux galets) et rendait impossible le développement de niveaux houillers. Les sédiments formaient des épandages de type torrentiel, au pied de pentes fortes, dans le domaine marin. Vers le Nord-Est, le Culm inférieur est peu représenté par suite, sans doute, de l'absence de reliefs ; La communication avec la mer devait se faire dans cette direction.

Les matériaux qui sont livrés au bassin de sédimentation reflètent directement la lithologie des bassins-versants ; E. C. DAPPLES, W.C. KRUMBEIN et L. SLOSS (1953), rapprochent ce fait de l'instabilité orogénique pour la zone eugéosynclinale. L'altération était très modérée par suite de la force et de la vitesse de l'érosion sur des reliefs vivants.

Au cours du dépôt du Culm, durant le Dévonien supérieur et le Tournaisien inférieur, là où le relief était vigoureux, les hauteurs étaient dénudées, la végétation luxuriante restant nécessairement localisée dans les régions basses. En l'absence de couverture végétale capable de protéger la surface du sol, les importantes variations de température et d'humidité entraînaient une fragmentation rapide des roches, les fortes précipitations engendrant un ruissellement torrentiel. Comme le signalent A. CAILLEUX et J. TRICART (1965, p. 221), "la surface du sol n'était guère mieux protégée que dans les déserts et les steppes clairsemées actuelles, c'est-à-dire dans les milieux où s'effectue la pédiplanation". Dès lors, les reliefs formés lors de la phase bretonne, se sont arasés facilement constituant de véritables pédiplaines.

En conséquence, à la partie supérieure du Tournaisien, le paysage change. Dès cette époque, la sédimentation calcaire s'installe vers le Nord à la faveur de la transgression de la mer téthysienne (H. et G. TERMIER, 1952, p. 432), induisant un climat de mousson et amenant avec elle une faune commune à toutes les régions (H. et G. TERMIER, 1960, p. 32). A Argentré, l'abondance d'une faune généralement de grande taille et très ornementée (Gastéropodes, Lamellibranches, Coraux, Brachiopodes), doit caractériser dans le passé, comme actuellement, les eaux peu profondes de la zone tropicale chaude (N. M. STRAKHOV, 1957, p. 366). L'élévation de la température a pour conséquence d'entraîner la précipitation du carbonate de calcium. Le dépôt de carbonate de calcium en milieu marin apparaît, en grande partie, régi par l'action des organismes qui, selon R.M.PYTKOWICZ (1964), précipitent la calcite et l'aragonite de leur vivant (in E. T. DEGENS, 1965, p. 103) ; les Brachiopodes et les Echinodermes emmagasinent le CO_3Ca sous forme de calcite, les Protozoaires, les Mollusques, les Coelentérés, les Bryozoaires sous forme de calcite et d'aragonite suivant les espèces (H. A. LOWENSTAM, 1963 in E. T. DEGENS id. op. p. 115) ; d'après P. E. HARE (1963 in E. T. DEGENS id. op. p. 114), la matière organique est responsable de la nature du minéral formé par les organismes dans les coquilles calcaires, en particulier chez les Mollusques. La précipitation chimique de carbonate de calcium peut se produire lorsque certains organismes utilisent une grande quantité de gaz carbonique (H. et G. TERMIER, 1960, p. 262). Le rôle des Algues est primordial : l'assimilation chlorophyllienne entraîne la formation de carbonate de calcium à partir du bicarbonate soluble ; d'autre part, l'élévation de pH du milieu environnant, consécutive à l'utilisation du CO_2, favorise encore la précipitation du carbonate de calcium. Or, les calcaires viséens du

bassin de Laval sont très riches en Dasycladacées ; ces Algues vivent dans des profondeurs de -60 cm à -30 m (P. LEMOINE, 1940), avec un maximum de développement à des profondeurs de -10 m (W.R. TAYLOR in J. H. JOHNSON, 1961), dans des eaux marines, tempérées chaudes ou tropicales. Ces conditions de profondeur étaient réalisées dans des eaux transgressives sur un socle. G. DELEPINE (1953) attire l'attention sur le rôle des Algues largement développées sur les estrans soumis au va-et-vient des marées, dans la genèse des sédiments littoraux et, par conséquent, dans les faciès de transgression.

- Au Sud-Ouest de la ligne Changé-Sablé, les faciès détritiques persistent au sommet du Tournaisien supérieur et à la base du Viséen inférieur bien que le milieu soit devenu franchement marin. Cette sédimentation terrigène, devenue très fine (Grauwacke à Paléchinides), s'enrichit peu à peu en calcium et une faune de Brachiopodes, de Trilobites, d'Echinides (Palaechinus) s'établit sur un fond sableux. Le dépôt de la grauwacke se situe dans une zone de profondeur intermédiaire entre celle des eaux oxygénées de mer peu profonde et celle des eaux profondes plus ou moins saturées en SH_2 ; sa richesse en sidérite est due à la précipitation du fer dissous sous forme de bicarbonate, conséquence des échanges faibles avec les eaux riches en oxygène et de la diminution de la pression. Le potentiel oxydo-réducteur était faible, le bassin modelé en dépression dans cette région était en communication restreinte avec la mer ouverte (chapitre III).

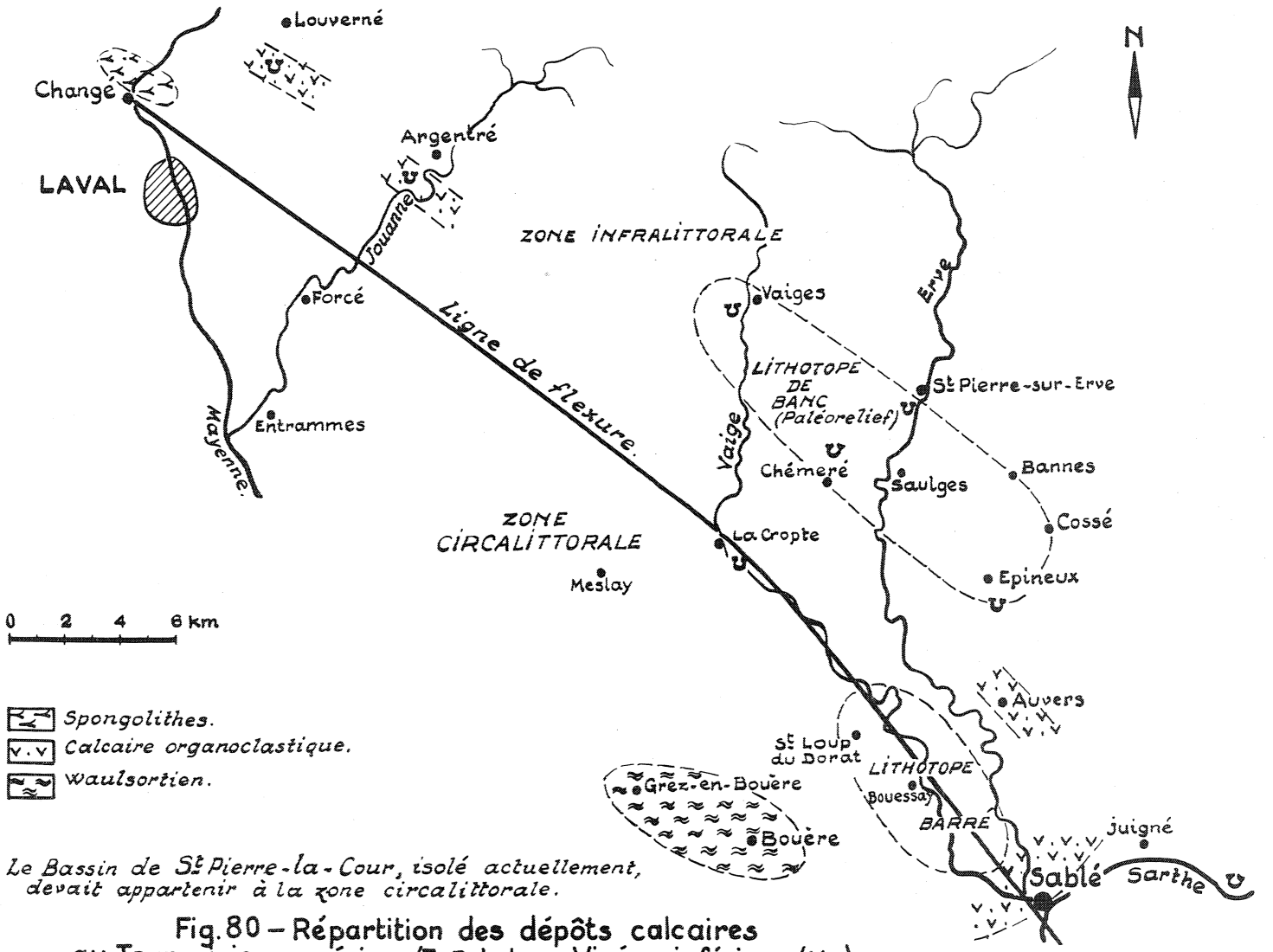
A la base du Viséen inférieur, dans le Nord-Est du bassin, la mer continue à transgresser et dépose des calcaires organoclastiques semblables à ceux du Tournaisien supérieur.

Ainsi, au passage du Tournaisien au Viséen, les deux zones de sédimentation déjà décelées au Culm inférieur se différencient nettement :

- au Sud-Ouest de la flexure, une zone un peu plus profonde (60-40 m ?) où les apports terrigènes continuent à arriver par suite de l'érosion encore active sur le continent, mais où l'influence marine s'affirme.

- au Nord-Est de la flexure, une zone moins profonde (20-10 m ?), en communication facile avec la mer ouverte où la vie végétale peut se développer et où le microplancton abondant permet une vie intense (calcaires d'Argentré, calcaires de Saint-Pierre-sur-Erve).

Au cours du Viséen inférieur, cette opposition entre les deux zones s'accentue encore : la sédimentation calcaire s'installe dans tout le bassin, mais présente des caractères différents suivant les régions (fig. 80).



Le Bassin de St Pierre-la-Cour, isolé actuellement, devait appartenir à la zone circalittorale.

Fig. 80 – Répartition des dépôts calcaires au Tournaisien supérieur (Tn 3c) et au Viséen inférieur (V 1).

- Au Nord de la flexure, la sédimentation organoclastique se poursuit, riche en Algues, avec une faune benthique : Brachiopodes, Echinides, Tetracoralliaires et Tabulés, Mollusques (Gastéropodes et Lamellibranches) et Trilobites. Il s'agit généralement d'espèces sédentaires, aux déplacements de faible amplitude, vivant sur des fonds durs ou meubles, et de formes fouisseuses. La richesse en individus et en espèces est un caractère de benthos littoral. Les Foraminifères abondants devaient vivre associés aux prairies d'Algues. Il est évident que les fossiles rencontrés dans ces calcaires ont pu subir un certain transport après leur mort ; cependant, on n'observe jamais de concentrations d'individus, véritables thanatocoenoses ; d'autre part, les coquilles de Brachiopodes (Productidae, Spiriferidae) sont entières et non en valves isolées, de telle sorte que le transport a dû être court et que, par suite, l'association décrite doit correspondre sensiblement à une biocoenose. Dans la région de Bouessay, s'établit, vers le Nord-Est, une zone barrée aux influences de la mer ouverte, limitée entre la flexure Changé-Sablé et le bioherme waulsortien de Bouère. A Changé, le développement des spongolithes est lié au faciès vaseux et à l'abondance de silice d'origine volcanique. Dans la région de Saint-Pierre-sur-Erve et de Cossé, à la partie supérieure du Viséen inférieur, le caractère infralittoral de la sédimentation est mis en évidence par la présence d'oolithes et de bothrolithes algaires, formés dans une zone à morphologie de banc où la force des courants de marées peut être très inégale suivant la topographie sous-marine.

- Au Sud de la flexure, se déposent tout d'abord des calcaires micritiques à calcisphères et Foraminifères uniloculaires. Puis la sédimentation se diversifie suivant les régions : biohermes waulsortiens (calcaires à veines bleues), calcaires bleu-gris à éléments crinoïdiques dispersés ou calcaires de Forcé. La sole des calcaires waulsortiens est un calcaire crinoïdique, véritable "petit granit". Les Crinoïdes vivent dans des eaux salines bien aérées contenant, en suspension, de la matière organique susceptible de leur servir de nourriture (ceci est possible dans la zone euphotique : E. G. PURDY, 1964). Il s'agit en effet de formes sessiles, fixées à demeure sur un substrat solide ; microphages, elles sont, nécessairement, tributaires de courants susceptibles de leur apporter les proies vivantes (Larves, Protozoaires, Protophytes) et les matières organiques en suspension ou en solution colloïdale. La roche susceptible de recevoir un peuplement sessile doit présenter une texture hétérogène et ne doit pas être meuble (J.M. PERES, 1961); toutefois, elle peut être formée d'éléments mobiles les uns par rapport aux autres, à condition que ces éléments ne soient pas remués constamment par les houles et les marées.

Le faciès à veines bleues est le résultat d'une accumulation de calcite micritique, piégée par des voiles de Bryozoaires associés à des Algues molles (Rhodophyceae ?). On assiste donc à une succession de peuplements fixés se substituant aux organismes plus ou moins mobiles de la

Grauwacke à Paléchinides : les Bryozoaires, en association avec les Algues, remplacent les prairies à Crinoïdes et s'étendent sur de larges surfaces. La précipitation de carbonate de calcium provoquée par le métabolisme des Algues a dû gêner la croissance des Crinoïdes (A. CAROZZI, 1962). Les Algues ont vécu dans des eaux à turbulence certaine, non violente, mais suffisante pour assurer le renouvellement des éléments nutritifs et l'évacuation des déchets de leur métabolisme. Cette association ancienne est comparable à celle actuelle des "fonds coralligènes" (J.M. PERES, 1961) de l'étage circalittoral : Rhodophycées molles (si la diminution d'éclairement n'est pas trop importante), Eponges nombreuses, Polypiers isolés, Polychètes, Brachiopodes, Echinides sporadiques, Ophiures, Bryozoaires nombreux. L'existence de Brachiopodes et de Polypiers solitaires, par poches, ainsi que la présence de restes d'Echinides sous forme de radioles sont connues dans les faciès waulsortiens. Les Eponges, par contre, sont absentes dans ce faciès, dans le bassin de Laval. Les fonds coralligènes présentent une flore sciaphile (ici des Algues associées aux Bryozoaires et non conservées) qui s'installe volontiers, soit sur un substrat de sables grossiers ou de graviers ayant pu subir un concrétionnement biologique et devenant ainsi le substrat dur nécessaire à l'installation des espèces animales sessiles, soit sur des surfaces rocheuses faisant saillie hors des sédiments environnants. La partie supérieure de l'étage circalittoral en eau claire peut atteindre -60 m. Les Algues sciaphiles se développent dans des zones à sédimentation lente, sinon les individus seraient rapidement enfouis. Ce milieu doit être celui qui a permis la genèse des "récifs à veines bleues".

En résumé, cette zone de sédimentation est un peu plus profonde que celle où se déposent les calcaires organoclastiques du type calcaire de Sablé, tout en appartenant encore à l'étage littoral. La circulation de l'eau est certaine, mais non violente. Le biotope du type "fonds coralligènes" s'est maintenu pendant un certain temps. Mais au cours de l'édification du bioherme, se manifeste une certaine rythmicité : alternance de calcaires à veines bleues et de micrite à débris de Crinoïdes, cf. chapitre IV. La fine poussière de calcium qui précipitait, incrustait les Algues et les Bryozoaires. Par suite de l'accumulation de sédiments et du surhaussement corrélatif du fond marin, l'influence de la houle et des tempêtes devait se faire sentir. Les colonies de Bryozoaires et les Algues dépérissaient ; la prairie à Crinoïdes subsistait seule, puis devait être détruite assez rapidement. Par suite de subsidence, la turbulence diminuait et le phénomène recommençait. Cette sédimentation rythmique a cessé par envasement massif (dépôt de schistes calcareux).

Dans la zone intermédiaire entre les récifs waulsortiens, la puissance des sédiments est inférieure à celle des biohermes waulsortiens, mais la largeur en affleurement est augmentée par suite de nombreux replis affectant les calcaires. La subsidence devait être moins importante qu'à

l'emplacement des "récifs". Lors de la sédimentation des calcaires de Forcé, le fond était dépourvu d'organismes susceptibles d'être fossilisés et peut-être même de vie, sans doute parce que les eaux étaient insuffisamment aérées. Les calcisphères ont dû être apportées par flottage, les quelques débris crinoïdiques sont peut-être les vestiges d'une sédimentation organoclastique, déposés loin de leur lieu d'origine. Les Calcaires de Laval sensu stricto et de Changé sont différents puisqu'ils contiennent des Conodontes qui, selon une opinion généralement admise, caractérisent des faciès d'aire calme, peut-être de lagons (V. L. POKORNY, 1965).

Au Viséen moyen, (fig. 81) et à la base du Viséen supérieur,

- dans la partie septentrionale du bassin, la sédimentation apparaît de plus en plus littorale. Les Dasycladaceae prédominent parmi les restes organiques (cf. chapitre II) ; les Brachiopodes (Productidae et Spiriferacae) et les Tétracoralliaires solitaires ou coloniaux sont les seuls groupes subsistants. Ils devaient croître dans des zones plus calmes, éclairées et aux eaux renouvelées. Par suite, après leur mort, ils ont pu être transportés par les courants et être mêlés à des sédiments formés en milieu plus agité car les Polypiers ne sont pas en position de vie. Les niveaux oolithiques nombreux confirment l'hypothèse de la très faible profondeur et de l'agitation de l'eau, en particulier à la base du Viséen supérieur. Ils sont associés à des dépôts rappelant les "bahamites" et formés sur des étendues plates, de profondeur inférieure à 10 m et analogues au banc des Bahamas ; cette topographie sous-marine devait s'étendre depuis le méridien de Louverné jusqu'à une limite orientale non précisée, puisque le bassin s'ennoie sous les formations secondaires du bassin de Paris. Le rôle des courants de marées devait être prépondérant pour la répartion des faciès.

- au Sud-Ouest de la flexure, après le dépôt des biohermes waulsortiens, la sédimentation s'interrompt à Saint-Pierre-la-Cour ; elle présente à Bouère, les caractères reconnus dans les faciès environnant le Waulsortien, au cours du Viséen inférieur et du Viséen moyen. Les calcaires qui surmontent les calcaires à veines bleues, sont bleus ou roses, à passées crinoïdiques plus ou moins importantes. Dans les régions intermédiaires, se déposent des calcaires lie-de-vin ou gris-bleu ou verts, à pâte micritique avec débris crinoïdiques plus ou moins épars. Ces calcaires correspondent à la diagénèse de boues calcaires extrèmement fines.

La sédimentation calcaire est interrompue localement par un apport terrigène et siliceux avec développement de Spongiaires. Ces derniers sont tolérants quant à la nature du substrat. Leur relation avec des phénomènes volcaniques a été établie au chapitre IV. Le développement des Spongiaires est souvent lié aux déformations du fond (M. DREYFUSS, 1955). Les niveaux volcaniques sont des tufs extrèmement fins, acides, formés de cendres qui

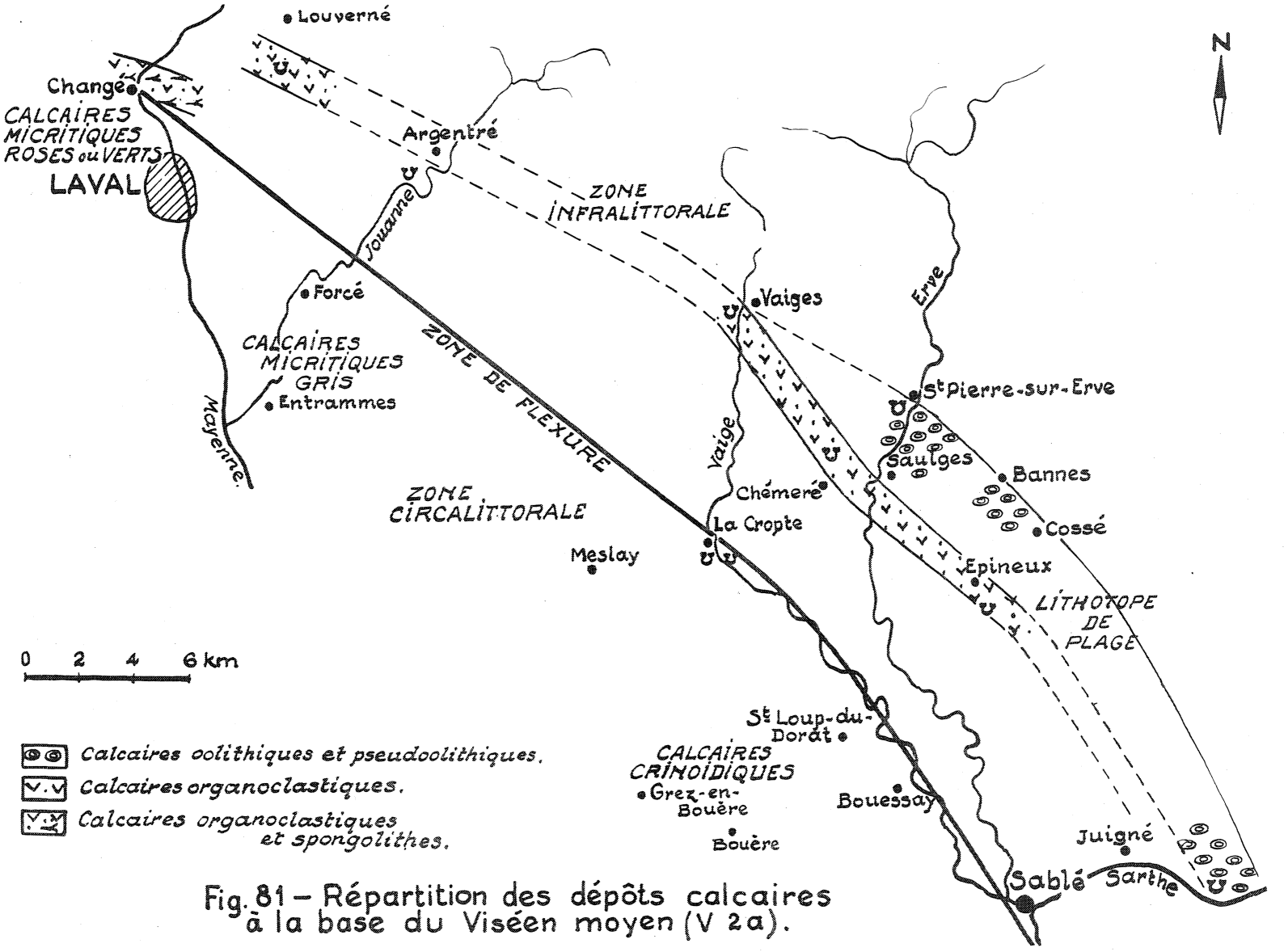


Fig. 81 – Répartition des dépôts calcaires à la base du Viséen moyen (V 2a).

pouvaient venir de fort loin et dont il est impossible de retrouver les bouches émettrices. La localisation de ce volcanisme dans la région de Changé peut être rapprochée de celle des coulées rhyolitiques (blaviérite) bien développées à la base du Culm. On peut émettre l'hypothèse qu'il s'agit d'une reprise d'activité du même appareil éruptif. L'existence de ce volcanisme indique que le continent n'était pas calme et que se préparaient des mouvements qui ont engendré la sédimentation terrigène ultérieure.

En résumé, depuis le Viséen inférieur jusqu'au début du Viséen supérieur, toute la sédimentation est fonction des irrégularités du fond du bassin, héritées de l'orogénèse bretonne. Ce fond présente une subsidence à vitesse variable suivant les régions. Cette morphologie sous-marine est un caractère qui influe sur la sédimentation de tous les faciès transgressifs.

Au Viséen supérieur-Namurien, le rôle de la tectonique redevient prépondérant. Les apports continentaux sont importants ; de nouveaux reliefs se constituent. Dans certaines régions (Changé), les dépôts restent fins et renferment des organismes calcaires à leur base. Dans les exploitations minières de la partie orientale du bassin, des niveaux de poudingues ont été signalés à la partie inférieure de la série. La nature, la taille et la forme des galets de poudingues étudiés à La Baconnière, traduisent l'origine locale et torrentielle du matériel ; la forme anguleuse des éléments des arénites prouve la soudaineté de l'érosion. La mer régresse lentement. Des marécages paraliques se forment. Les Crossoptérygiens (Coelacanthes) voisinent avec les Mollusques d'eau douce. On sait que ces Poissons pouvaient survivre dans la boue en putréfaction, en absorbant l'oxygène de l'air, lors des périodes de sécheresse.

Du Dévonien supérieur au début du Viséen supérieur, les sédiments compris entre deux phases tectoniques constituent une séquence positive (A. LOMBARD, 1956), réprésentant la série géochimique de V. M. GOLDSCHMIDT (1937 ; 1945) telle que l'a traduite G. MILLOT (1964) :

- résidus insolubles constitués par les dépôts détritiques du Culm inférieur et produits par l'érosion de reliefs nouvellement formés à la phase bretonne.

- carbonates : sidérite, associée au dépôt de la Grauwacke à Paléchinides, calcaires biochimiques du Viséen.

Le Viséen supérieur et le Namurien, par suite d'une nouvelle orogénèse, donne naissance à une nouvelle séquence qui ne présente que le terme détritique car la tectogénèse hercynienne a interrompu la sédimentation.

La période de formation des calcaires biochimiques du Viséen est une période biostasique : cependant, la sédimentation calcaire dinantienne est, à l'origine, essentiellement bioclastique ; la mer est relativement pauvre en ions Ca et, seuls, les organismes concentrent les éléments dans leur test. Au Viséen moyen et au début du Viséen supérieur, la sédimentation devient plus chimique. La reprise de la tectonique, au cours du Viséen supérieur, engendre une période rhexistasique avec détritiques et charbons (H. ERHART, 1956 ; 1961 ; 1964). La sédimentation du Carbonifère inférieur envisagée dans son ensemble présente une séquence positive, résultat de la décroissance de la tectonique, suivie d'une séquence négative, conséquence de la reprise de la tectonique.

SIGNIFICATION DES SEDIMENTS CARBONIFERES DANS LA TECTO-OROGENESE HERCYNIENNE

I - HISTOIRE GEOLOGIQUE ANTECARBONIFERE

Les sédiments depuis le Trémadoc jusqu'au Dévonien moyen se sont accumulés, dans ce que P. PRUVOST (1949) a appelé "fosse centrale armoricaine", avec des caractères variables suivant les régions.

Le caractère marin des dépôts trémadociens n'est véritablement affirmé que dans les Coëvrons, la Charnie et le synclinal de Saint-Julien-de-Vouvantes. Ailleurs, le poudingue de Montfort et les schistes rouges qui lui sont associés, paraissent témoigner d'influences continentales (H. et G. TERMIER, 1964, p. 269), ils correspondent peut-être à une couverture continentale très évoluée remaniée dans le milieu marin (A. PHILIPPOT et J. J. CHAUVEL, 1957). Cette formation manque sur la plus grande partie du pourtour du bassin de Laval.

Dans certaines régions, le Grès armoricain (Skiddavien) est transgressif sur le Briovérien. Cette masse détritique est constituée par des apports importants du continent ; les pistes, terriers, chenaux, figures de sédimentation (ripples-marks) indiquent un dépôt de faible profondeur (dépôt de plages S. MORFAUX, 1964). Les Schistes à Calymènes (Llandeilo) correspondent à des apports à grain plus fin et à une sédimentation plus

tranquille plutôt qu'à un approfondissement des bassins d'accumulation. La sédimentation gréseuse et schisteuse de l'Ordovicien supérieur troublée par des phénomènes volcaniques (Y. MILON, 1935 ; G. LUCAS, 1940 ; A. PHILLIPOT, 1963 ; E. FOURMOND, 1964), suit l'épeirogénèse taconique. A cette époque, la cordillère ligérienne émergée, ou proche de l'émersion (J. COGNE, 1960b), a pu alimenter la sédimentation en détritiques. Le Silurien (ampélites et grès) représente un dépôt de mer peu profonde, avec hauts fonds isolant des lagunes (A. PHILIPPOT, 1950).

Le Gédinnien et le Siegénien inférieur sont, dans le Finistère, des dépôts de mer épicontinentale, provenant de l'érosion d'une terre émergée au Nord (J. T. RENOUF, 1965) ; le Dévonien supérieur dans cette même région présente un caractère néritique et lagunaire (C. BABIN, 1966). En Mayenne, le Siegénien moyen (Schistes et Calcaires à Athyris undata) est un niveau intéressant : il contient en effet, des biohermes à Stromatopores et Tabulés, formés dans des zones soumises à l'action des vagues, ou immédiatement en-dessous de la zone d'action de la houle (soit 40 à 50 m de profondeur). Il semble donc qu'à cette époque, la "fosse" subsidente, en voie de comblement, était exempte d'apports terrigènes et propice à l'installation de calcaires massifs organogènes. Pendant les périodes de subsidence, s'accumulaient des sédiments à grain fin qui sont devenus des schistes. Les niveaux "grauwackeux" du Siegénien supérieur, de l'Emsien et du Couvinien sont en relation sans doute avec une phase d'épeirogénèse, entraînant l'apport de sédiments fins.

Tout au cours de cette sédimentation antécarbonifère, les mouvements épeirogéniques subis par les cordillères qui bordaient cette "fosse", se répercutaient sur la sédimentation et le jeu de la subsidence compensait les apports pour maintenir une profondeur relativement peu élevée. De cette histoire succincte de la "fosse centrale armoricaine", il ressort que la sédimentation n'a jamais été profonde, mais néritique, voire même littorale, les terres émergées paraissant toutes proches.

Pour J. AUBOUIN (1962), la Bretagne méridionale appartient à la zone moldanubienne, massif intermédiaire entre deux rides eugéanticlinales d'un bicouple à symétrie centrifuge. Le reste de la Bretagne est considéré comme situé dans la zone saxothuringienne interne : ride eugéanticlinale nord (J. AUBOUIN, id. op., p. 676). Dans cette interprétation, la "fosse centrale armoricaine" de P. PRUVOST correspondrait à cette ride eugéanticlinale. Les roches vertes et le flysch existent dans la zone saxothuringienne externe, transition entre la ride eugéanticlinale et le sillon eugéosynclinal (J. AUBOUIN, ibid., p. 676) (Thuringer Schiefer Gebirge et plus à l'Est dans le Thuringerwald et le Bas Harz ; le Lizard au Sud de la Cornouaille Britannique) et dans la zone rheno-hercynienne interne (sillon eugéosynclinal). Si les caractères d'eugéosynclinal apparaissent

nettement dans ces deux dernières zones, tel n'est pas le cas dans la Bretagne centrale où ne se retrouvent ni les sédiments pélagiques du stade de vacuité, ni les flyschs du stade de comblement. Les dépôts sont terrigènes et biochimiques, épicontinentaux. Pour J. COGNE (1963), le domaine antécambrien de la Bretagne méridionale appartient à la zone la plus interne du système géosynclinal hercynien ; quant à la "fosse centrale armoricaine", "les caractères généralement néritiques et même épicontinentaux de sa sédimentation sensible aux moindres pulsations épirogéniques, font penser beaucoup plus à un sillon intracratonique qu'à un véritable géosynclinal" (id. op., p. 427).

Les sédiments de la "fosse centrale" ayant été affectés par la tecto-orogénèse hercynienne, il est intéressant de les placer dans le schéma de l'évolution du géosynclinal hercynien. En admettant avec J. AUBOUIN (1965, p. 262) que les massifs intermédiaires (ici zone modalnubienne, Bretagne méridionale) puissent être regardés "comme des fragments de plateforme ou continents ou même aire continentale ou craton compris entre deux zones mobiles", la région étudiée peut être considérée comme une zone subsidente, située sur la bordure de ce craton, car l'instabilité orogénique caractéristique de la zone eugéosynclinale proprement dite, se manifeste déjà dans la constitution des sédiments carbonifères (voir p. 254).

II - SIGNIFICATION DU DEPOT DU CULM INFERIEUR

Le mode de succession des lithotopes dans les séquences est variable. Dans certaines séquences de deuxième ordre, on constate un saut direct des détritiques minces à des colloïdes épais (schistes noirs) : (séquence mineure 3-EF; séq. min. 4-AB du Culm du Sud de Laval ; séq. min. 2-III du Culm du Nord de Laval). Dans d'autres séquences mineures, on peut différencier un terme de base granoclassé et un complexe terminal (alternance de détritiques fins et de colloïdes (Culm Sud de Laval : séq. 2-EF; séq. 10, 11, 13-GH ; séquences de Gautray ; séquences de Saint-Pierre-la-Cour). En d'autres points, existent des cyclothèmes (voie ferrée Sablé-Le Mans). Les couches ont une puissance irrégulière et sont parfois franchement lenticulaires.

La suite des séquences présente ainsi une certaine analogie avec celle de la Molasse stampienne d'Yverdon donnée comme exemple de séquence détritique et colloïdale (A. BERSIER in LOMBARD, 1953, p. 15), les compositions minéralogiques étant toutefois différentes puisque les colloïdes dans le bassin de Laval ne sont pas calcaires et que les faciès gréseux correspondent à des grauwackes. Il faut remarquer, dans la Molasse décrite par A. BERSIER et dans le Culm étudié, notamment le retour des

détritiques parmi les colloïdes par pulsations oscillantes et l'arythmicité de certaines séquences. Cette diversité de caractères est celle observée dans les faciès molassiques : elle est liée à la variabilité de la profondeur d'eau, due à la vitesse relative de la subsidence et du comblement détritique. C'est la différence essentielle du point de vue stratonomique entre le faciès flysch et le faciès molassique (A. BERSIER, 1953 ; L. CONTESCU, 1964 ; ST. DZULINSKI et A. SMITH, 1964).

Cependant, les caractères lithologiques et stratonomiques sont, d'après certains auteurs (A. J. EARDLEY et M. G. WHITE, 1947) insuffisants pour caractériser le Flysch et la Molasse qui doivent être considérés non seulement comme des faciès, mais surtout comme des formations géologiques, c'est-à-dire "des combinaisons de roches sédimentaires conditionnées historiquement" (N. B. VASSEOVITCH, 1951). La lithogénèse étant commandée par la tecto-orogénèse, les critères génétiques doivent être examinés pour distinguer Flysch et Molasse. Le Flysch et la Molasse sont des formations de géosynclinaux liées à l'histoire de ces unités (J. AUBOUIN, 1959 a et b ; A. H. BOUMA, 1962 ; H. SCHAUB, 1961). On peut adopter les définitions données par L. CONTESCU (id. op., p. 429) "Le Flysch est une formation syndiastrophique prémagnaparoxysmale et la Molasse est une formation toujours syndiastrophique, mais postmagnaparoxysmale". Le caractère de formation molassique du Culm inférieur dans le massif Armoricain basé sur les critères génétiques a été reconnu par J. AUBOUIN (1962, p. 675).

La phase bretonne est une phase d'orogénèse (J. COGNE, 1959 ; 1960 a et b ; 1963) qui a produit la surrection et l'émersion des terrains antécarbonifères dans le bassin de Laval où elle a précédé le plissement, comme cela est signalé d'une façon générale, au cours du diastrophisme hercynien par P. GIDON (1960). La phase bretonne dans la Bretagne méridionale a été une phase lente mais de longue durée : phase d'intumescence avec voussure (J. COGNE, 1965). L'allure variable de cette orogénèse dans la région étudiée (voussures simples au Sud ou relief de faille important au Nord du bassin) a été mise en évidence au chapitre I.

Plus au Nord, dans le domaine de la Normannia, pour J. GRAINDOR (1961 ; 1963 ; 1964), la phase tectonique majeure au cours de laquelle se sont formés les plis (c'est-à-dire la tectogénèse) est la phase bretonne. Cela ne paraît pas être applicable au bassin de Laval. Lorsqu'on peut observer le contact entre le Dévonien inférieur et le Dinantien (coupe de la Mayenne au Nord de Laval), la discordance angulaire est de quelques degrés. Par contre, on ne peut nier que le Dinantien soit autant tectonisé que les couches antécarbonifères : présence d'une schistosité de flux bien développée aussi bien dans les schistes du Culm inférieur que dans les

calcaires viséens, renversement des couches sur le flanc sud du synclinorium, valeur angulaire du pendage toujours élevée même sur le flanc nord, etc... Mes observations sont en accord avec ce que J. COGNE (1965, p. 239) décrit à Kerarmel (Finistère) c'est-à-dire "des plissements et schistosités subordonnés qui affectent aussi bien les quartzophyllades de Morlaix que le Viséen qui les recouvre". La phase de tectogénèse principale est donc postérieure à la base du Namurien et correspond à la phase sudète II ou à la phase de l'Erzgebirge.

Le Dévonien supérieur, sous le faciès habituellement connu dans le massif Armoricain paraît manquer dans le bassin de Laval, car il est difficile d'admettre qu'ayant existé, il ne se retrouve nulle part parmi les nombreux affleurements dévoniens de la région. Cependant, la découverte du niveau fossilifère de Changé (chapitre I, p. 44), incite à penser que le Dévonien supérieur puisse exister sous le faciès Culm. Dans le bassin de Laval, on a généralement admis que la phase bretonne se situait vers la fin du Dévonien supérieur ; si ce Dévonien supérieur existe, elle correspondrait soit à la "marsische Phase" (entre Frasnien et Famennien), soit même à la phase que H. STILLE (1928) situe entre l'Eifelien et le Givetien.

Je rappelerai que l'existence de Culm (Grès du Robillard) datant du Dévonien supérieur a été supposée en Normandie et confirmée par une étude micropaléontologique récente (J. DOUBINGER et J. PONCET, 1964).

La lacune du Dévonien supérieur se retrouve dans la région de Morlaix (CH. DELATTRE, 1952). La présence de Protolepidodendron sp. dans les schistes famenniens de Porsguen laisse supposer l'existence d'un continent domnonéen à cette époque (C. BABIN et Y. PLUSQUELLEC, 1965) ; d'ailleurs des signes de régression, dans la région du fond de la rade de Brest, se manifestent dès le Frasnien (C. BABIN, 1966, p. 425). P. CAVET et J. PILLET (1964) reconnaissent, pendant la même époque, dans le synclinal d'Ancenis "une sédimentation troublée par les derniers soubresauts de la phase épirogénique bretonne".

Le Culm inférieur, situé dans ce cadre paléogéographique, entre une phase d'orogénèse (phase bretonne) et une phase de tectogénèse (phase de l'Erzgebirge) peut être défini comme une Paramolasse (L. CONTESCU, 1964), c'est-à-dire comme une Molasse formée au milieu d'un système géosynclinal, dans des intrafosses, à la suite de parvaparoxysmes correspondant à des mouvements verticaux ou à des gauchissements modérés. Contrairement à une opinion devenue classique (H. PAUL, 1939 ; M. GIGNOUX, 1950), il n'est donc pas assimilable à un flysch.

Le Culm inférieur, formation molassique, déposé dans la zone interne du géosynclinal hercynien, est antérieur à la phase de tectogénèse

ou phase des mouvements tangentiels horizontaux, considérée comme la phase paroxysmale par l'ensemble des géologues. Dans le cas présent, l'orogénèse n'est-elle pas la phase la plus importante dans la mesure où elle modifie la paléogéographie en créant des zones de sédimentation à caractère nouveau et ayant valeur de zones structurales? La direction N O - S E du bassin de Laval indiquée précocement par la ligne de flexure Changé-Sablé peut dater de l'orogénèse hercynienne et en conséquence, la tectogénèse, phase superficielle, ne fera que plisser les séries sédimentaires de ces zones sans modifier la direction des unités structurales. Cependant, elle met fin à l'histoire du géosynclinal, en intégrant ce domaine au continent nord-européen. Dans cette zone interne, il n'y a pas de Molasse postérieure à la tectogénèse.

III - SIGNIFICATION DES CALCAIRES DINANTIENS

La phase bretonne cesse d'influencer le bassin de Laval dès le Tournaisien supérieur pour la région septentrionale. Le calme orogénique règne sur la Mancellia ; par contre, l'intumescence bretonne continue vers le Sud, mais seuls des éléments fins sont évacués vers le bassin de Laval jusqu'au début du Viséen inférieur (Grauwacke à Paléchinides) tandis que, dans le bassin d'Ancenis plus proche des reliefs, se déposent les formations détritiques grossières associées au poudingue d'Ingrandes (P. CAVET, H. LARDEUX et J. PILLET, 1964).

Dès que les mouvements cessent, le relief disparaît (R. LAFFITTE, 1949) et une sédimentation organogène s'installe dans l'ensemble du bassin. Mais la morphologie du fond sous-marin influence la répartition des faciès. Une flexure de direction N O - S E parallèle aux flexures profondes dessinées lors de la phase bretonne entre "infrastructure montante" et "superstructure subsidente" (J. COGNE, 1965, id. op.) se manifeste, isolant une plate-forme infralittorale à subsidence légère d'un bassin circalittoral subsident. La plate-forme infralittorale, loin d'être uniformément plate, présente des bancs dans certaines zones correspondant, sans doute, à des reliefs formés à la phase bretonne et des zones plus profondes influencées par le volcanisme. Au Sud-Ouest de la flexure, bien que toujours épicontinentale mais un peu plus profonde (circalittoral, aux environs de -60 m, -40 m), s'individualise une dépression dans laquelle se développent des biohermes à veines bleues, tandis qu'une boue carbonatée remplit les espaces intermédiaires. La vitesse de subsidence plus élevée que sur la plate-forme littorale, compense l'accroissement de la sédimentation et rend possible l'implantation de structures "récifales". Des observations parallèles ont été effectuées en Belgique par M. LECOMPTE (1965), qui expliquent la localisation des calcaires construits waulsortiens, plus sur la zone de flexure elle-même que dans le bassin, où la subsidence est trop importante. Dans le bassin de

Laval, cette localisation n'est pas évidente ; mais, par contre, l'individualisation entre plate-forme infralittorale et dépression circalittorale légèrement plus profonde se traduit nettement dans la sédimentation.

Cette flexure, si importante pour la morphologie du bassin, a eu une influence certaine sur le plissement des assises. On remarque, en effet, que les sédiments de cette zone circalittorale ont subi des compressions intenses lors du plissement. Elles étaient, en effet lors de la tectogénèse, serrées entre le bloc modalnubien et la plate-forme infralittorale plus indurée par les assises antécarbonifères soulevées à la phase bretonne et proches de la surface (reliefs anciens décelés durant le Dinantien). D'autre part, la ligne de fracture de Changé (Mayenne) entre les Calcaires de Sablé s.l. et la Grauwacke à Paléchinides correspond sans doute à la cassure de la flexure, lors de la tectogénèse. L'influence de la morphologie d'un bassin sur son évolution future a été signalé par P. PRUVOST (1942) qui, lors d'une étude sur un bassin houiller paralique cénomanien écrit p. 278 "les grandes lignes tectoniques sont le plus souvent un héritage d'un lointain passé, contemporain au moins de la période de remplissage du bassin".

IV - SIGNIFICATION DES SCHISTES DE LAVAL

Au Viséen supérieur, le retour des détritiques fins dont les premières assises sont marines (Crinoïdes, Bryozoaires) permet de conclure à la naissance de nouveaux reliefs sous un climat humide, mais pas nécessairement tropical (cf. chapitre V). Par la suite, la mer régresse lentement, le dépôt devient semi-paralique avec niveaux continentaux à Mollusques d'eau douce. La végétation était développée dans les zones marécageuses. Ce nouveau paysage s'est établi par suite d'un mouvement continu ayant réalisé l'intégration finale du bassin de Laval au continent nord-européen.

Rattacher ce soulèvement à la phase bretonne serait une erreur, dans la mesure où, depuis le Tournaisien, le bassin de Laval n'est plus intéressé par elle, et parce que d'autre part, la Normannia a retrouvé depuis plus longtemps encore le même calme orogénique. Il paraît plus logique de le considérer comme une phase prémonitoire de la tectogénèse hercynienne et de l'homologuer à la phase sudète.

Dans le bassin de Saint-Pierre-la-Cour, la phase sudète intègre au domaine continental le Culm inférieur et les calcaires waulsortiens qui ne sont suivis d'aucun dépôt. Dans le bassin de la Baconnière, elle affecte le socle antécarbonifère qui dessine une dépression nouvelle dans laquelle les poudingues de la base des "Schistes de Laval" sont discordants sur le Dévonien inférieur. La taille des éléments grossiers et l'absence d'usure

du matériel témoignent de l'importance des reliefs voisins.

Lors de la phase sudète, les séries sud-armoricaines sont affectées de plissement, particulièrement la zone migmatitique profonde ou zone d'infrastructure, les granites tardi-migmatitiques se mettent en place (J. COGNE, 1960 a) ; par contre, les séries du bassin de Laval ne seront plissées qu'après le dépôt des Schistes de Laval, c'est-à-dire après le Namurien, lors de la phase de l'Erzgebirge.

CONCLUSIONS GENERALES

Les recherches bibliographiques ont fait apparaître un certain nombre de questions non résolues au sujet du Carbonifère inférieur du bassin de Laval, après les travaux de plusieurs géologues.

La description précise des affleurements suivis de proche en proche et l'analyse séquentielle des diverses formations, basée sur un échantillonnage aussi serré que possible, sur l'étude sédimentologique et micropaléontologique des lithotopes ont fourni des données nouvelles aux problèmes à résoudre ; elles ont conduit à proposer des réponses dont la coordination permet de tracer une esquisse paléogéographique du bassin de Laval et de retrouver les grandes lignes de son évolution au cours des premières phases de la tectonique hercynienne.

I - LES DONNEES NOUVELLES FOURNIES PAR LES DIVERSES METHODES UTILISEES peuvent être présentées de la façon suivante :

A - ETUDE PETROGRAPHIQUE DES DIVERS LITHOTOPES :

1 - définition précise de la nature de certains dépôts
- . grauwackes du Culm
- . diversité des niveaux calcaires : calcaires organoclastiques, oolithiques, bothrolithiques, pseudoolithiques, micrites
- . spongolithes et niveaux à Spongiaires
- . mise en évidence de la nature tuffacée de certains niveaux viséens

2 - analyses granulométriques et morphoscopiques fixant les conditions de transport et de sédimentation

3 - mise en évidence de séries rythmiques ou arythmiques

4 - caractères de dépôt molassique du Culm inférieur.

B - PALEONTOLOGIE ET STRATIGRAPHIE

1 - La découverte d'un Pleurodictyum, accompagné de Spiriferidae dans le Culm de Changé (Mayenne) fait envisager que le faciès Culm a pu s'établir dès le Dévonien supérieur.

2 - La mise en évidence du rôle des Algues et de la variété des Foraminifères dans le Calcaire de Sablé et la découverte de Conodontes dans le Calcaire de Laval ont permis de préciser la stratigraphie.

a) Le Calcaire de Sablé représente une série dans laquelle les associations de Foraminifères se succèdent de la même façon qu'en Belgique, en Avesnois et en Allemagne. Le dépôt, commencé au Tournaisien supérieur, se continue jusqu'à la base du Viséen supérieur.

b) Dans le Calcaire de Laval, les zones de Conodontes sont comparables à celles d'Allemagne ; elles datent du Viséen inférieur les biohermes waulsortiens (Bouère), elles montrent que les faciès dits d'accompagnement du Waulsortien sont, en fait, des "faciès environnants", stratifiés, déposés depuis le Viséen inférieur jusqu'au Viséen moyen.

c) Les Foraminifères, les Algues et les Conodontes permettent de préciser les corrélations stratigraphiques entre Calcaire de Sablé et Calcaire de Laval.

d) Des niveaux caractérisés par leur richesse en spicules de Spongiaires ont pu être datés dans la région de Laval et servir de repères stratigraphiques en l'absence de microfossiles caractéristiques.

II - LES TRAITS IMPORTANTS DE LA PALEOGEOGRAPHIE DU BASSIN DE LAVAL au cours de la période étudiée sont les suivants :

A - DES LE CULM INFERIEUR, s'établissent deux zones de sédimentation séparées par une ligne de flexure Le Bourgneuf-Changé-Sablé. Vers le Nord-Est, la profondeur reste toujours très faible : zone infralittorale ; vers le Sud-Ouest, elle est plus accentuée : zone circalittorale. Les reliefs environnants sont plus lointains vers le Sud que vers le Nord ; ils paraissent s'interrompre à l'Est de Vaiges, ce qui implique l'idée que la communication avec la mer ouverte se faisait dans cette zone. L'existence de cette flexure permet d'expliquer la localisation de la Grauwacke à Paléchinides, synchrone de la base du faciès Sablé et subordonnée au faciès du Calcaire de Laval (biohermal et micritique) au Sud-Ouest de la ligne Changé-Sablé et celle du Calcaire de Sablé, organoclastique, au Nord-Est.

B - LA SUBSIDENCE INEGALE a déterminé des zones de sédimentation, allongées NO-SE et dont la direction générale à été respectée par la tectogénèse.

III - L'EVOLUTION DU BASSIN DANS LE CADRE DE LA TECTO-OROGENESE HERCYNIENNE comporte les phases suivantes :

1 - La lacune importante entre le Couvinien et le Culm inférieur (Dévonien supérieur ?) correspond à la phase bretonne ("marsische Phase") ou à une phase située entre le Dévonien moyen et le Dévonien supérieur.

2 - La sédimentation détritique (Culm inférieur) résulte du démantèlement de reliefs formés à la phase bretonne (paramolasse).

3 - Une période de calme orogénique permet l'épisode de sédimentation thalassogène calcaire qui, débutant au Tournaisien supérieur, se poursuit jusqu'à la base du Viséen supérieur.

4 - La sédimentation détritique reprend au Viséen supérieur, conséquence des mouvements de la phase sudète, précédés et accompagnés d'un volcanisme acide.

5 - Après le Namurien, se produit la tectogénèse qui doit être rapportée à la phase de l'Erzgebirge.

Le bassin de Laval est une zone de subsidence qui peut être considérée comme appartenant à la zone interne du géosynclinal hercynien ; il a, en effet, été soumis à une orogénèse précoce (phase bretonne). Les caractères des dépôts font situer ce bassin en bordure d'une aire cratonique (zone intermédiaire à symétrie centrifuge de J. AUBOUIN) où il joue, postérieurement à l'orogénèse, le rôle d'une arrière-fosse recevant les dépôts molassiques du Culm inférieur. Les phases suivantes (Sudète et Erzgebirge) l'intègrent au continent Nord-Atlantique. Il n'y a pas de molasse postgéosynclinale, l'évolution géosynclinale hercynienne du bassin de Laval se termine très tôt après le Namurien ; elle est suivie d'une phase cassante (phase asturienne) postgéosynclinale qui détermine dans le bassin de Saint-Pierre-la-Cour une zone de sédimentation limnique : poudingues et houille stéphaniens.

Ces conclusions établies sur des données malheureusement, mais

nécessairement, fragmentaires par suite du petit nombre d'affleurements dans une région sans relief et très cultivée, comportent une part d'hypothèses qui pourra être réduite par de nouvelles découvertes et des recherches ultérieures, par exemple en ce qui concerne la palaéoclimatologie. Il est possible que l'analyse chimique des calcaires donne des indications précieuses, de même l'analyse structurologique et l'étude minéralogique des niveaux schisteux doivent pouvoir compléter notre information sur les effets de l'épigénèse et de la tectonique.

Le bassin de Laval ne groupe qu'une partie des formations carbonifères du massif Armoricain ; ce travail doit être complété par l'étude du bassin de Châteaulin dans lequel la sédimentation a des caractères très différents. La comparaison de l'évolution de ces deux bassins au Carbonifère doit permettre d'expliquer la mise en place d'un des éléments structuraux de premier ordre du massif Armoricain (synclinorium médian).

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

PLANCHE 1

CULM INFÉRIEUR : vallée de la Mayenne, flanc sud du bassin

1. — B 30 (lumière polarisée) : schiste avec cavités remplies secondairement de phyllites ; × 17,5.

2. — B 34 (lumière polarisée) : grauwacke ; × 17,5.

3. — HU 14 (lumière naturelle) : grauwacke formée de grains de quartz et de débris de roches métamorphiques et éruptives ; × 17,5.

4. — HU 14 (lumière polarisée) : le même échantillon ; × 17,5.

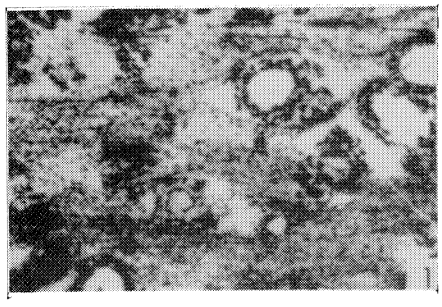
5. — HU 6 (lumière naturelle) : grauwacke zonée à grain fin : la disposition des lamelles micacées suivant les plans subhorizontaux est particulièrement mise en évidence ; × 43,5.

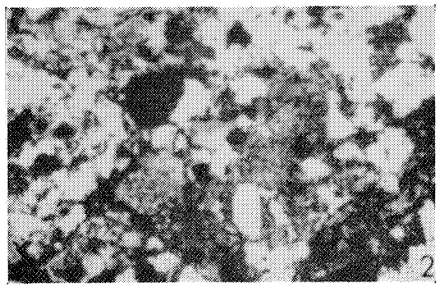
6. — HU 17 (lumière naturelle) : grauwacke : les grains de quartz sont liés les uns aux autres par des poutrelles de chlorites ; × 43,5.

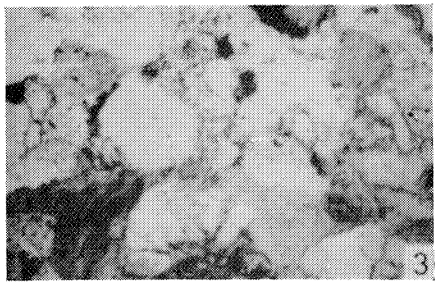
7. — HU 30 (lumière naturelle) : schiste riche en débris organiques ; × 43,5.

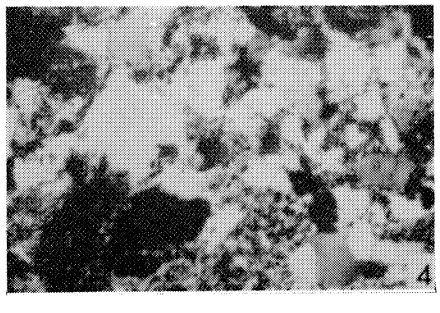
8. — HU 30 (lumière naturelle) : un autre aspect du même échantillon ; × 43,5.

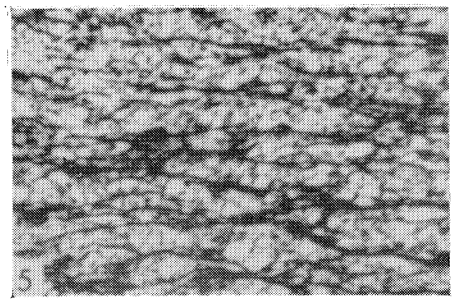
PLANCHE 1

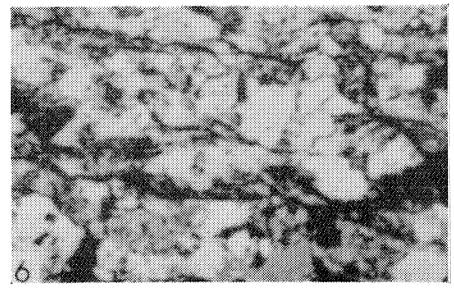


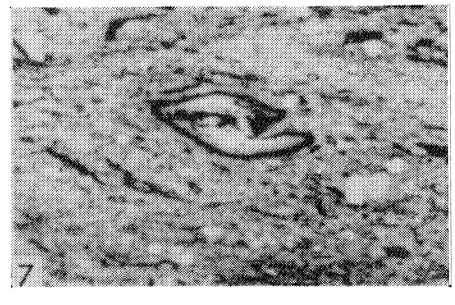


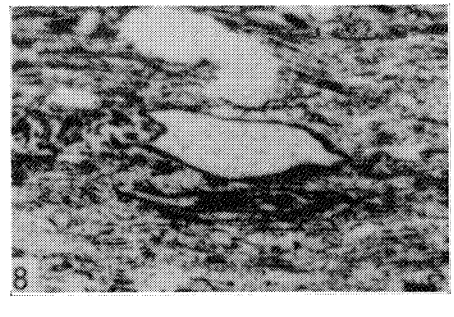












Grossissements

Fig. 1-2-3-4

0 500 1000 μ

Fig. 5-6-7-8

0 500 1000 μ

PLANCHE 2

CULM INFÉRIEUR : bassin de Saint-Pierre-la-Cour

1. — Sondage 15 (10 m — 11,50 m), lumière naturelle : grauwacke ; × 77.

2. — Sondage 15 (18,80 m), lumière naturelle : grès à ciment chloriteux ; × 77.

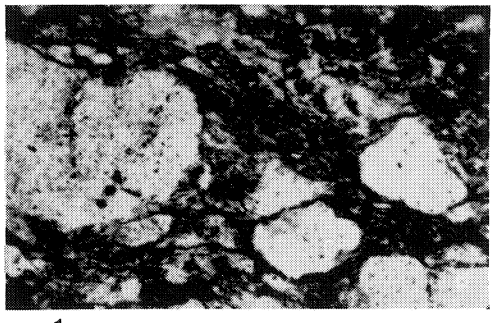
3. — Sondage 15 (18,80 m — 19 m), lumière naturelle : grauwacke ; × 77.

4. — Carrière de Champ-Ruault, lumière polarisée : grès à ciment micacé et chloriteux ; × 77.

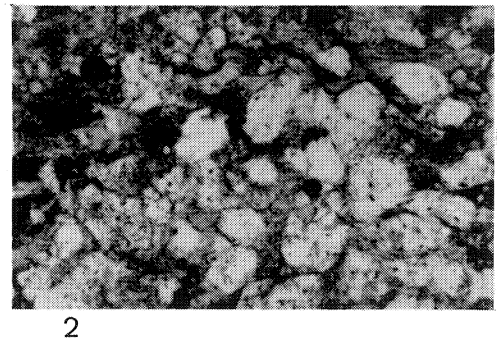
5. — Sondage 14 (13,30 m — 19 m), lumière naturelle : grès à ciment calcaire ; on observe le passage aux schistes noirs dans la partie inférieure de la lame mince ; × 195.

6. — Sondage 14 (3,30 m — 6,50 m) lumière naturelle : grauwacke ; × 32,5.

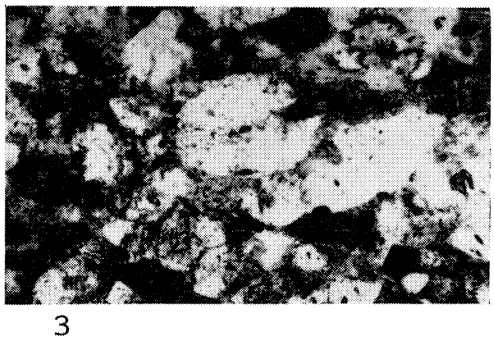
PLANCHE 2



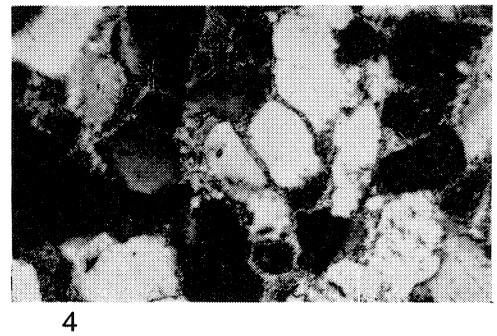
1



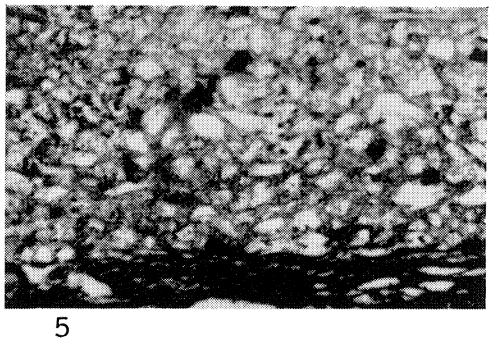
2



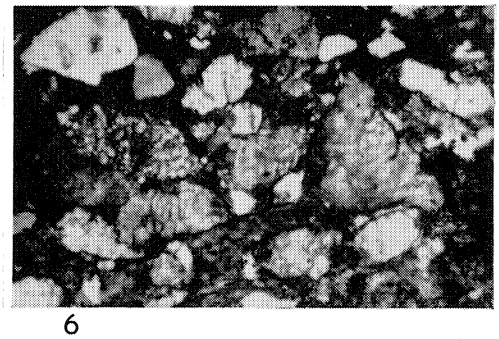
3



4



5



6

PLANCHE 4

Culm inférieur

1. — Changé 42 (lumière naturelle) : microconglomérat fossilifère ; × 50.

2. — Changé 42 (lumière naturelle) : microconglomérat fossilifère (valve de Brachiopode) ; × 110.

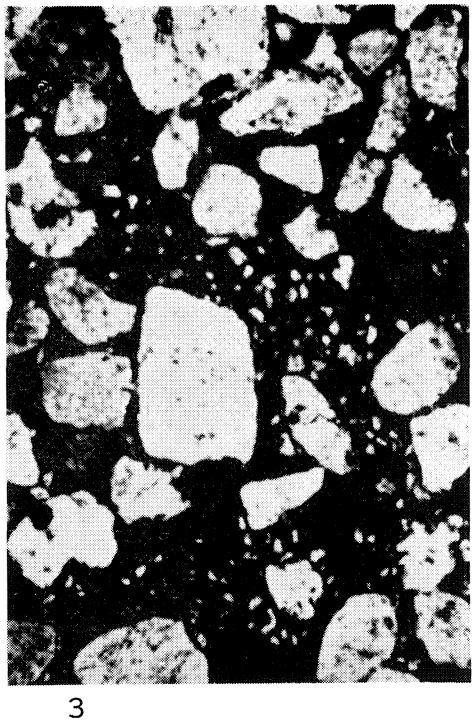
3. — Sablé : Voie ferrée Sablé - Le Mans 76 (lumière naturelle) ; grès hétérométrique ; × 50.

4. — Saint-Brice : Gomer 8 (lumière naturelle) ; grès à ciment chloriteux ; × 100.

PLANCHE 4

1

2



3

4

PLANCHE 5

Calcaire de Sablé

1. — Solesmes : Port-Etroit 7 ; calcaire organoclastique ou biospatharénite ; × 50.

2. — Sablé : voie ferrée Sablé - Le Mans 14 ; calcaire microorganoclastique ou biospatharénite ; × 50.

3. — Bouessay 50 ; microfaciès A ; × 50.

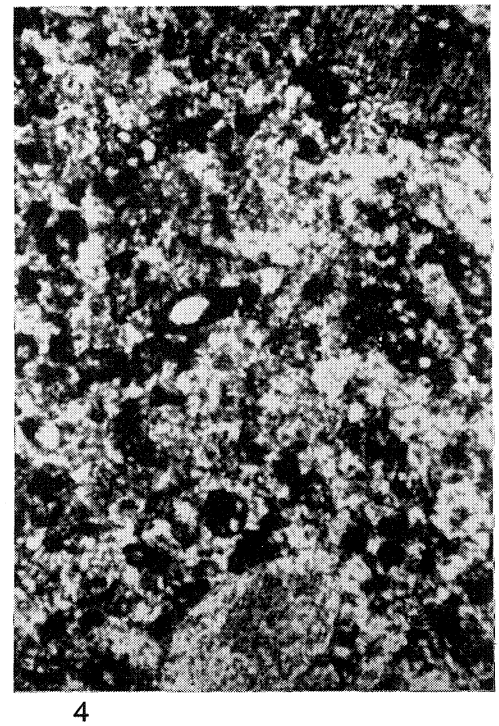
4. — Bouessay 23 ; microfaciès B ; × 50.

PLANCHE 5

1

2

3



4

PLANCHE 6

Calcaire de Sablé

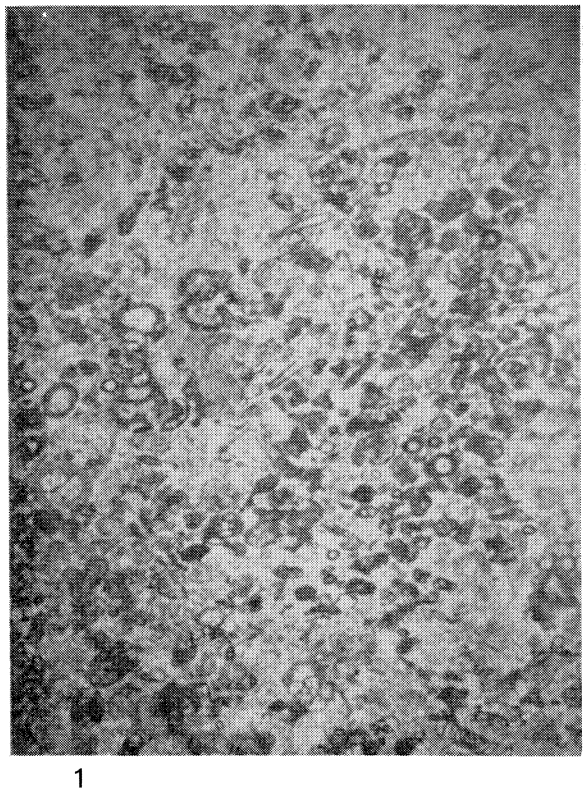
1. — Juigné : Châteauneuf 13 ; calcaire organoclastique ou biospatharénite ; × 21,5.

2. — Juigné : Châteauneuf 4 ; calcaire oolithique ou oospathrudite ; × 21,5.

3. — Juigné : Châteauneuf 6 ; calcaire oolithique ou oospathrudite ; × 21,5.

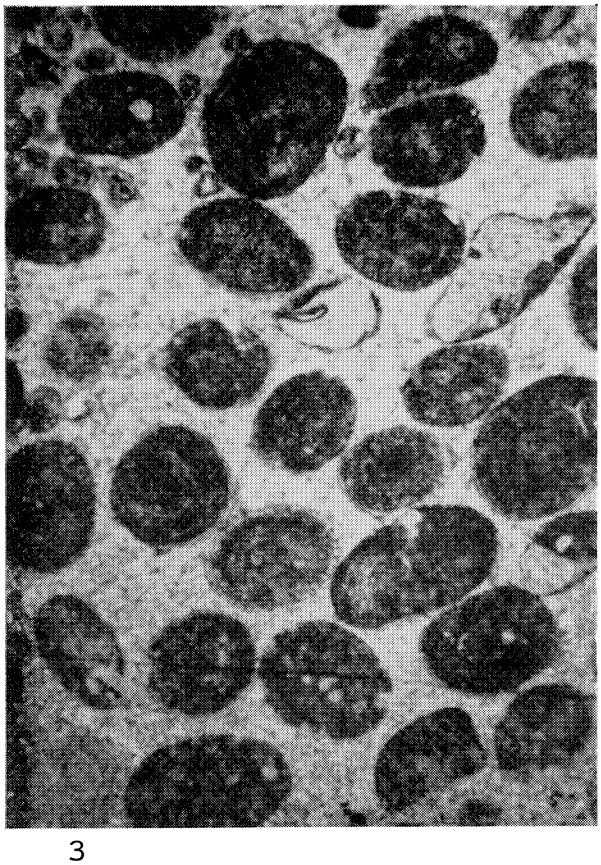
4. — Chémeré-le-Roi : La Foucaudière 18 ; calcaire organoclastique grossier ou biospathrudite ; × 21,5.

PLANCHE 6

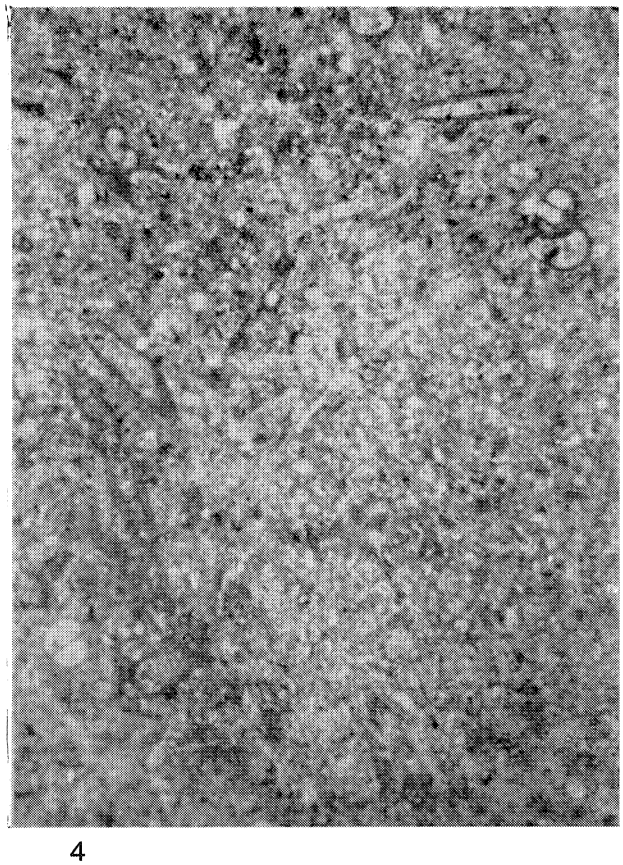


1

2



3



4

PLANCHE 7

Calcaire de Sablé

1. — Chémeré-le-Roi : la Foucaudière 13 ; calcaire organoclastique grossier ou biospathrudite ; × 21,5.

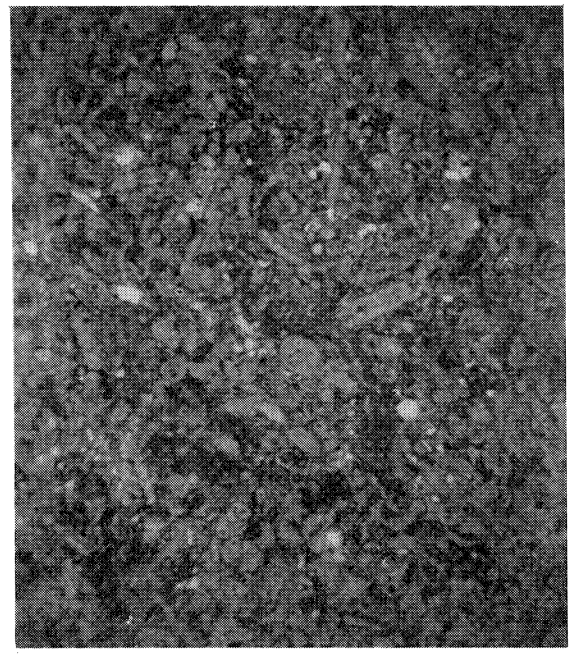
2. — Chémeré-le-Roi : la Foucaudière 25 ; calcaire algaire remanié ; × 21,5.

3. — Chémeré-le-Roi : la Foucaudière 30 ; calcaire algaire remanié ; × 21,5.

4. — Chémeré-le-Roi : la Foucaudière 83 ; calcaire oolithique, endoclastique et bothrolithique ; × 21,5.

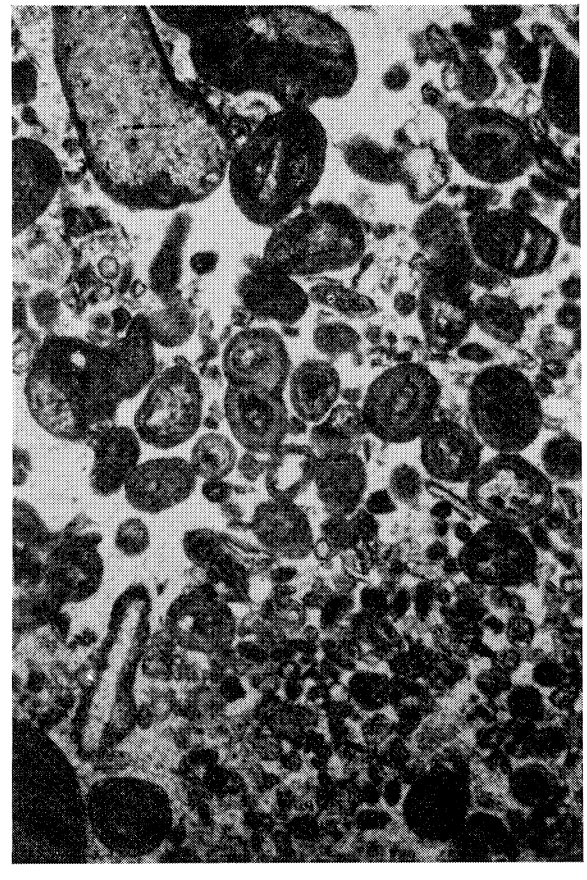
PLANCHE 7

1



2

3



4

PLANCHE 8

Calcaire de Sablé

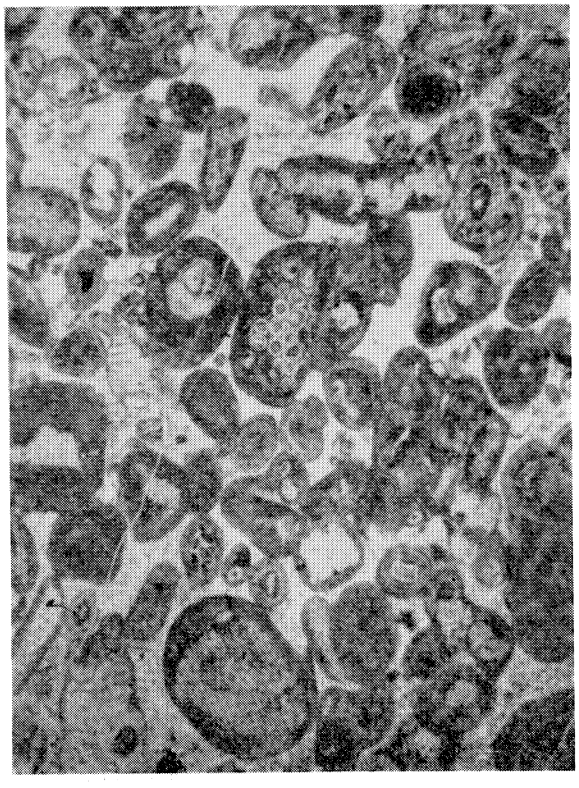
1. — Chémeré-le-Roi : la Foucaudière 92 ; calcaire oolithique, endoclastique et bothrolithique ; × 21,5.

2. — idem, la Foucaudière 93 ; × 21,5.

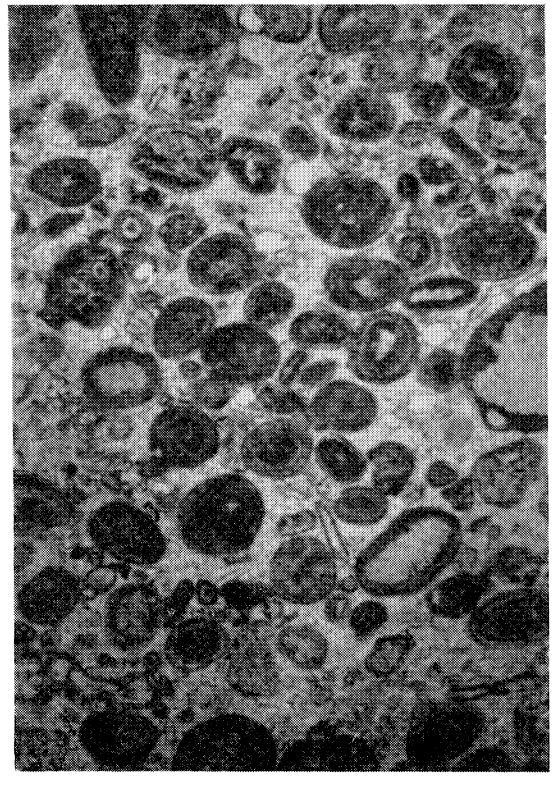
3. — Epineux-le-Seguin : l'Epinoyau 34 ; calcaire organoclastique grossier ou biospathrudite ; × 21,5.

4. — Epineux-le-Seguin : l'Epinoyau 35 ; calcaire bothrolithique ; × 21,5.

PLANCHE 8



1



2

3

4

PLANCHE 9

Calcaire de Sablé

1. — Epineux-le-Seguin : l'Epinoyau 29 ; calcaire organoclastique grossier ou biospathrudite ; × 21,5.

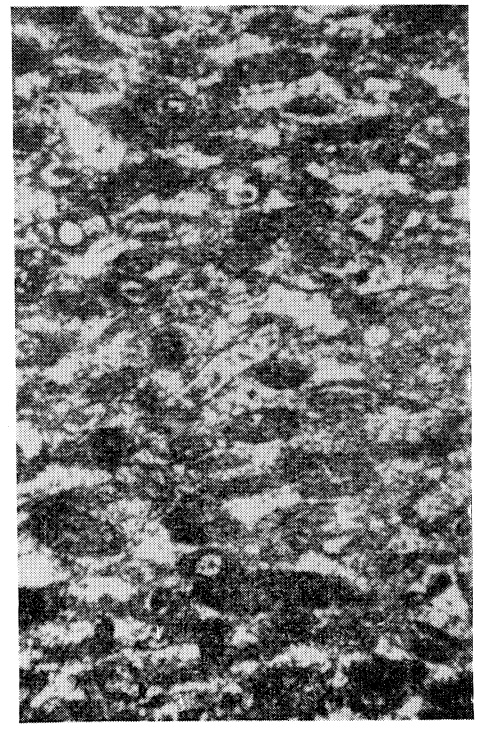
2. — Cossé 27 ; calcaire à endoclastes auréolés de calcite cryptogrenue ; × 21,5.

3. — idem, Cossé 33 ; × 21,5.

4. — Saint-Pierre-sur-Erve : les Fourneaux 46 ; calcaire organoclastique ou biospatharénite ; × 21,5.

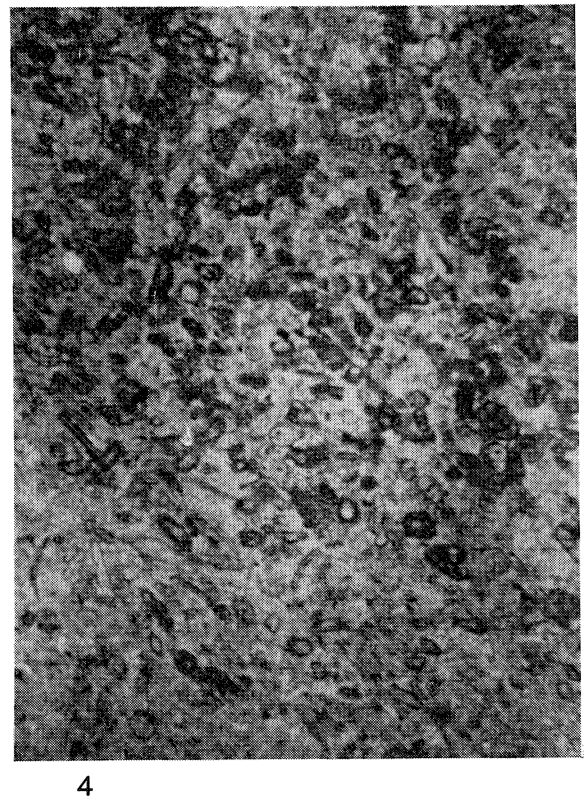
PLANCHE 9

1



2

3



4

PLANCHE 10

Calcaire de Sablé

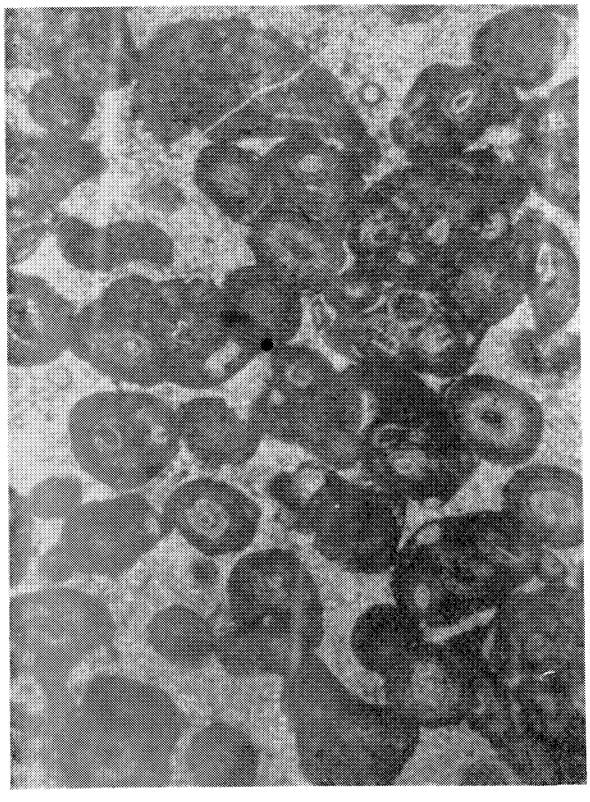
1. — Saint-Pierre-sur-Erve : les Fourneaux 64 ; calcaire bothrolithique et oolithique d'origine algaire ; × 21,5.

2. — idem : les Fourneaux 67 ; × 21,5.

3. — Vaiges : Bonne-Fontaine 92 ; calcaire oolithique, bothrolithique et endoclastique ; × 21,5.

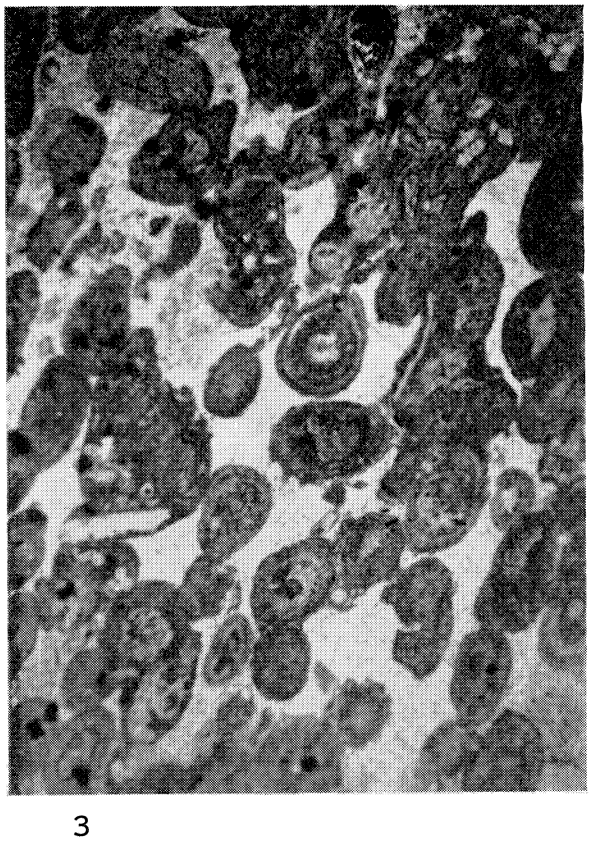
4. — idem : Bonne-Fontaine 94 ; × 21,5.

PLANCHE 10

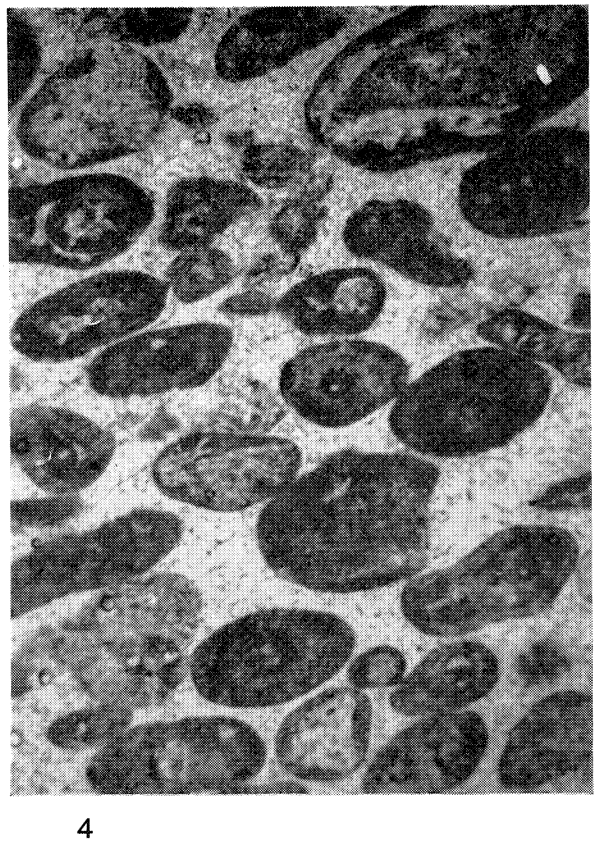


1

2



3



4

PLANCHE 11

Calcaire de Sablé

1. — Vaiges : Bonne-Fontaine 106 ; calcaire à dominance de bioclastes auréolés de calcite cryptogrenue ; × 21,5.

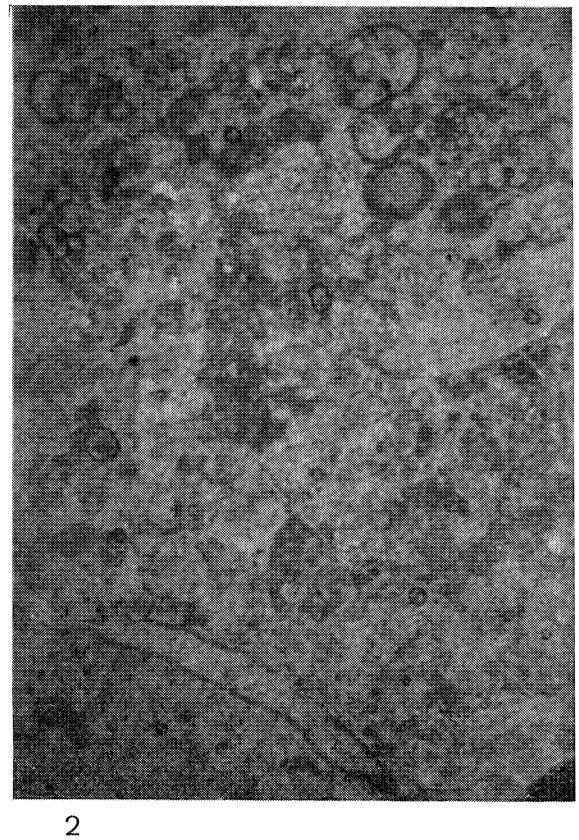
2. — Louverné : les Aumeunes 57 ; calcaire organoclastique grossier ou biospathrudite ; × 21,5.

3. — Louverné : les Aumeunes 98 ; calcaire grumeleux d'origine algaire ; × 21,5.

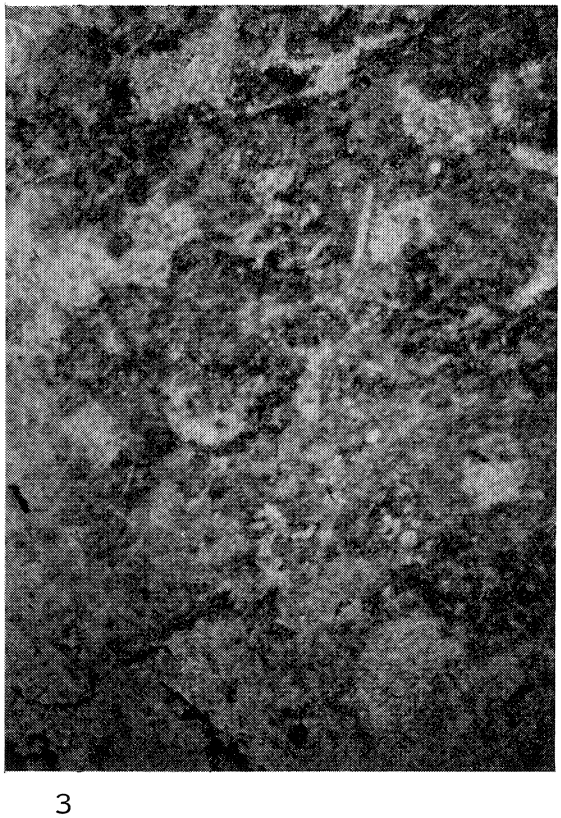
4. — Changé : Saint-Roch ; spongolithes ; × 50.

PLANCHE 11

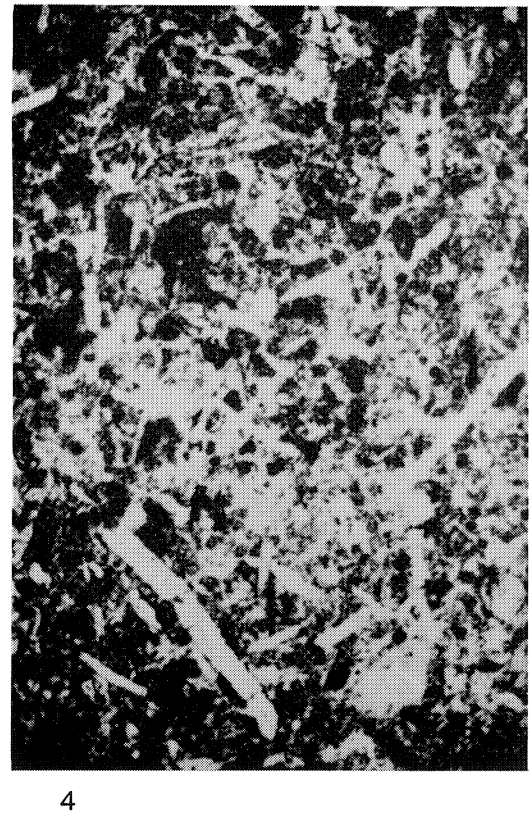
1



2



3



4

PLANCHE 14

Calcaire de Laval : Waulsortien

1. — Bouère : Boisjourdan ; front de taille sud ; efflorescences de type *Ptylostroma* ; échelle 1/5.

2. — idem ; échelle 1/8.

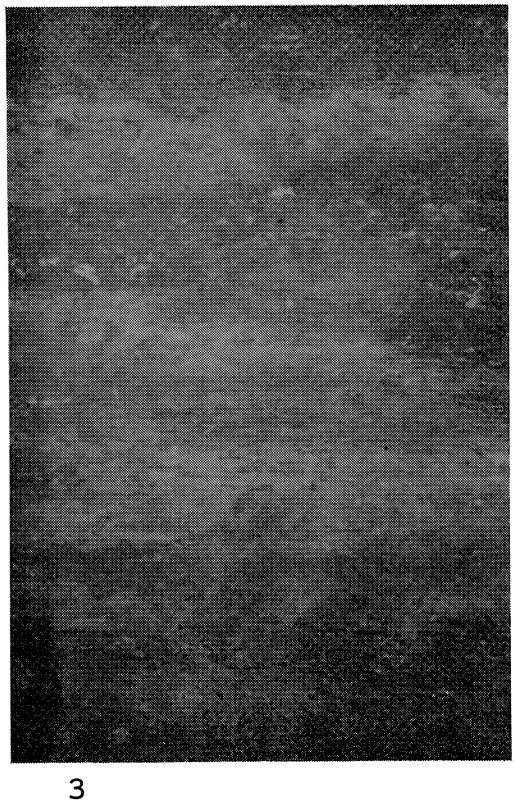
3. — Bouère : Boisjourdan ; plancher de la carrière, côté nord. Les zones à veines bleues (A. B. C. D. E.) alternent avec la micrite à débris crinoïdiques ; échelle 1/10.

4. — Bouère : Boisjourdan ; front de taille nord ; calcaires crinoïdiques surmontant le Waulsortien ; échelle 1/7.

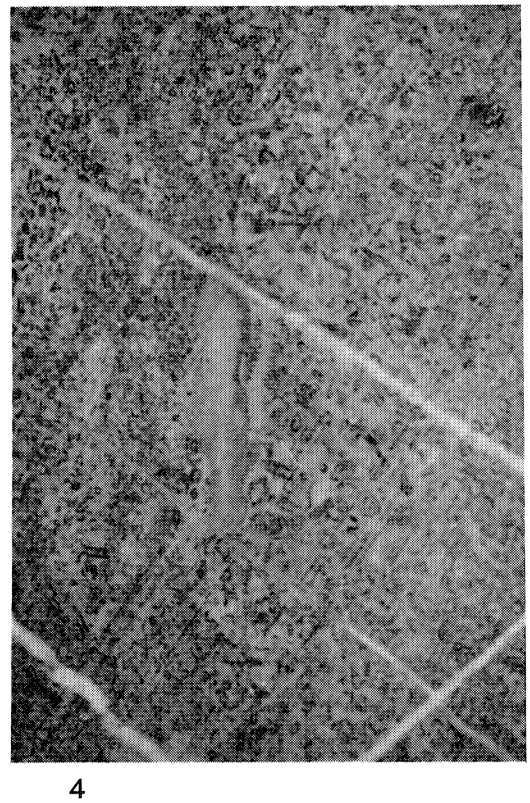
PLANCHE 14

1

2



3



4

PLANCHE 15

CALCAIRE DE LAVAL : Waulsortien

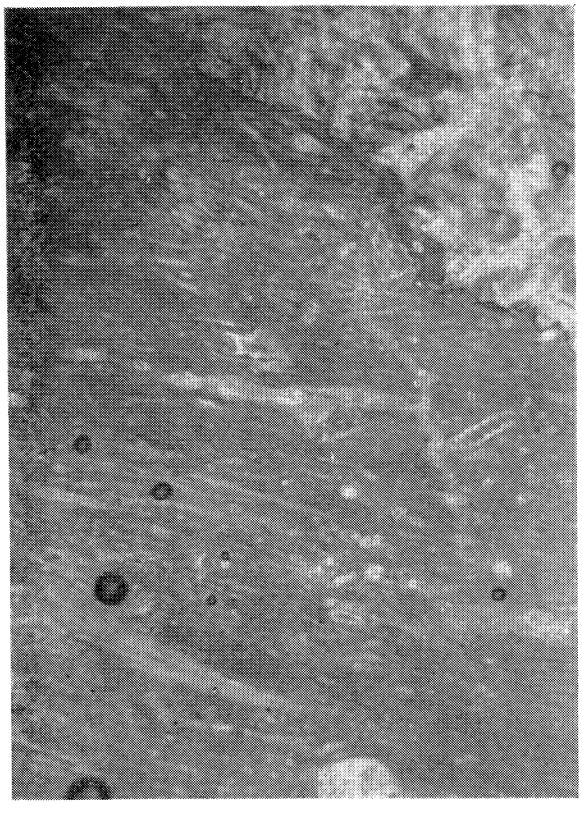
1. — Bouère : Boisjourdan ; micrite en laminae avec thèques de Bryozoaires et fragment de *Dvinella* CHVOROVA ; × 21,5.

2. — idem loc. ; micrite avec nombreuses thèques de Bryozoaires perpendiculaires aux efflorescences spathiques ; × 21,5.

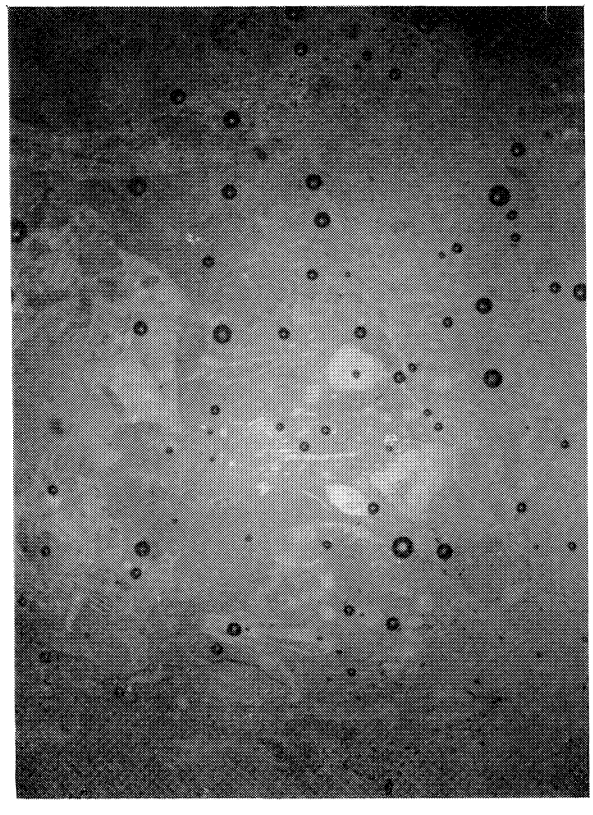
3. — idem loc. ; micrite en laminae avec fragments de Crinoïdes et éléments tubulaires spathiques attribués à des filaments de *Codiaceae* ; × 21,5.

4. — idem loc. ; micrite avec nombreux éléments tubulaires spathiques attribués à des filaments de *Codiaceae* ; × 21,5.

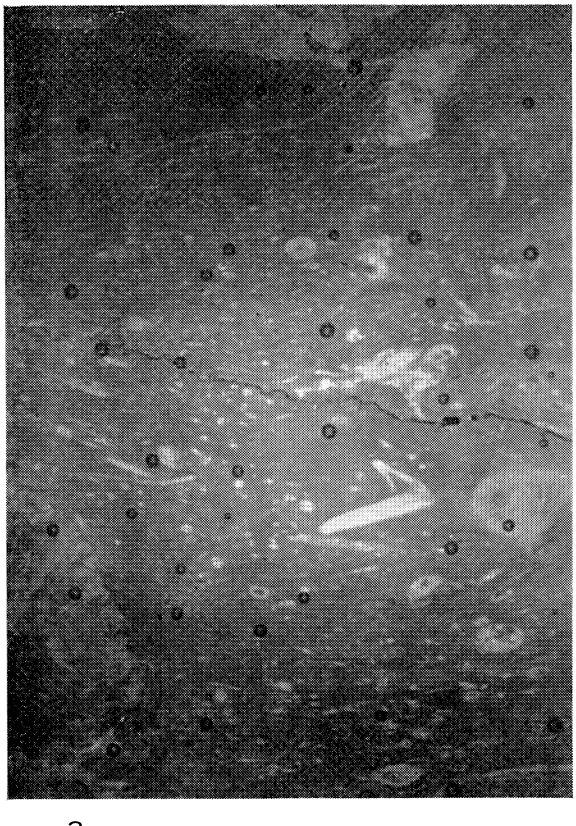
PLANCHE 15



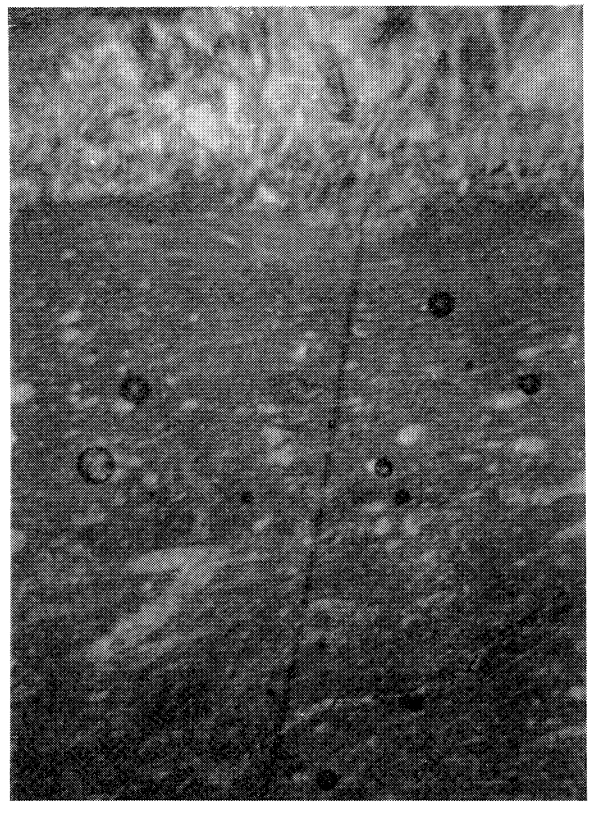
1



2



3



4

PLANCHE 16

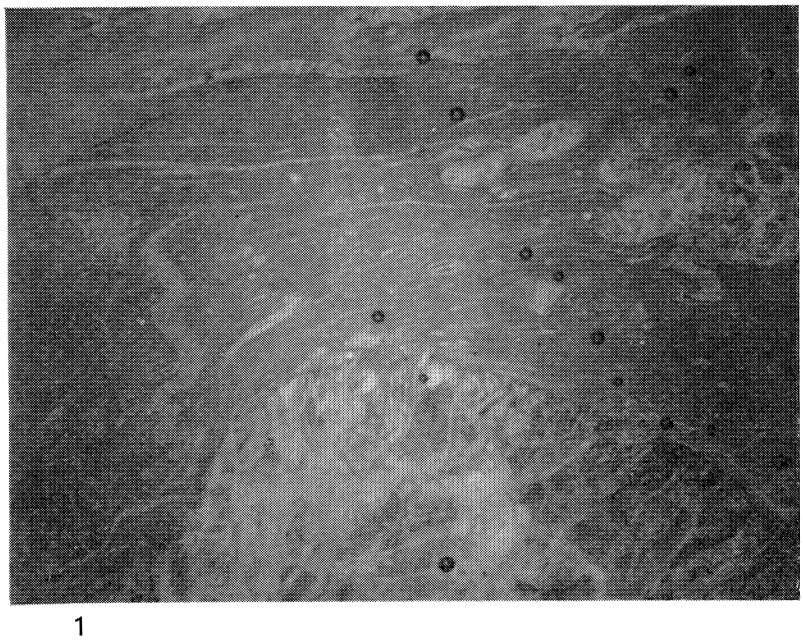
Calcaire de Laval

1. — Bouère : Boisjourdan ; Waulsortien, disposition relative des laminae de micrite et des efflorescences de calcite spathique ; × 21,5.

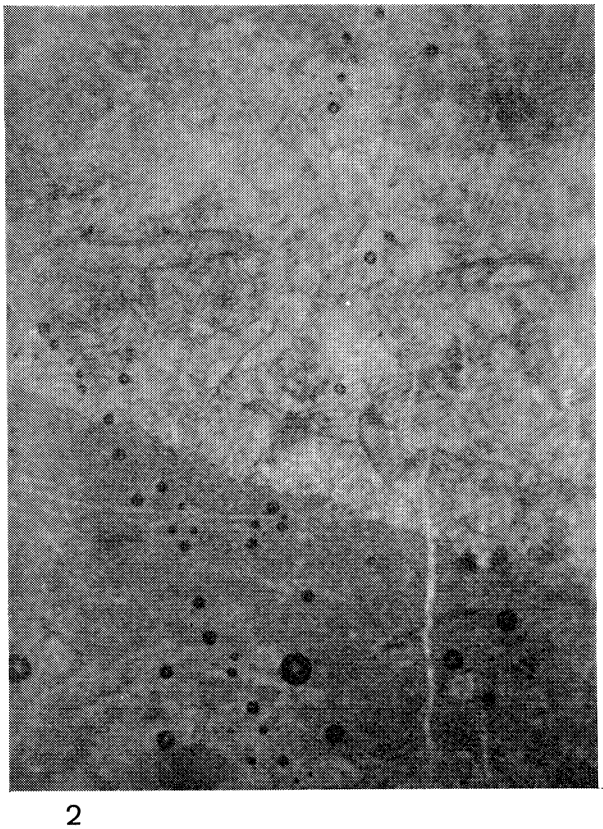
2. — Saint-Pierre-la-Cour : l'Euche ; Waulsortien, veine spathique avec thèques de Bryozoaires conservées en son centre ; × 21,5.

3. — Changé : Rochefort 5 ; calcaire à Foraminifères (base du « Calcaire de Laval ») ; × 21,5.

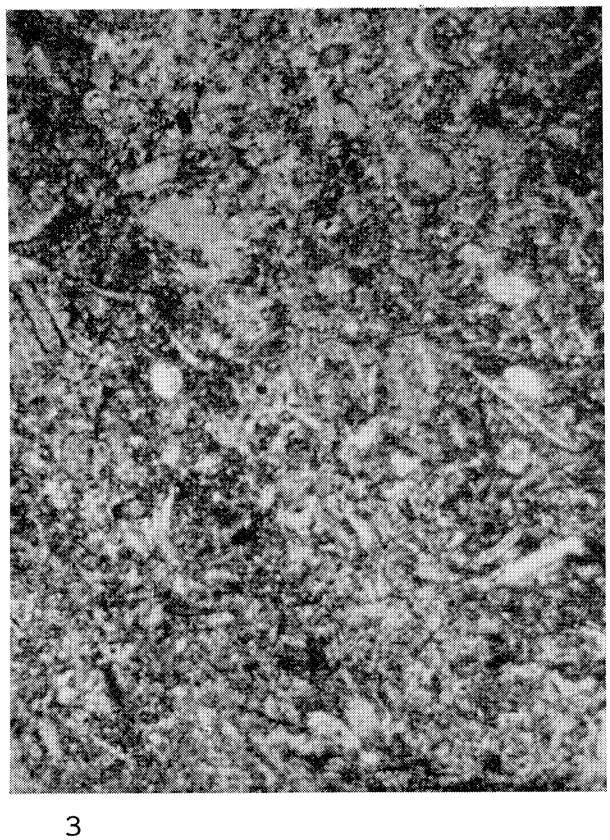
PLANCHE 16



1



2



3

PLANCHE 17

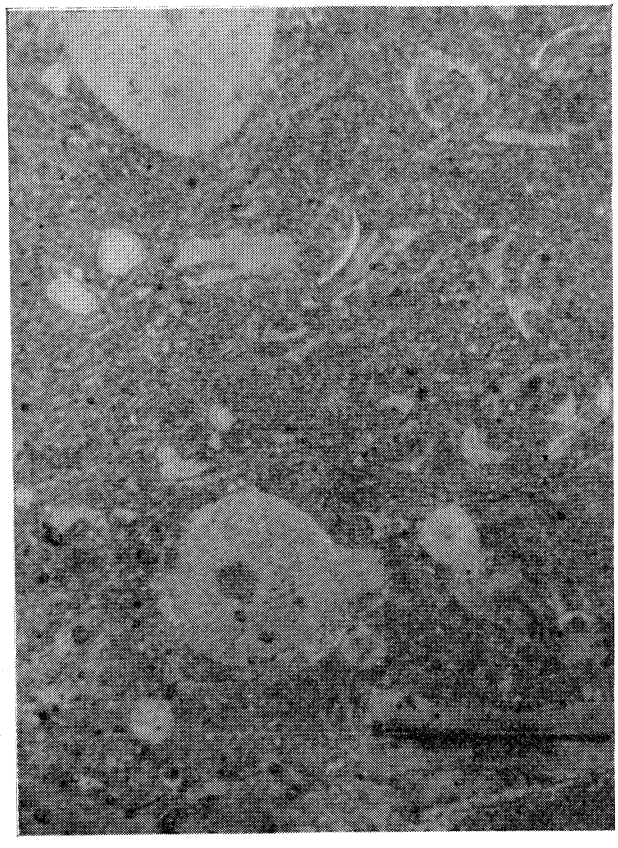
1. — Changé : Saut-Gauthier ; calcaire amygdaloïde rose ou micrite à Crinoïdes ; × 21,5.

2. — Changé : Grauwacke à Paléchinides ; niveau à Crinoïdes ; × 21,5.

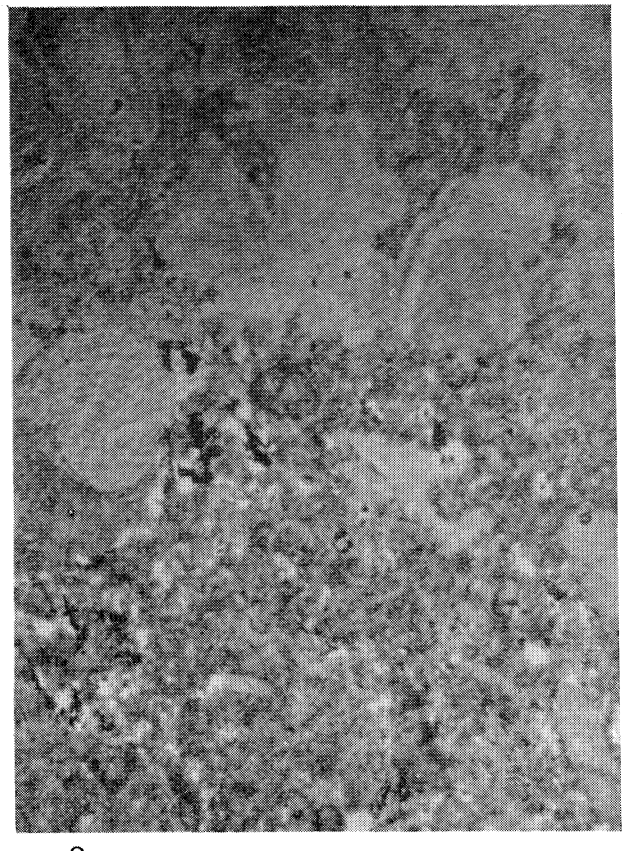
3. — Bouère : Baudoin ; calcaire micritique à éléments crinoïdiques, avec radiole d'Echinide ; × 21,5.

4. — Changé : Grauwacke à Paléchinides ; niveau à éléments calcaires avec *Plectogyra* ; × 50.

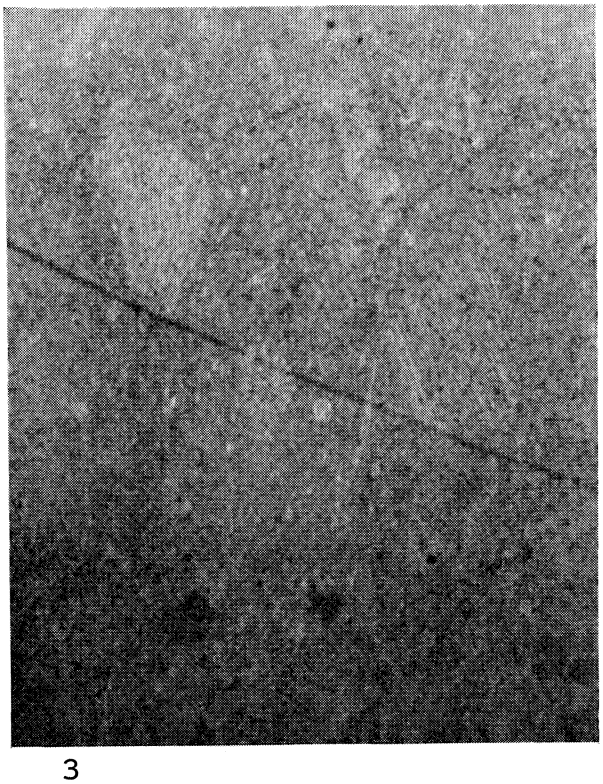
PLANCHE 17



1



2



3

4

BIBLIOGRAPHIE

ALEXANDROVWICZ S. W. and SIEDLECKA A. (1964) - Lithological profile of dinantian limestones at Czerna near Krzeoszowice.
Ann. Soc. Géol. Pologne, XXXIV, (3) Krakow, p. 395-422.

ANDREWS H. A. (1961) - Studies in Paleobotany.
John Wiley and sons, Inc. Publishers New York and London, 487 pages.

AUBOUIN J. (1959 a) - Contribution à l'étude géologique de la Grèce septentrionale, les confins de l'Epire et de la Thessalie.
Ann. Geol. Hell., 10, p. 1-483.

AUBOUIN J. (1959 b) - Essai sur l'évolution paléogéographique et le développement tecto-orogénique d'un système géosynclinal : le secteur grec des Dinarides (Héllènides).
Bull. Soc. Géol. Fr, (6), VIII, p. 731-748.

AUBOUIN J. (1962) - Propos sur les géosynclinaux.
Bull. Soc. Géol. Fr., (7), III, p. 629-702.

AUBOUIN J. (1965) - Géosynclines. Elsevier 1965, 335 pages.

BABIN C. (1966) - Bivalves et Céphalopodes du Paléozoïque armoricain.
Thèse Imp. Com. Adm. Brest 1966, 468 pages.

BABIN C. et PLUSQUELLEC Y. (1965) - Sur la profondeur des mers dévoniennes dans l'Ouest du Finistère.
Bull. Soc. Géol. Min. Bretagne, 1962-1963, nouvelle série (mars 1965), p. 1-8.

BABIN C. (1966) - Mollusques bivalves en tant qu'indicateurs géologiques.
Congrès des Sociétés Savantes Rennes 1966.

BARROIS CH. (1897) - Des divisions géographiques de la Bretagne.
Ann. de Géogr., 1897, p. 23-64.

BEALES F. W. (1958) - Ancient sediments of Bahamas type.
Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, 42, (8), p. 1845-1880.

BATHURST R. G. C. (1959) - The cavernous structure of some Mississipian "Stromatactis" reefs in Lancashire, England.
Jour. Geol., 67, p. 506-521.

BERSIER A. (1951) - La sédimentation cyclique de type molassique paralique en fonction de la subsidence continue. Sédimentation et Quaternaire, France 1949.
Bordeaux Led Sam ed. 1951, p. 9-15.

BERSIER A. (1953) - La sédimentation cyclique des faciès détritiques molasse et houiller.
Rev. Inst. Franç. Pétrole, III,(n° spécial), p. 51-57.

BERTHOIS L. (1935) - Recherches sur les minéraux lourds des granites de la partie orientale du massif Armoricain.
Thèse, Rennes, Imprimerie de l'Ouest-Eclair.

BERTHOIS L. (1960) - La répartition des sédiments actuels sur les plates-formes continentales.
C. R. Acad. Sc. Fr., 250, (12), p. 2239-2240.

BIGGS D. (1958) - Pseudodetrital textures in limestones.
Bull. Geol. Soc. Amer., 69, p. 1535.

BIETLOT A. (1941) - Méthodes d'analyses granulométriques. Application à quelques sables éocènes belges.
Mém. Soc. Géol. Belgique, 64, (2), p. 81-170.

BISCHOFF G. (1957) - Die Conodonten-Stratigraphie des rhenoherzynischen Unterkarbons mit Bernecksichtigung der Wocklumeria-Stufe und der Devon-Karbon Grenze.
Abh. hess. L. Amt. Bodenforsch.,(19), 64 pages.

BLAVIER Ed. (1834) - Notice statistique et géologique sur les Mines et le Terrain à Anthracite du Maine.
Ann. Mines, 3ème série, VI, p. 49-72.

BLAVIER Ed. (1837) - Essai de statistique minéralogique et géologique du département de la Mayenne.
1 vol. 8ème Paris, 196 p., 1 pl. et 1 carte.

BOGER H. (1962) - Zur Stratigraphie des Unterkarbons im Velberter Sattel.
Decheniana, 114, (2), p. 133-170.

BOLELLI E. (1948) - Révision de la feuille de La Flèche au 1/80 000ème. Région de Saint-Denis d'Anjou, Souvigné et Bouère
Bull. Serv. Carte Géol. France, XLVI, (1945-1946), (221), p. 49-51.

BORCHERT H. (1960) - Genèse des minerais de fer sédimentaires marins.
Bull. of the Inst. of Mining and Metallurgy, (640), mars 1960, p. 261-279.

BORCHERT H. (1964) - Uber Faziestypen von marinen Eisenerzlagerstatten.
Ber. Geol. Gessel. DDR., 9, (2), p. 161-300.

BOUMA A. H. (1962) - Sedimentology of some flysch deposits.
Elsevier Publishing Company. Amsterdam, 1962, 168 pages.

BOUROZ A. (1960) - La sédimentation des séries houillères dans leur contexte paléogéographique.
4ème Cong. Avanc. Etude Strat. Géol. Carbonifère Heerlen 15-20 sept. 1958, I, p. 65-77.

BOUROZ A. (1962) - Subsidence continue et discontinue dans le Houiller.
C. R. Acad. Sc. Fr., 254, p. 1116-1118.

BOSWELL P. G. (1960) - The term graywacke.
Journ. Sedim. Petrology., 30, p. 154-157.

BOWSHER A. L. (1957) - Gastropods of the Paleozoic.
Geol. Soc., America, Mem. 67, 1957, p. 821-826.

BRAITHWAITE C. J. B. (1966) - The petrology of Middle Devonian limestones in South Devon England.
Journ. Sedim. Petrology, 36, (1), p. 176-192.

CAILLEUX A. et TRICART J. (1959) - Initiation à l'étude des sables et galets.
C. D. U. Paris.

CAILLEUX A. et TRICART J. (1965) - Introduction à la géomorphologie climatique.
SEDES Paris, 1965.

CAROZZI A. (1955) - Sédimentation récifale rythmique, dans le Jurassique supérieur du Grand Salève.
Geol. Rundsch., XLIII, (2), 1955, p. 433-446.

CAROZZI A. (1960) - Treatise of Microscopic Sedimentary Petrography.
John Wiley and Sons Publish, New-York and London, 485 pages.

CAROZZI A. (1962) - Petrography of Mississipian (Borden) Crinoidal limestones at Stobo Indiana.
Journ. Sedim. Petrology, 32, (3), p. 397-414.

CAROZZI A. (1964) - Complex ooids from Triassie lake deposit, Virginia.
Americ. Journ. Sc., 262, Feb. 1964, p. 231-241.

CARPENTIER A. (1919) - Observations paléobotaniques sur quelques gisements carbonifères de l'Ouest de la France.
Ann. Soc. Scientif. Bruxelles, session du 27 nov. 1919, 3ème section, 4 pages.

CARPENTIER A. (1920) - Sur des empreintes de fructifications recueillies dans plusieurs gisements carbonifères de l'Ouest de la France.
Bull. Soc. Nat. de l'Ouest, VI, (3), 1920, p. 109-119.

CARPENTIER A. (1924) - Quelques empreintes végétales du Carbonifère de la Sarthe et de la Mayenne.
Bull. Soc. Géol. Fr., (4), XXIV, p. 125-131.

CARPENTIER A. (1925) - Empreintes végétales du Carbonifère de la Sarthe et de la Mayenne.
C. R. Som. Soc. Géol. France, (6), p. 84-87.

CARPENTIER A. (1934) - Note sur quelques empreintes végétales du Namurien de Viré-en-Champagne (Sarthe) en coll. avec H. MARTEL.
Bull. Soc. Géol. Fr., (5), IV, p. 431-432.

CARPENTIER A., DELEPINE G., MARTEL H. (1935) - Recherches paléontologiques sur quelques gisements carbonifères de la Sarthe.
Bull. Soc. Géol. Fr., (5), V, p. 77-84.

CASTANY G. et LUCAS G. (1955) - Sur l'existence d'oolithes calcaires actuelles au large de l'île de Djerba (Sud Tunisien).
C. R. Som. Soc. Géol. France, (11), p. 229-232.

CAVET P. et PILLET J. (1964) - Etude stratigraphique et paléontologique du synclinal d'Ancenis.
Bull. Soc. Géol. Fr., (7), V, p. 25.

CAVET P., LARDEUX H., PILLET J. (1964) - Notice stratigraphique sur les formations paléozoïques des synclinoria de Saint-Julien de Vouvantes et d'Ancenis (M. Arm.) à l'Est du méridien de Chateaubriant.
Colloque Français de Stratigraphie Rennes, 16-18 septembre 1964.

CAYEUX L. (1897) - Contribution à l'étude micrographique des terrains sédimentaires.
Mém. Soc. Géol. Nord, IV, (2), 1897.

CAYEUX L. (1935) - Les roches carbonatées.
Masson, Paris.

CHARLIER P. (1955) - Sur la présence d'un quartzite houiller remarquable à Dalhem (Nord de Liège) et sa position stratigraphique.
Publ. Assoc. Etud. Paléont. Houil., Bruxelles 1955, (21), p. 175-187.

CHAVE K. E. (1960) - Carbonate Skeletons to Limestones.
Transactions of The New-York Academy of Sciences, Série II, 23, (1), p. 14-23.

CHOUX J. (1956) - Tertiaire et Quaternaire de la Haute-Rance.
Bull. Soc. Géol. Min. Bretagne, Nouv. série (1), p. 1-49.

CLOUD. P. E. (1962) - Environment of calcium carbonate deposition west of Andros Island, Bahamas.
U. S. Geol. Survey. Prof. Paper 350, 138 pages.

COGNE J. (1959) - Exposé dans le cadre de la séance de travail du 25 septembre. Compte-rendu de la réunion extraordinaire de la Soc. Géol. France en Normandie.
C. R. Som. Soc. Géol. France, (9), p. 245-280.

COGNE J. (1960a) - Métamorphismes et granitisations en liaison avec l'évolution orogénique en Bretagne méridionale.
Bull. Soc. Géol. Fr., (7), II, p. 213-226.

COGNE J. (1960b) - Schistes cristallins et granites en Bretagne méridionale. Le domaine de l'anticlinal de Cornouaille.
Mém. Serv. Carte Géol., 382 p., 25 pl.

COGNE J. (1963) - Le Briovérien.
Bull. Soc. Géol. Fr., (7), IV, p. 413-430.

COGNE J. (1965) in MICHOT J. et LAVREAU J. - Compte-rendu de la Session Extraordinaire de la Soc. Belge, Géol. Paléont. Hydrologie et de la Soc. Géol. Belg. tenue en Bretagne du 9 au 12 septembre 1964. LXXIII (1964), (3), p. 221-254.

CONIL R. (1966) - Micropaléontologie du Viséen des environs de la Dendre.
Bull. Soc. Belge Géol., LXXIV, (2-3), année 1965, p. 244-246.

CONIL R. et DUPONT H. (1965)- Remarques sur l'extension verticale des faciès waulsortiens.
Ann. Soc. Géol. Belgique, 88, 1964-1965, (1-4), p. B 45-B 59.

CONIL R., LYS M., MAUVIER A. (1964) - Critères micropaléontologiques essentiels des formations types du Carbonifère (Dinantien du bassin franco-belge).
5ème Cong. Internat. Stratig. Géol. Carbonifère Paris, 9-12 septembre 1963, I, Paris 1964, p. 325-332.

CONIL R. et LYS M. (1964) - Matériaux pour l'étude micropaléontologique du Dinantien de la Belgique et de la France (Avesnois).
Mém. Inst. Géol. Univ. Louvain, XXIII, 1964.

CONIL R. et LYS M. (1965) - Précisions complémentaires sur la micropaléontologie du Dinantien.
Ann. Soc. Géol. Belgique, 88, 1965-1966, (1-4), p. B 23-B 43.

CONIL R. et LYS M. (1966) - Foraminifères et Algues du Tournaisien supérieur et du Viséen de la Belgique.
Ann. Soc. Géol. Belgique, 89, 1965-1966, (5-10), p. B 207-B 221.

CONIL R. et PAPROTH E. (1967) - Mit Foraminiferen gegliederte Profile aus dem nordwest-deutschen Kohlenkalk und Kulm. Decheniana (sous presse).

CONTESCU L. R. (1964) - Essai de classification des flyschs et des molasses.
Ann. Soc. Géol. Pologne, XXXIV, 1964, (3), Krakov., p. 426-445.

CORSIN P. (1961) - Classification des Ptéridophytes et des Ptéridospermophytes du Carbonifère.
Bull. Soc. Géol. Fr., (7), II, p. 566-572.

CRAIG G. Y. (1961) - Palaeozoological evidence of climate (2) Invertebrates. Descriptive Palaeoclimatology, p. 207-226, Edit. by A. E. M. NAIRN. Interscience Publishers. New-York London.

CRONOBLE W.R. and MANKIN CH. J. (1963) - Genetic significance of variations in the limestones of the Coffeyville and Hoggshooter formations (Missourian) Northe eastern Oklahoma.
Journ. Sedim. Petrology, 33, (1), p. 73-86.

DAPPLES E.C., KRUMBEIN W. C. and SLOSS L. L. (1953) - Petrographic and lithologic attributes of sandstones.
July 1953, 61, (4), Journ. Geol., p. 291-317.

DAPPLES E. C. (1962) - Stages of Diagenesis in sandstones development.
Bull. Geol. Soc. Amer., 73, p. 913-934.

DEGENS E. T. (1965) - Geochemistry of sediments.
A Brief Survey. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs New Jersey, 342 pages.

DELATTRE CH. (1952) - Recherches sur le Dévonien et le Carbonifère de la région de Morlaix.
Mém. Expl. Carte Géol. det. France, 1952, 125 pages.

DELEPINE G. (1913) - Note préliminaire sur la faune du calcaire carbonifère du bassin de Laval.
Ann. Soc. Géol. Nord, XLII, p. 26.

DELEPINE G. et MILON Y. (1922) - Sur la présence de récifs waulsortiens dans le calcaire carbonifère du bassin de Laval.
C. R. Acad. Sc. Fr., 175, p. 1079.

DELEPINE G. (1927) - Les faunes du Dinantien de l'Europe occidentale.
1er Cong. Avanc. Etude Strat. Géol. Carbonifère Heerlen 1927, p. 223-233.

DELEPINE G. (1930) - Contribution à l'étude de la faune du Calcaire de Sablé.
Mém. Soc. Lin. Normandie, nouv. sér., I, (1), mém. 2, p. 27-39.

DELEPINE G. (1953) - Le Carbonifère marin de l'Europe centrale et occidentale et ses corrélations avec celui de l'Afrique du Nord.
Int. Géol. Cong. Alger 1952, sect. 2, p. 73-86.

DELEPINE G. (1955) - La valeur stratigraphique des fossiles marins du Carbonifère.
Publ. Assoc. Etude Paléont. Houil. Bruxelles, VIII, (21), p. 3-11.

DELEPINE G. (1956) - Lexique Stratigraphique International, I, Europe. Paléozoique supérieur Fasc. 4 a II, XX Geologorum Conventus Mexico 1956, p. 93 et p. 109.

DELMER A. (1952) - La sédimentation cyclique et notamment la sédimentation houillère considérée comme un phénomène d'oscillations de relaxation autoentretenues.
3ème Cong. Avanc. Etude Strat. Géol. Carbonifère Heerlen 1951, p. 135-139.

DEMANET F. (1958) - Contribution à l'étude du Dinantien de la Belgique.
Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, (141), 1958, 152 pages.

DORLODOT H. (de) (1909) - Description succincte des assises du calcaire carbonifère de la Belgique et de leurs principaux faciès lithologiques.
Bull. Soc. belge de Géol., 1909, XXIII, (Mém.), p. 153-174.

DORLODOT H. (de) (1911) - Véritable nature des prétendus Stromatoporoïdes du Waulsortien.
Bull. Soc. belge Géol., Pal., Hydr., XXV, p. 119-133.

DOUBINGER J. et PONCET J. (1964) - Découverte de microorganismes dans la série rouge de Montmartin (Manche). Attribution de cette série au Dévonien moyen ou supérieur.
C. R. Acad. Sc. Fr., 258, p. 1004-1006.

DREYFUSS M. (1955) - Influence de la subsidence sur la sédimentation.
Geol. Rundsch., XLIII, (2).

DUNCAN H. (1957) - Bryozoans.
Geol. Soc. Amer., mém. 67, p. 783-800.

DUPONT E. (1865) - Essai d'une carte géologique des environs de Dinant.
Bull. Acad. Roy. de Belgique, (2), XX, 1865, p. 616-655.

DZULINSKI St. and SMITH A. (1964) - Flysch facies.
Ann. Soc. Géol. Pologne, XXXIV, (1-2), p. 245-266.

EARDLEY A.J. and WHITE M. G. (1947) - Flysch and Molasse.
Bull. Soc. Geol. Amer., 58, p. 979-990.

EHRART H. (1956) - La genèse des sols en tant que phénomène géologique.
Masson et Cie, Paris, 90 pages.

EHRART H. (1961) - Sur la genèse de certains gites sédimentaires.
C. R. Acad. Sc. Fr., 252, p. 3307.

EHRART H. (1964) - Conséquences logiques de la biorhexistasie sur le chimisme des mers anciennes et sur les sédiments qu'elles ont engendrés.
C. R. Acad. Sc. Fr., 259, p. 2669-2671.

ELIAS M.K. (1957) - Fenestella from the Permian of West Texas.
Géol. Soc. Amer., mém. 70, p. 50-54.

ESTEOULE-CHOUX J. (1963) - La sédimentation argileuse dans le bassin tertiaire du Quiou (Côtes du Nord).
Bull. Soc. Géol. Min. Bretagne, 1961, (1-2), p. 179-195.

ESTEOULE-CHOUX J. (1967) - Contribution à l'étude des Argiles du Massif Armoricain.
Thèse, Rennes 1967, 319 pages.

ESTEOULE J. et ESTEOULE-CHOUX J. (1963) - L'altération des roches du fond de la baie de la Fresnaye (Côtes du Nord).
C. R. Acad. Sc. Fr., 257, p. 3192-3194.

ESTEOULE J. et PELHATE A. (1965) - Nature et signification sédimentologiques des minéraux argileux du Culm aux environs de Laval.
Bull. Soc. Géol. Min. Bretagne, 1962-1963, nouv. sér., p. 37-41.

EVAMY B. D. (1963) - The application of a chemical staining technique to a study of dedolomitisation.
Sedimentology, 2, (2), p. 164-170.

FABRE J. (1961) - Subsidence continue et dépôts houillers.
C. R. Acad. Sc. Fr., 253, p. 2090-2091.

FAIRBRIDGE R. W. (1964) - The importance of limestones and its Ca/Mg content to Paleoclimatology. Problems in Palaeoclimatology.
Interscience Publishers, A. E. M. NAIRN, p. 431-478.

FAYOL H. (1888) - Théorie des deltas et histoire de la formation du bassin de Comentry.
Bull. Soc. Géol. Fr.,(3), XVI, p. 968-979.

FEYS R. et GREBER Ch. (1959) - Le Charbon. Genèse. Composition. In La Terre, Encyclopédie de la Pléiade, p. 855-865.

FOLK R. L. (1959) - Practical petrographic classification of limestones. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, 43, (1), p. 1-39.

FOLK R. L. (1962) - Spectral subdivision of limestone types. Classification of Carbonate Rocks. (Ham W.E. edit.). Amer. Assoc. Petroleum Geologists, mém. 1, Tulsa p. 62-84.

FOURMARIER P., PELHATE A., AUVRAY B. (1965) - Schistosité et granitisation dans le synclinorium de Laval et ses abords. Mém. Acad. Royale de Belgique, XXXV, (3), Bruxelles, 1965, p. 1-60.

FOURMOND E. (1964) - Contribution à l'étude de l'Ordovicien moyen et supérieur et du Gothlandien du Cap de la Chèvre (Finistère). D.E.S., Paris 1964.

FRIEDMAN G. M. (1964) - Early diagenesis and lithification of carbonate sediments. Journ. Sedim. Petrology, 34, p. 777-813.

GAGNY C. (1962) - Caractères sédimentologiques et pétrographiques des schistes et grauwackes du Culm dans les Vosges méridionales. Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., 15, (4), p. 139-160.

GAGNY C. (1964) - Interprétation des laminites dans une série à turbidites du Culm des Vosges méridionales. Bull. Soc. Géol. Fr., (7), VI, p. 43-54.

GAYET J. (1965) - Contribution à la connaissance de la microfaune de l'Ordovicien et du Dévonien armoricains. Thèse de 3ème cycle, Bordeaux juin 1965, 147 pages.

GEVIRTZ J.L. and FRIEDMAN G. M. (1966) - Deep sea carbonate sediments of the Red Sea and their implications on marine lithification. Journ. Sedim. Petrology, 36, (1), p. 143-151.

GINSBURG R.N. (1957) - Early diagenesis and lithification of shallow water carbonate sediments in south Florida. Tulsa, Okla. Soc. Econ. Paleont. and Miner., Spec. Public., (5), p. 80-98.

GINSBURG R. N. and LOWENSTAM H. A. (1958) - The influence of marine bottom communities on the depositional environments of sediments. Journ. Geol., 66, p. 310-318.

GIDON P. (1960) - Considérations complémentaires sur l'ordre de succession des phénomènes orogéniques. C. R. Som. Soc. Géol. France Paris, (2), p. 40-41.

GIGNOUX M. (1950) - Géologie stratigraphique.
4ème édition Masson, Paris, 735 pages.

GIOT P. R. (1948) - Région de Grez-en-Bouère, de Longuefuye et de Ruillé-Froid-Fonds.
Bull. Serv. Carte Géol. France, 46, (221), 1945-1946, p. 51-53.

GLASS H. D., POTTER P. E., SIEVER R. (1956) - Clay mineralogy of some basal pennsylvanian sandstones, clays and shales.
Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, 40, p. 750-754.

GLASS H. D. (1958) - Clay mineralogy of pennsylvanian sediments in southern Illinois. Clay and clay Minerals.
5th. Nat. Conf., 1956, p. 227-241.

GOLDSCHMIDT V. M. (1937) - Les principes de la répartition des éléments chimiques dans les minéraux et les roches.
Journ. Chem. Soc., p. 655.

GOLDSCHMIDT V. M. (1945) - Fondements géochimiques de la répartition des oligoéléments.
Soil Science, 60, p. 1-7.

GOSSELET J. (1888) - L'Ardenne.
Paris, Baudry et Cie, 881 pages.

GOTHAN W. und WEYLAND H. (1964) - Lehrbuch der Palaeobotanik.
Akademie Verlag, Berlin, 2ème édition, 594 pages.

GRABAU A. W. (1904) - On the signification of sedimentary rocks.
Amer. Geol., 33, p. 225-247.

GRAINDOR M. J. (1961) - A propos des mouvements varisques dans le Massif Armoricain.
C. R. Som. Soc. Géol. France 1961, (3), p. 54-55.

GRAINDOR M. J. (1963) - Le socle armoricain et les contre-coups alpins.
Livre à la mémoire du Prof. P. Fallot, II, Mém. Soc. Géol. France, 1963, p. 187-200.

GRAINDOR M. J. (1964) - Tectonique de l'Europe. Régions françaises de plissements anciens.
P. 209-213, Maison d'édition "Nauka", Maison d'édition "Nedra" Moscou 1964.

GRIFFITHS J. C., BATES T. F. and SHADLE H. W. (1955) - Guide to field trip of fourth national clay conference : clay minerals in sedimentary rocks. Clay and clay Minerals.
4th. Nat. Conf., 1955, p. 1-20.

HARE P. E. (1963) - Amino acids in the Proteins from Aragonite and Calcite in the Shells of Mytilus californianus. Science 139. (1963), p. 216-217.

HEDGPETH J. W. (1957) - Classification of environments.
Geol. Soc. Amer., mém. 67, (1), p. 17-28.

HESSE E. (1900) - Die Microstructur des fossilen Echinoid Stacheln und deren systematische Bedeutung.
N. Jahrb. für Miner. Zeilage, XIII, 185 p., pl. XII et XIII.

HUBERT J. F. (1962) - Un indice de maturité "zircon-tourmaline-rutile" et l'interdépendance entre la composition des associations de minéraux lourds et la composition brute des grès et leur structure.
Journ. Sedim. Petrology, 32, (3), p. 440-450.

HUCKENHOLZ H. G. (1963) - Mineral composition and texture in graywackes from the Harz Mountains (Germany) and in arkoses from the Auvergne (France).
Journ. Sedim. Petrology, 33, (4), p. 914-918.

HUMMEL K. (1922) - Die Entstehung eisenreicher Gesteine durch Halmyrolyse.
Geol. Rundsch., 13, p. 40-136.

ILLING L. (1954) - Bahaman calcareous sands.
Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, 38, (1), p. 1-15.

JOHNSON J. H. (1961) - Limestone building Algae and algal limestones.
Colorado School of Mines 1961, 297 pages.

JOHNSON J. H. (1963) - Pennsylvanian and Permian Algae.
Quaterly of the Colorado School of Mines, 58, (3), 211 pages.

JOHNSON J. H. and KONISHI K. (1956) - Studies of Mississipian Algae.
Quaterly of the Colorado School of Mines, 51, (4), p. 131.

KORNICKER L. S. and PURDY E. G. (1957) - A Bahamian faecal-pellet sediment.
Journ. Sedim. Petrology, 27, (2), p. 126-128.

KRAUSEL R. (1964) - Introduction to the Palaeoclimatic Significances of Coal. Problems in Palaeoclimatology
edit. par A. E. M. NAIRN, John Wiley and Sons, London-New-York-Sydney, p. 53-56.

KRUMBEIN W. C. and SLOSS L. L. (1963) - Stratigraphy and Sedimentation.
Mac Graw Hill, San Francisco. 2ème édition, 660 pages.

KRYNINE P. D. (1946) - The Tourmaline group in sediments.
Journ. Geol., 54, p. 65-87.

KUENEN Ph. H. and SANDERS J. E. (1956) - Sedimentation phenomena in Kulm and Flozleeres Graywackes, Sauerland and Oberharz, Germany.
Amer. Journ. Sc. 254, p. 649-671.

LAFFITTE R. (1949) - Sédimentation et orogénèse.
Ann. Hébert et Haug., VII, Paris, p. 239-289.

LAPPARENT J. (de) (1909) - Etude comparative de quelques porphyroides françaises.
Paris, Gauthier-Villars, 131 pages.

LAPPARENT J. (de) (1923) - Leçons de Pétrographie.
Masson Paris.

LAUBENFELS M. W. (de) (1957) - Marine Sponges.
Geol. Soc. Amer., mém. 67, (1), p. 1083-1086.

LA VALLEE-POUSSIN Ch. (de) (1888) - Compte-rendu de la Session Extraordinaire de la Soc. Géol. de Belgique tenue à Dinant les 1er, 2, 3 et 4 septembre 1888.
Ann. Soc. Géol. de Belgique, XVI, Bull. p. 103.

LECOMPTE M. (1961) - Faciès marins et Stratigraphie dans le Dévonien de l'Ardenne.
Ann. Soc. Géol. Belgique, 85, (1), p. 238-271.

LECOMPTE M. (1963) - Conférence, Congrès International Sédimentologie Amsterdam-Anvers, juin 1963.

LECOMPTE M. (1965) - Quelques concepts généraux sur les récifs résultant de l'étude du Dévonien de Belgique.
Ente NAz. Idroc. Scuola Enrico Mattei di Studi Sup. Idrocarb. San Donato Milanèse Febbriao 1965.

LE DANOIS Ed. (1948) - Les profondeurs de la mer.
Payot, Paris 1948, 303 pages.

LEES A. (1961) - The Waulsortian "reefs" of Eire=a carbonate mudbank complex of Lower Carboniferous age.
Journ. Geol. 69, p. 101-109.

LEES A. (1964) - The structure and origin of the Waulsortian (Lower Carboniferous "Reefs" of West-Central Eire.
Philos. Transv. Roy. Soc. London, Série B, 247, (740), p. 483-531.

LEIGHTON M. W. and PENDEXTER C. (1962) - Carbonate rock types. Classification of carbonates rocks.
(Ham W. E., édit.), Amer. Assoc. Petrol. Geologists, Mém. 1, Tulsa, p. 33-61.

LEGENDE DE LA FEUILLE DE LA FLECHE (2ème édition), 1965.

LEMOINE P. (1940) - Les Algues calcaires de la zone néritique : Soc. de Biogéographie (Contribution à l'étude de la répartition actuelle et passée des organismes dans la zone néritique : Paris, VII, p. 75-138.

LENEUF N. (1962) - Les marais de l'Agnébi, gisement de houille en formation.
C. R. Som. Soc. Géol. France, (10), p. 307-308.

LOMBARD A. (1949) - Critères descriptifs et critères génétiques dans l'étude des roches sédimentaires.
Bull. Soc. Géol. Belgique, LVIII, (2), p. 214-271.

LOMBARD A. (1953) - Les rythmes sédimentaires et la sédimentation générale.
Rev. Inst. Franç. Pétrole, VIII, n° spécial, p. 9-45.

LOMBARD A. (1956) - Géologie sédimentaire. Les séries marines.
Masson et Cie, 722 pages.

LOWENSTAM H. A. (1955) - Aragonite needles secreted by algae and some sedimentary implications.
Journ. Sedim. Petrology, 25, p. 270-272.

LOWENSTAM H. A. (1963) - Biological Problems relating to the Composition and Diagenesis of Sediments.
In'the Earth Sciences" édité par T. W. DONNELY, Chicago et Londres : The University of Chicago Press, 1963, p. 137-195.

LUCAS G. (1940) - Contribution à l'étude du Silurien de la presqu'île de Crozon (Finistère).
Bull. Soc. Géol. Min. Bretagne, 1938, (nouv. sér. 1939), p. 95-126.

LUCAS G. (1955 a) - Caractères pétrographiques de calcaires noduleux à faciès ammonitico rosso de la région méditerranéenne.
C. R. Acad. Sc. Fr., 240, (19), p. 1909-1911.

LUCAS G. (1955 b) - Caractères géochimiques et mécaniques du milieu générateur des calcaires noduleux à faciès "ammonitico rosso".
C. R. Acad. Sc. Fr., 240,(20), p. 2000-2002.

LUCAS G. (1955 c) - Oolithes marines actuelles et calcaires oolithiques récents sur le rivage africain de la Méditerranée orientale (Egypte et Sud Tunisien).
Bull. Station Océanograph. de Salambo (Tunisie), (52), sept. 1955, p. 19-34.

LYS M. (1964) - Conférence. 5ème Cong. Avanc. Etude Strat. Géol. Carbonifère, Paris septembre 1963, p. 189-202.

MAC BRIDE E. F. (1963) - A classification of common sandstones.
Journ. Sedim. Petrology, 33, (3), p. 664-669.

MACNEIL F. S. (1954) - Organic reefs and bancs and associated detrital sediments.
Amer. Journ. of Sciences, 252, p. 385-401.

MAMET B. (1958) - Données nouvelles sur la stratigraphie, la paléontologie et la sédimentologie du Viséen moyen et supérieur de la région de Basècles-Blaton.
Bull. Soc. Belg. Géol., LXVII, (3), p. 48-64.

MAMET B. (1964) - Sédimentologie des faciès "Marbres noirs du Paléozoïque franco-belge".
151, Inst. Royal Sc. Nat. Belge, 1964, 129 pages.

MAMET B. (1964) - Etude de faciès carbonatés paléozoïques.
Excursion du 27 juin 1964 dirigée par B. Mamet.
Bull. Soc. Belg. Géol., LXXIII, (2), p. 133-142.

MANGIN J. Ph. (1963) - Turbidites, laminites, varves et séquences unités.
C. R. Som. Soc. Géol. France, (4), p. 112.

MASLOV V. P. (1956) - Les Algues calcaires fossiles de l'U.R.S.S.
Trudy Inst. Geol. Nauk. SSSR., 160, 301 p., 136 fig., 86 pl.,

MEISCHNER K. D. (1962) - Rhenaer Kalk und Posidonienkalk im Kulm des nordöstlichen Rheinischen Schiefergekirges und der Kohlenkalk von Schraufa (Eder.)
Abh. hess. L.-Amt., Bodenforschung 39, 47 p. Wiesbaden 1962.

MICHOT P. (1953) - La sédimentation rythmique dans le Siegenien inférieur de la région de Huy.
Ann. Soc. Géol. Belgique, 76, p. B 221- B 237.

MICHOT P. (1958) - Classification et terminologie des roches lapidifiées de la série psammito-pélitique.
Ann. Soc. Géol. Belgique, 81, p. B 311-B 342.

MILLOT G. (1953) - Héritage et néorformation dans la sédimentation argileuse.
C.R. 19ème Cong. Géol. Intern. C.I.P.E.A., Alger, XVIII, p. 163-175.

MILLOT G. (1964) - Géologie des Argiles.
Masson, Paris, 499 pages.

MILON Y. (1923) - Niveau marin dans le Culm, au Sud de Laval (Mayenne).
C. R. Som. Soc. Géol. France, (5), p. 51.

MILON Y. (1923) - Notes géologiques sur la partie du bassin de Laval parcourue le 17 avril 1921.
Bull. Soc. Géol. Min. Bretagne, III, (2), p. 176-185.

MILON Y. (1924) - Sur la faune et l'âge des calcaires waulsortiens de Saint-Pierre-la-Cour (Mayenne).
C. R. Acad. Sc. Fr., 179, p. 1174.

MILON Y. (1928) - Recherches sur les calcaires paléozoiques et le Briovérien de Bretagne.
Thèse, Rennes, 151 pages.

MILON Y. (1935) - La phase taconique et le volcanisme ordovicien dans la Bretagne occidentale.
C.R. Som. Soc. Géol. Min. Bretagne, 1ère année (3), mai-juin 1935, p. 1-3.

MONAGHAN P. H. and LYTLE M. L. (1956) - The origin of calcareous ooliths.
Journ. Sedim. Petrology, 26, p. 111-118.

MONTY C. (1963) - Base d'une nomenclature des roches calcaires marines.
Ann. Soc. Géol. Belgique, 86, 1962-1963, (2), p. B 87-B 122.

MOORE R. C. (1965) - Invertebrate Paleontology. Brachiopoda.
Geol. Soc. of America and The University of Kansas Press.

MORFAUX S. (1964) - Etude de l'Ordovicien de l'anse de Pen-Hir (presqu'île de Crozon).
D.E.S., Paris, 78 pages.

MUIR-WOOD H. M. (1962) - On the morphology and classification of the Brachiopod, suborder Chonetoidea.
London, British Museum.

NEWELL N. D. (1959) - Organism communities and bottom facies of Great Bahama Bank.
Bull. Amer. Museum Nat. Hist., 117, (4), p. 183-228.

NICHOLS R.A.H. (1965) - Petrology of a lower carboniferous Bryozoan limestone and adjacent limestones in North Wales, Great Britain.
Journ. Sedim. Petrology, 35, (4), p. 887-899, fig. 1-10.

OEHLERT D. (1880) - Note sur le calcaire de Saint-Roch, à Changé.
Bull. Soc. Géol. Fr., VIII, p. 270.

OEHLERT D. (1882) - Notes géologiques sur le département de la Mayenne.
Germain et Grassin, Angers, 1882.

OEHLERT D. (1887) - Sur les oscillations qui se sont produites pendant la période primaire dans le bassin de Laval.
C. R. Acad. Sc. Fr., 102, p. 528-529.

OEHLERT D. (1894) - Bassin de Laval.
Bull. Serv. Carte Géol. France, VI, p. 37-39.

OEHLERT D. (1896) - Sur le gisement de quelques roches éruptives et métamorphiques du bassin de Laval.
C. R. Acad. Sc. Fr., 112, p. 263-264.

OEHLERT D. (1898) - Feuille de La Flèche.
Bull. Serv. Carte Géol. France, X, 1898-1899, (63), p. 49-50.

OEHLERT D. (1900) - Feuille de Laval.
Bull. Serv. Carte Géol. France, XI, p. 112.

OEHLERT D. (1905) - Feuille de Laval de la carte géologique détaillée de la France.
Bull. Soc. Linnéenne de Normandie, (5), IX, Caen 1905.

OEHLERT D. (1909) - Livret-guide de la réunion extraordinaire de la Soc. Géol. France dans la Mayenne et la Sarthe (28 août-7 septembre), 24 pages.

OEHLERT D. (1909) - Tectonique des terrains paléozoiques au N W et au N. de Sablé (Sarthe).
C. R. Acad. Sc. Fr., 148, p. 391-393.

OEHLERT D. (1910) - Géologie des environs de Changé.
Extr. Bull. Mayenne, Sciences, 1909, p. 1-14.

OEHLERT D. et P. (1911) - Compte-rendu de la Réunion Extraordinaire de la Société Géologique de France dans la Sarthe et la Mayenne du 28 août au 7 septembre 1909.
Soc. Géol. France, 1911, p. 545-675.

OELE E. (1960) - Sedimentological aspects of four lower paleozoic formations in the northern part of the province of Léon (Spain).
Leidse Geol Meded. Deel, 30, 1960, p. 1-100.

OKULITCH W.J. and NELSON S. J. (1957) - Sponges of the Paleozoic.
Geol. Soc. Amer., mém. 67, p. 763-770.

OVTRACHT A., FOURNIE L. (1956) - Signification paléogéographique des griottes dévoniennes de la France méridionale.
Bull. Soc. Géol. Fr., (6), VI, p. 71-80.

PAECKELMANN W. (1928) - Erlauterungen zur Geologischen Karte von Preussen u. s. w. Lfrg.
Blatt Elberfeld Berlin, 1928.

PAPROTH E. (1960) - Zur stratigraphischen Verbreitung der nicht marinen Muscheln in Westfal Nordwestdeuchlands.
Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., (3), Krefeld 1960, p. 787-794.

PAREYN Cl. (1960) - Les récifs carbonifères du Grand Erg occidental.
Bull. Soc. Géol. Fr., (7), I, p. 347-364.

PASSEGA R. (1957) - Texture as characteristique of clastic deposition.
Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, 41, (9), p. 1952-1984.

PASSEGA R. (1962) - Problem of comparing ancient with recent sedimentary deposit.
Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, 46, (1), p. 114-118.

PASSEGA R. (1963) - Analyses granulométriques, outil géologique pratique.
Rev. Inst. Franç. Petrole, 18, (11), p. 1489-1499.

PASSEGA R. (1964) - Grain size representation by CM Patterns as a geological tool.
Journ. Sedim. Petrology, 34, (4), p. 830-847.

PAUL H. (1939) - Grundsätzliches zur Palaogeographie des europaischen Unterkarbons und über die Begriffe Kohlenkalk und Culm.
Geol. Rundsch., 30, p. 641.

PAUL H. (1942) - Pelagische Sedimente im Unterkarbon der Basse Bretagne.
Zentr. Fur Miner. Geol. Paläont., 1942, Abt. B, p. 116-121.

PELHATE A. (1962) - La découverte de Conodontes et sa signification stratigraphique dans le Carbonifère du bassin de Laval-Sablé (Est du Massif Armoricain).
C. R. Acad. Sc. Fr., 254, p. 716-717.

PELHATE A. (1963) - Découverte de spongolithes dans le Viséen inférieur du bassin de Laval (Mayenne).
C. R. Acad. Sc. Fr., 257, p. 2866-2868.

PELHATE A. (1964) - Présence de Koninckopora inflata (de KONINCK) WOOD 1943 (Algue) dans les calcaires viséens du bassin de Laval (Mayenne).
C. R. Som. Soc. Géol. France 1964, (7), p. 263.

PELHATE A. (1965 a) - A propos du Culm inférieur du bassin de Saint-Pierre-la-Cour (Mayenne).
Bull. Soc. Géol. Min. Bretagne, 1962-1963, nouv. série, p. 113-126.

PELHATE A. (1965 b) - Relations entre la position stratigraphique et les caractères sédimentologiques de la Grauwacke à Paléchinides (Viséen du bassin de Laval).
C. R. Acad. Sc. Fr., 260, p. 3713-3715.

PELHATE A. (1965 c) - La découverte d'associations de Foraminifères dans les calcaires viséens du bassin de Laval permet l'établissement d'une échelle chronostratigraphique.
C. R. Acad. Sc. Fr., 260, p. 5316-5319.

PERES J. M. (1961) - Océanographie biologique et Biologie marine. La vie benthique.
I, 541 pages, Presses Universitaires de France.

PETTIJOHN F. J. (1949) - Sedimentary rocks.
Harper and Row Publish. New-York, Evanston and London.

PETTIJOHN F. J. (1957) - Sedimentary rocks.
Second. edit. Harper and Row Publish. New-York, Evanston and London, 718 pages.

PHILIPPOT A. (1948) - Révision de la feuille de La Flèche au 1/80 000ème. Région de Sablé-Saulges. Tectonique.
Bull. Serv. Carte Géol. France, XLVI,(221), 1945-1946, p. 48-49.

PHILIPPOT A. (1950) - Les Graptolithes du Massif Armoricain. Etude stratigraphique et paléontologique.
Imprimerie bretonne, Rennes 1950, 295 pages.

PHILIPPOT A. et CHAUVEL J. J. (1957) - Relations entre les niveaux de la base du Paléozoique et les assises inférieures dans les synclinaux du Sud de Rennes.
Bull. Soc. Géol. Min. Bretagne, nouv. série, (2), décembre 1957, p. 15-34.

PHILIPPOT A. (1963) - Remarques sur la sédimentation de l'Ordovicien supérieur et de l'Ordovicien moyen dans la presqu'île de Crozon (Finistère).
Bull. Soc. Géol. Min. Bretagne, 1961, nouv. série, (1-2), p. 133-143.

PIRLET H. (1963) - Sédimentologie des formations du Viséen supérieur V 3b de la vallée du Samson (bassin de Namur. Belgique).
Ann. Soc. Géol. Belgique, 86, p. 3-42.

POKORNY Vl. (1965) - Principles of Zoological Micropaleontology, vol. 2 .
International Series of Monographs on Earth Sciences, vol. 20 .
Pergamon Press, 465 pages.

PRUVOST P. (1930) - Sédimentation et Subsidence.
Livre jubilaire Soc. Géol. France, p. 545-564.

PRUVOST P. (1942) - Un bassin houiller paralique d'âge cénomanien : les lignites de Pont Saint-Esprit.
Bull. Soc. Géol. Fr., (5), XII, p. 165-180.

PRUVOST P. (1949) - Les mers et les terres de Bretagne aux temps paléozoiques.
Ann. Hébert et Haug, VII, p. 345-362.

PURDY E. G. (1964) - Sediments as substrates. Approaches to Palaoecology.
Edit. by J. Imbrie, N. D. Newell. John Wiley and Sons, 1964, p. 238-271.

PYTKOWICZ R. M. (1964) - Rates of Inorganic Calcium Carbonate Nucleation.
(prétirage 1964).

RAGUIN E. et ZVEREFF R. (1946) - Roches éruptives du bassin de Laval (Mayenne) et des environs de Sablé (Sarthe).
Bull. Soc. Géol. Fr. (5), XVI, p. 313-321.

RASTALL R. H. (1933) - On the preparation of geological manuscripts.
Geol. Magazine, LXX, (833), p. 481-488.

RENAUD A., PHILIPPOT A. et GIOT P. R. (1948) - Révision de la feuille de La Flèche au 1/80 000ème. Partie armoricaine.
Bull. Serv. Carte Géol. France, (221), XLVI, 1946, p. 45-53.

RENAUD A., PHILIPPOT A., PELHATE A. et CHAUVEL J. J. (1964) - Excursion dans le bassin de Laval (Saint-Céneré-Saint-Jean-sur-Mayenne).
Colloque Français de Stratigraphie, Rennes 16-18 septembre 1964.

RENOUF J. T. (1965) - The geology of the presqu'île de Plougastel.
Thèse non publiée.

RIVIERE A. et VERNHET S. (1964) - Contribution à l'étude de la sédimentologie des sédiments carbonatés. Developments in sedimentology. I, Elsevier 1964, p. 356-361.

RIZZINI A. et PASSEGA R. (1964) - Evolution de la sédimentation et orogénèse, vallée du Santerno, Apennin septentrional. In Turbidites, Developments in Sedimentology.
Elsevier 1964, p. 65-74.

RONDEAU A. (1958) - Géomorphologie et Géochimie.
Bull. Assoc. Géogr. Fr., 271, p. 17-23
C. R. Soc. Géol. Fr., (13), p. 288-290.

RUSNAK G. A. (1960) - Some observations of recent oolithes.
Journ. Sedim. Petrology, 30, (3), p. 471-480.

RUTTEN G. (1952) - Rhytm in sedimentation and in erosion.
3ème Cong. Etude Strat. Géol. Carbonifère Heerlen, 23-30 juin 1951, II, 1952, p. 529-537.

SCHAUB H. (1961) - Flyschfragen im Bau der Alpen.
Verhandl. Naturf. Gese. Basel Bd. 72, (2), p. 333-342.

STILLE H. (1928) - Zur Einfuhrung in die Phasen der paläozoischen Gebirgsbildung.
Zeitsch. der Deutsch. Geol. Gesellsch., Bd. 80, Abh. (1), p. 1-24.

STOUVENOT A. (1921) - Le bassin carbonifère de Sablé-Laval ou du Maine.
Extr. Revue Economique de l'Ouest, (1, 2, 3, 4, 5), 1920-1921.

STRAKOV N. M. (1957) - Méthodes d'études des roches sédimentaires.
Moscou 1957, Ann. Serv. Inf. Geol. du B. R. G. M. (35), I, 447 p., II, 511 p.

TAYLOR W. R. (1950) - The plants of Bikini.
Univ. of Michigan Press, 227 p., 79 pl.

TEICHMULLER R. (1955) - Ueber Küstenmoore der Gegenwart und die Moore des Ruhrkarbons.
Geol. Jahrb., 71, p. 197-220, Hannover.

TERMIER H. et G. (1952 a) - Classe des Gastéropodes.
Traité de Paléontologie, II, Masson, Paris.

TERMIER H. et G. (1952 b) - Histoire géologique de la Biosphère.
Masson, Paris, 721 pages.

TERMIER H. et G. (1960) - Erosion et Sédimentation.
Masson, Paris 1960, 412 pages.

TERMIER H. et G. (1964) - Les temps fossilifères.
I, Paris, Masson, 689 pages.

THOREZ J. (1964) - Relations entre le mode de transport et la granularité des sédiments du Famennien supérieur à Roiseux.
Ann. Soc. Géol. Belgique, 86, 1962-1963, (8), p. 433-460.

TRESSLER W. L. (1957) - Marine Ostracoda.
Geol. Soc. Amer., 67, (1), p. 1161-1164.

TROELL A. R. (1962) - Lower Mississipian Bioherms of southwestern Missouri and northwestern Arkansas.
Journ. Sedim. Petrology, 32, (4), p. 629-664.

TWENHOFEL W. H. (1932) - Treatise on sedimentation.
2ème edit., London, Baillère and Co., 661 pages.

VAN STRAATEN L. M. J. U. (1959) - Littoral and submarine morphology of the Rhône delta.
Nat. Res. Concil, 2nd Coastal Geogr. Conf., p. 233-264.

VASSEOVITCH N. B. (1951) - Les conditions de la formation du Flysch.
Leningrad Gostopekhizdat. 240 p., Trad. B.R.G.M. n°1954.

VAUGHAN A. (1905) - The palaeontological sequence in the carboniferous limestone of the Bristol Area.
Quater. Journ. Geol. Soc., LXI, p. 181-305.

VERNEUIL E. (de) (1850) - Réunion extraordinaire de la Soc. Géol. France au Mans.
Bull. Soc. Géol. Fr., (2), VII.

VEZZANI F., PASSEGA R. (1963) - Applicazione di nuovi metodi sedimentologici allo studio del l'Appennino settentrionale.
Bollet. Soc. Geol. Italiana, LXXXII, (1), p. 11-56.

VOGES A. (1959) - Conodonten aus dem Unterkarbon I und II (Gattendorfia- und Pericyclus Stufe) des Sauerlandes.
Paläontologische Zeitschrift, 33, (4), p. 226-314.

VOGES A. (1960) - Die Bedeutung der Conodonten Für die Stratigraphie des Unterkarbons I und II (Gattendorfia-und Pericyclus-Stufe) im Sauerland.
Fortschr. Geol. Rheinland und Westf., 31, p. 197-228.

WANLESS H. R. et SHEPARD F. P. (1936) - Sea level and climatic changes related to late paleozoic cycles.
Bull. Soc. Geol. Amer., 67, p. 1177-1206, 2008-2014.

WASMUND E. (1930) - Bitumen, Sapropel und Gyttja.
Geologiska Föreningens Förhandlingar, Stockholm, LII, p. 315-350.

WELLS J. W. (1957) - Corals.
Geol. Soc. Amer., 67, p. 773-782.

WELLS A. J. et ILLING L.V. (1964) - Recent carbonate sedimentation in the Persian Gulf. Developments in Sedimentology.
I, Elsevier, p. 429-435.

WILLIAMS J. S. (1957) - Mississipian of Upper Mississipi Valley.
Geol. Soc. Amer., 67, p. 279-324.

WOLF K. H. (1961) - An introduction to the classification of limestones.
Neues Jahrbuch für Geol. Palaont., Mhf. (5), p. 225-286, Stuttgart mai 1961.

WOLF K. H. (1962) - The importance fo calcareous algae in Limestone Genesis and Sedimentation.
Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie (5), p. 245-261.

WOLF. K. H. (1965) - Petrogenesis and palaeoenvironment of devonian algal limestones of neu South Wales.
Sedimentology, 4, (1-2), p. 113-178.

WOLF K. H. (1965 a) - Gradational sedimentary products of calcarous algae.
Sedimentology, 5, (1), p. 1-37.

WOLF K. H. (1965 b) - "Grain diminution" of algal colonies to micrite.
Journ. Sedim. Petrology, 35, (2), p. 420-427.

ZEN E. An. (1959) - Marine bottom sediments from Peru, Chili.
Journ. Sedim. Petrology, 29, (4), p. 513-539.

ZIEGLER W. (1963) - Conodonten aus dem Unterkarbon der Bohrung Munsterland I. Fortschrift Geol. Rheinland und Westf., 11, p. 319-328, Krefeld.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

		Pages
Fig. 1 -	Flanc sud du bassin de Laval, de part et d'autre de la Mayenne, d'après la carte géologique au 1/80 000.	22
Fig. 2 -	Succession des assises observées entre l'écluse de Port-Ringeard et le carrefour de la Pignerie (Laval).	24
Fig. 3 -	Courbes d'analyse thermique différentielle, Culm de la vallée de la Mayenne.	30
Fig. 4 -	Courbes granulométriques (Bonne).	33
Fig. 5 -	Courbes granulométriques (Bois de l'Huisserie).	33
Fig. 6 -	Courbes granulométriques (L'Huisserie).	34
Fig. 7 -	Culm du flanc sud du bassin de Laval, courbes lithologiques.	36
Fig. 8 -	Diagramme CM : Séquence E F, Culm, vallée de la Mayenne, Sud de Laval.	38
Fig. 9 -	Diagramme CM : Séquence G H, Culm, vallée de la Mayenne, Sud de Laval.	39
Fig. 10 -	Situation des affleurements étudiés (d'après la carte géologique au 1/80 000 de Laval et Château-Gontier).	42
Fig. 11 -	Courbes cumulatives du Culm, Changé (Nord de Laval).	48
Fig. 12 -	Courbes lithologiques, Culm,Nord de Laval, vallée de la Mayenne.	49
Fig. 13 -	Diagramme CM, séquence 4, Culm,Nord de Laval.	51
Fig. 14 -	Diagramme CM, séquence 1, Culm,Nord de Laval.	51
Fig. 15 -	Localisation des sondages de Saint-Pierre-la-Cour.	54
Fig. 16 -	Courbes granulométriques , Culm de Saint-Pierre-la-Cour.	61

		Pages
Fig. 17 -	Sondage 15 : complexe terminal, diagramme CM.	62
Fig. 18 -	Sondage 14 : complexe terminal, diagramme CM.	63
Fig. 19 -	Carte géologique des environs de Sablé.	66
Fig. 20 -	Courbes granulométriques : Gomer.	69
Fig. 21 -	Gomer : diagramme CM.	69
Fig. 22 -	Culm de Gautray : courbes lithologiques.	72
Fig. 23 -	Gautray : courbes granulométriques	74
Fig. 24 -	Gautray : diagramme CM, séquences I et II.	74
Fig. 25 -	Gautray, séquence V : diagramme CM.	75
Fig. 26 -	Culm du synclinal de Solesmes, voie ferrée Sablé-Le Mans.	77
Fig. 27 -	Cyclothèmes : Culm du synclinal de Solesmes, voie ferrée Sablé-Le Mans.	78
Fig. 28 -	Photographie de la carrière n° 1 de Port-Etroit (Solesmes).	88
Fig. 29 -	Log pétrographique, Port-Etroit : carrière n° 2.	91
Fig. 30 -	Log pétrographique, Juigné : les Saulneries.	95
Fig. 31 -	Log pétrographique : Bouessay.	101
Fig. 32 -	Photographie de la carrière de Châteauneuf, Juigné (le calcaire stratifié est seul représenté sur ce cliché).	105
Fig. 33 -	Schéma de la carrière de Châteauneuf (Juigné).	105
Fig. 34 -	Courbes granulométriques des oolithes : Juigné (Châteauneuf).	107
Fig. 35 -	Courbes granulométriques des endoclastes : Juigné (Châteauneuf).	108
Fig. 36 -	Diagramme CM des endoclastes : Juigné (Châteauneuf).	109
Fig. 37 -	Log pétrographique, carrière de Châteauneuf (Juigné).	111
Fig. 38 -	Situation des carrières de La Foucaudière (Chémeré-le-Roi).	115
Fig. 39 -	Log pétrographique, Chémeré-le-Roi : La Foucaudière I.	116
Fig. 40 -	Courbes granulométriques des oolithes (Chémeré, La Foucaudière II).	119

Pages

Fig. 41 - Courbes granulométriques des endoclastes (Chémeré, La Foucaudière II). 121

Fig. 42 - Diagrammes CM (Chémeré, La Foucaudière II). 122

Fig. 43 - Situation de la carrière de l'Epinoyau (Epineux-le-Seguin). 123

Fig. 44 - Log pétrographique, carrière de l'Epinoyau (Epineux-le-Seguin). 124

Fig. 45 - Courbes granulométriques, l'Epinoyau (Epineux-le-Seguin). 125

Fig. 46 - Diagramme CM, l'Epinoyau (Epineux-le-Seguin). 126

Fig. 47 - Situation de la carrière de Cossé-en-Champagne. 129

Fig. 48 - Log pétrographique, carrière de Cossé. 130

Fig. 49 - Courbes granulométriques, Cossé-en-Champagne. 132

Fig. 50 - Situation des carrières du Hallais et de l'Ormeau. 136

Fig. 51 - Courbes granulométriques, le Hallais. 137

Fig. 52 - Saint-Pierre-sur-Erve : carrière des Fourneaux. 139

Fig. 53 - Log pétrographique, Saint-Pierre-sur-Erve, carrière des Fourneaux : zone A. 140

Fig. 54 - Log pétrographique, carrière des Fourneaux, Saint-Pierre-sur-Erve : zone C. 141

Fig. 55 - Situation des carrières de la Massuredière et de Bonne Fontaine (Vaiges). 148

Fig. 56 - Log pétrographique, Vaiges, carrière de la Massuredière. 149

Fig. 57 - Carrière de Bonne Fontaine. 151

Fig. 58 - Courbes granulométriques des endoclastes (Vaiges, Bonne Fontaine). 155

Fig. 59 - Courbes granulométriques des oolithes (Vaiges, Bonne Fontaine). 156

Fig. 60 - Diagrammes CM (oolithes, endoclastes) Vaiges, Bonne Fontaine. 157

Fig. 61 - Argentré : carrières des Rochers. 159

Pages

Fig. 62 - Situation des carrières des Rochers (Argentré). 160

Fig. 63 - Argentré : Carrière A, log pétrographique. 162

Fig. 64 - Carrière des Bas-Gravus. 165

Fig. 65 - Carrière des Aumeunes. 166

Fig. 66 - Log pétrographique, Louverné, carrière des Aumeunes. 169

Fig. 67 - Carrière Saint-Roch, Changé ; Spongolithes. 175

Fig. 68 - Log pétrographique, Changé, carrière Saint-Roch. 178

Fig. 69 - Log pétrographique, accès ouest de la carrière Saint-Roch. 179

Fig. 70 - Schéma interprétatif de la région de Changé (Mayenne). 183

Fig. 71 - Plan de situation du chantier des Fourches (Laval). 197

Fig. 72 - Coupe schématique, le long de la vallée de la Jouanne, au Sud de Forcé. 199

Fig. 73 - Diagramme CM, Grauwacke à Paléchinides, Changé. 202

Fig. 74 - Plan d'implantation des fouilles de l'usine "Le Matériel Téléphonique", Laval. 221

Fig. 75 - Carrière de La Cropte. 225

Fig. 76 - Courbes granulométriques : Schistes de Laval, Heurtebise (Sud de Changé). 241

Fig. 77 - Diagramme CM, Schistes de Laval, Heurtebise (Sud de Changé). 242

Fig. 78 - Courbes granulométriques : Schistes de Laval, La Roche, Auvers-le-Hamon. 245

Fig. 79 - Diagramme CM, Schistes de Laval, La Roche, Auvers-le-Hamon. 245

Fig. 80 - Répartition des dépôts calcaires au Tournaisien supérieur (Tn 3c) et au Viséen inférieur (V 1). 256

Fig. 81 - Répartition des dépôts calcaires à la base du Viséen moyen (V 2a). 260

- Planches photographiques 275

- Planches hors texte :
  - . Formations du Carbonifère inférieur du bassin de Laval.
  - . Répartition des Algues et des Foraminifères dans le Calcaire de Sablé.
  - . Corrélations stratigraphiques entre le bassin de Laval, la Belgique et l'Allemagne.

LISTE DES TABLEAUX

		Pages
Tableau I	- Tableau stratigraphique des formations carbonifères du bassin de Laval, d'après Y. MILON (1928).	6
Tableau II	- Analyse modale : Culm de la vallée de la Mayenne, flanc sud du bassin.	28
Tableau III	- Pourcentage des minéraux lourds : Culm, vallée de la Mayenne, flanc sud du bassin.	31
Tableau IV	- Grains moyens et indices d'hétérométrie : Culm, vallée de la Mayenne, flanc sud du bassin de Laval.	32
Tableau V	- Indices d'émoussé : Culm, vallée de la Mayenne, flanc sud du bassin de Laval.	35
Tableau VI	- Analyse modale de quelques échantillons étudiés : Culm inférieur, vallée de la Mayenne, flanc nord du bassin.	45
Tableau VII	- Tableau de répartition des minéraux lourds. Culm inférieur, vallée de la Mayenne, flanc nord du bassin.	46
Tableau VIII	- Caractéristiques granulométriques : Culm inférieur, vallée de la Mayenne, flanc nord du bassin.	48
Tableau IX	- Analyse modale : Culm de Saint-Pierre-la-Cour.	58
Tableau X	- Caractéristiques granulométriques : Culm de Saint-Pierre-la-Cour.	61
Tableau XI	- Analyse modale des échantillons du Culm de Gomer.	68
Tableau XII	- Caractéristiques granulométriques (Gomer).	68

		Pages
Tableau XIII	- Analyse modale des échantillons du Culm de Gautray.	71
Tableau XIV	- Caractéristiques granulométriques (Gautray)	73
Tableau XV	- Répartition des Foraminifères et des Algues, Port-Etroit : carrière n° 2.	93
Tableau XVI	- Répartition des Foraminifères et des Algues, Juigné, les Saulneries.	96
Tableau XVII	- Répartition des Foraminifères (synclinal de Solesmes) voie ferrée Sablé-Le Mans.	99
Tableau XVIII	- Répartition des Foraminifères : Bouessay.	104
Tableau XIX	- Pourcentages des oolithes et des endoclastes, Juigné (Châteauneuf).	107
Tableau XX	- Caractéristiques granulométriques des oolithes (calcaire oolithique), Châteauneuf.	108
Tableau XXI	- Caractéristiques granulométriques des endoclastes (calcaire oolithique), Châteauneuf.	109
Tableau XXII	- Caractéristiques granulométriques des endoclastes et bioclastes (calcaire noir stratifié), Châteauneuf.	110
Tableau XXIII	- Répartition des Foraminifères et des Algues, Châteauneuf, Juigné.	112
Tableau XXIV	- Micropaléontologie, Auvers-le-Hamon, carrière de la Péchardière.	114
Tableau XXV	- Répartition des Foraminifères et des Algues, Chémeré, La Foucaudière I.	118
Tableau XXVI	- Pourcentages des oolithes et des endoclastes, Chémeré, La Foucaudière II.	120
Tableau XXVII	- Caractéristiques granulométriques des endoclastes (Chémeré, La Foucaudière II).	121
Tableau XXVIII	- Caractéristiques granulométriques, l'Epinoyau, (Epineux-le-Seguin).	127
Tableau XXIX	- Micropaléontologie : l'Epinoyau (Epineux-le-Seguin).	128
Tableau XXX	- Répartition des Foraminifères et des Algues, Cossé-en-Champagne.	133

		Pages
Tableau XXXI	- Micropaléontologie : les Préaux.	135
Tableau XXXII	- Répartition des Foraminifères et des Algues, Saint-Pierre-sur-Erve : les Fourneaux.	144
Tableau XXXIII	- Micropaléontologie du Viséen : massif de Saulges.	146
Tableau XXXIV	- Micropaléontologie de la Massuredière.	150
Tableau XXXV	- Pourcentages des diverses catégories d'éléments figurés, Vaiges (Bonne Fontaine).	152
Tableau XXXVI	- Répartition des Foraminifères et des Algues, Vaiges (Bonne Fontaine).	158
Tableau XXXVII	- Répartition des Foraminifères et Algues, Argentré, carrière A.	163
Tableau XXXVIII	- Répartition des Foraminifères et Algues, Argentré, carrière B.	164
Tableau XXXIX	- Répartition des Foraminifères et Algues, Louverné, les Aumeunes.	172
Tableau XL	- Répartition des Foraminifères et des Algues, carrière Saint-Roch, Changé.	181
Tableau XLI	- Corrélations stratigraphiques entre le bassin de Laval, la Belgique et l'Angleterre.	187
Tableau XLII	- Analyse modale, Grauwacke à Paléchinides, Changé.	201
Tableau XLIII	- Stratigraphie du Calcaire de Laval.	230
Tableau XLIV	- Analyse modale (Heurtebise, Schistes de Laval).	240
Tableau XLV	- Caractéristiques granulométriques (Heurtebise, Schistes de Laval).	242
Tableau XLVI	- Analyse modale, Schistes de Laval, Moulin de la Roche.	244
Tableau XLVII	- Tableau stratigraphique des formations du Carbonifère inférieur du bassin de Laval.	250

TABLE DES MATIERES

Pages

AVANT - PROPOS

INTRODUCTION 1

DEFINITION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DU BASSIN DE LAVAL 2

HISTORIQUE DES TRAVAUX ANTERIEURS 3

COMPLEMENTS NECESSAIRES A LA CONNAISSANCE DU CARBONIFERE INFERIEUR DU BASSIN DE LAVAL 9

METHODES DE TRAVAIL 11

I - Recherches sur le terrain 11

II - Recherches au laboratoire 12

A - Etude pétrographique 12
B - Micropaléontologie 16

ETUDE DES DIFFERENTES FORMATIONS
DU CARBONIFERE INFERIEUR DU BASSIN DE LAVAL

CHAPITRE I - LE CULM INFERIEUR 20

VALLEE DE LA MAYENNE : FLANC SUD DU BASSIN 21

I - Localisation et description des affleurements 21

Pages

II - Etude des échantillons au laboratoire 26

A - Etude pétrographique 26
B - Nature des minéraux argileux du ciment 30
C - Détermination des minéraux lourds 31
D - Etude granulométrique et morphométrique 32

III - Essai d'analyse séquentielle 35

IV - Diagrammes de PASSEGA 37

V - Conclusions 39

VALLEE DE LA MAYENNE : FLANC NORD DU BASSIN (ENVIRONS DE CHANGE) 40

I - Localisation et description des affleurements 40

II - Etude des échantillons au laboratoire 44

A - Etude pétrographique 44
B - Nature du ciment 46
C - Détermination des minéraux lourds 46
D - Etude morphométrique des galets 47
E - Etude granulométrique des quartz des arénites 47

III - Essai d'analyse séquentielle 50

IV - Diagrammes de PASSEGA 50

V - Conclusions 52

BASSIN DE SAINT-PIERRE-LA-COUR 53

I - Description des sondages 53

II - Etude pétrographique comparative des formations schisto-gréseuses citées ci-dessus et des échantillons des sondages .. 57

III - Analyse séquentielle des échantillons attribués au Culm 59

IV - Analyse granulométrique et diagrammes de PASSEGA 61

V - Conclusions 63

Pages

CULM INFERIEUR DU FLANC SUD DANS LA PARTIE SUD-EST DU BASSIN 64

I - Région de Saint-Brice 65
A - Gomer 67
B - Gautray 70

II - Voie ferrée Sablé - Le Mans 76
A - Description de l'affleurement 76
B - Etude pétrographique 78
C - Analyse séquentielle 79

III - Conclusions générales sur le Culm de la région de Saint-Brice-Sablé 80

CONCLUSIONS GENERALES SUR LE CULM INFERIEUR 82

I - Origine du matériel 82

II - Mise en place du matériel 82

CHAPITRE II - LE CALCAIRE DE SABLE 85

Introduction .....

I - Flanc sud du bassin de Laval 88
A - Synclinal de Solesmes 88
1. Carrières de Port-Etroit 88
2. Juigné (carrière au Sud des Saulneries) ... 93
3. Voie ferrée Sablé-Le Mans, aux environs de Sablé 96
4. Carrière de Bouessay 100

B - Bande Auvers-le-Hamon - Juigné 104
Carrière de Châteauneuf 104
Auvers-le-Hamon (carrière de la Péchardière) 113

Pages

II - Flanc nord du bassin de Laval 114

IIa - Replis orientaux 114

A - Chémeré : carrières de La Foucaudière 114
La Foucaudière I 115
La Foucaudière II 119
B - Epineux : carrière de l'Epinoyau 123
C - Cossé 128
D - Carrière de Grand-Rousson entre Saulges et Ballée 134
E - Les Préaux 134
F - Le Hallais 135
G - Saint-Pierre-sur-Erve (carrière des Fourneaux). 138
H - Vallée de l'Erve entre Saulges et Saint-Pierre-sur-Erve (massif de Saulges) 145

IIb - Région occidentale 147

A - Vaiges 147
Carrière de la Massuredière 147
Carrière de Bonne Fontaine 151
B - Argentré : carrières des Rochers 159
1. carrière A 160
2. carrière B 163
C - Louverné 165
Carrière des Bas Gravus 165
Carrière des Aumeunes 166
D - Changé 173
1. Faciès de transition du Culm inférieur au Calcaire de Sablé 173
2. Carrière Saint-Roch 174
Accès ouest de la carrière Saint-Roch .. 179
3. Tranchée du château d'eau de Changé ... 181
4. Lotissement de la Barberie 182

CONCLUSIONS GENERALES SUR LE CALCAIRE DE SABLE 184

I - Place stratigraphique du Calcaire de Sablé 184

II - Signification paléogéographique du Calcaire de Sablé 187

Pages

CHAPITRE III - LA GRAUWACKE A PALECHINIDES 195

REGION DE LAVAL (MAYENNE) 196

I - Description des affleurements 196

II - Etude pétrographique 197

VALLEE DE LA JOUANNE AU SUD DE FORCE (MAYENNE) 199

REGION DE CHANGE (MAYENNE) 200

CONCLUSIONS 202

CHAPITRE IV - LE CALCAIRE DE LAVAL 205

RECIFS WAULSORTIENS 205

I - Carrière de Boisjourdan 207

A - Localisation 207
B - Description pétrographique et paléontologique 207
C - Micropaléontologie 210

II - Carrière de la Chauvelière 210

III - Carrière du Jard 210

IV - Carrière Baudoin 211

V - Carrière des Richardières (Sud de Bouère) 211

VI - Carrière de l'Euche 213

VII- Carrière de Feue-Vilaine 214

FACIES ENVIRONNANTS STRATIFIES 214

I - Changé 215

A - Rochefort 215
B - Chemin de la Châtaigneraie 216
C - Carrière de la Couldre 216
D - Saut-Gauthier 216
E - Série siliceuse du Saut-Gauthier 218

Pages

II - Laval (Les Fourches) 219
A - Description pétrographique 219
B - Micropaléontologie 220

III - Fondations de l'Usine "Le Matériel Téléphonique", L. M. T. à Laval, route de Rennes 220
A - Description pétrographique 221
B - Micropaléontologie 223

IV - Forcé 223

V - La Cropte (carrière du Rocher) 224

CONCLUSIONS 225

I - Place stratigraphique du Calcaire de Laval 225

II - Signification paléogéographique du Calcaire de Laval 227

CHAPITRE V - LES SCHISTES DE LAVAL 237

I - Changé (au Sud du Saut-Gauthier - butte de Heurtebise) 238
A - Description de l'affleurement 238
B - Etude pétrographique 240
C - Granulométrie .....

II - Moulin de la Roche 243
A - Pétrographie 243
B - Granulométrie 244

III - Bassin de la Baconnière 244
A - Pétrographie 246
B - Morphométrie .....

IV - Conclusions 247

ESSAI DE SYNTHESE

RESULTATS STRATIGRAPHIQUES 251

INTERPRETATIONS PALEOGEOGRAPHIQUES 253

Pages

SIGNIFICATION DES SEDIMENTS CARBONIFERES DANS LA TECTO-OROGENESE HERCYNIENNE 262

I - Histoire géologique antécarbonifère 262

II - Signification du dépôt du Culm inférieur 264

III - Signification des calcaires dinantiens 267

IV - Signification des Schistes de Laval 268

CONCLUSIONS GENERALES 271

PLANCHES 275

BIBLIOGRAPHIE 277

TABLE DES ILLUSTRATIONS 299

LISTE DES TABLEAUX 305

- DEUXIEME THESE -

MICROPALEONTOLOGIE DES CALCAIRES DINANTIENS DU BASSIN DE LAVAL

UNIVERSITÉ DE RENNES
BIBLIOTHÈQUE
INSTITUT DE GÉOLOGIE

VU :
Le Président de la Thèse

Y. MILON

VU :
Le Directeur de la Thèse

S. DURAND

VU et APPROUVE
RENNES, le 8 JUIN 1967
Le Doyen de la Faculté des Sciences

J. BOCLÉ

n° 462/F3/JG
VU et PERMIS D'IMPRIMER
RENNES, le 12 JUIN 1967
Le Recteur de l'Académie de RENNES

H. LE MOAL

ERRATA

p.13	1.10	lire	bothrolithes
p.13	1.13	lire	chondrolithes
p.17	1.2	lire	R.CONIL et E.PAPROTH (1967)
p.41	dernière ligne	lire	Pleurodictyum
p.88	1.10	lire	Conocardium
p.123	1.11	lire	effectúées
p.160	1.4	lire	interrompre
p.161	1.13	lire	peuvent exister
p.171	1.5	lire	puissance: 1,20 m
p.198	1.24	lire	l'ensemble de la grauwacke est constitué
p.200	1.23	lire	le reste de la formation est constitué
p.201	1.11	lire	la confection de plaque mince est presque impossible
p.225	1.13	lire	Productus sublaevis
p.252	1.8	lire	A la partie inférieure
p.258	1.26	lire	Calcaire de Sablé
p.263	1.4	lire	A.PHILIPPOT,1963
p.264	1.28	lire	seq.10,11,13-GH
p.273	1.8	lire	à une phase située entre l'Eifélien et le Givétien

ADDENDUM

BIBLIOGRAPHIE

STAUFFER K.W.(1962).- Quantative petrographic study of paleozoic carbonate rocks,Caballo Mountains New Mexico.Journ.Sedim.Petrology 32,(3) ,357-414.

FORMATIONS CARBONIFERES DU BASSIN DE LAVAL

ECHELLE
0 1 2 3 4 5 km

Stéphanien

Schistes de Laval
Viséen supérieur-Namurien

Calcaire de Laval (Faciès environnants stratifiés)
Viséen inférieur et moyen

Calcaire de Laval (Faciès waulsortien)

Calcaire de Sablé
Tournaisien supérieur-Viséen

Grauwacke à Paléchinides
Viséen inférieur

Culm inférieur
Dévonien supérieur-Tournaisien

Coulées éruptives

BIBLIOTECA DE GEOLOGIA

| | ZONE 1 | | | | | | ZONE 2 | | | | | |

CORRELATIONS STRATIGRAPHIQUES

BASSIN DE LAVAL

- Spongolithes
- Calcaire argileux
- Micrite de teinte noire
- Calcaire à grain fin
- Biostrome à Brachiopodes
- Calcaire à bothrolites
- Calcaire oolithique
- Calcaire à phytoclastes
- Calcaire microorganoclastique
- Calcaire organoclastique grossier

Argentré B
Argentré A
Port-Etroit I Solesmes
Port-Etroit II Solesmes
Les Saulneries Juigné
Bouessay
Voie ferrée Sablé-Le Mans
5m
St Pierre-s-Erve
Cossé
Epineux
St Roch Changé
Chateauneuf Juigné
Vaiges
Chémeré
Les Aumeunes Louverné

Pachysphaera dervillei
Palaeospiroplectammina diversa
Ammodiscidae
Ozawainellidae
Permodiscus
Archaediscus
Propermodiscus
krestovnikovi
Koninckopora inflata
Forschiella prisca
Plectogyra exelikta
Cribrostomum
Archaediscus conv. var. convexus
Archaediscus à nodosités
Plectogyra omphalota
Plectogyra spira

ZONE 6
ZONE 5
ZONE 4
ZONE 3
ZONE 2
ZONE 1

BELGIQUE

V3a	*Archaediscus krestovnikovi* var. *rediia*	
V2bδ	*Arch. convexus* *Plectogyra omphalota* var. *minima*	
V2bγ	*Arch. convexus* *Plect. exelikta*	
V2bβ	*Arch. krestovnikovi* *Forschiella prisca* (répandue)	
V2bα	*Arch. krestovnikovi* *Arch. convexus* var. *declinatus*	
V2a	*Permodiscus rotundus* *Endothyra analoga* *Koninckopora inflata*	
	Palaeospiroplectammina diversa (dernière apparition) ARCHAEDISCIDAE développement des OZAWAINELLIDAE	
V1		
	Girvanella densa *Pachysphaera dervillei* OZAWAINELLIDAE rares *cf. Dainella* *Plect. tenuiseptata*	
Tn3c	TETRATAXIDAE *Palaeospiroplectammina diversa* *Plectogyra* à nodosités	

ALLEMAGNE

10	*Archaediscus convexus* *Plectogyra omphalota* var. *minima* *Arch. krestovnikovi* var. *rediia*
9	*Arch. convexus* *Plectogyra exelikta*
8	*Arch. krestovnikovi*
7	*Koninckopora inflata* quelques *Girvanella densa* *Permodiscus rotundus* *Palaeospiroplectammina diversa*
6	*Girvanella densa* *Pachysphaera dervillei* *Glomospirella cf. Dainella*
5 partie sup.	TETRATAXIDAE *Plectogyra* à nodosités

FORMATIONS CARBONIFERES DU BASSIN DE LAVAL

ECHELLE
0 1 2 3 4 5 km

Stéphanien

Schistes de Laval
Viséen supérieur-Namurien

Calcaire de Laval (Faciès environnants stratifiés)
Viséen inférieur et moyen

Calcaire de Laval (Faciès waulsortien)

Calcaire de Sablé
Tournaisien supérieur-Viséen

Grauwacke à Paléchinides
Viséen inférieur

Culm inférieur
Dévonien supérieur-Tournaisien

Coulées éruptives

ZONE COUVERTE DE LIMONS

N

LAVAL

SABLE

RENNES

LE MANS