Bull.	Inst.	r.	Sci.	nat.	Belg.	
Bull.	K. Be	lg.	Inst.	Nat.	Wet.	

10

# PALYNOFACIES ET MICROFACIES DU SILURIEN INFERIEUR A DEERLIJK

PAR

Francine MARTIN (Bruxelles)

(Avec 3 planches hors texte),

## RESUME

Les sédiments pélitiques d'âge llandoverien inférieur sont étudiés par des techniques palynologiques et pétrographiques. Ils proviennent d'un sondage à Deerlijk, en Flandres, Belgique.

L'accent est mis sur la localisation préférentielle et l'état de conservation des acritarches, des chitinozoaires, des spores, des paléophycées benthiques (*Pictonicopila dinae* nov. sp.) et de niches hexagonales minéralisées d'origine biogène probable.

L'observation microscopique permet d'établir l'ordre d'apparition de certains minéraux authigènes, depuis un stade précoce jusqu'à un stade avancé de la diagenèse.

Une sédimentation cyclique de premier ordre, d'une échelle centimétrique à décimétrique, répète la succession des facies suivants : 1 =psammites et micropsammites, 2 = pélophyllades gris foncé homogène, 3 = pélophyllades à laminations peu distinctes, 4 = pélophyllades à laminations distinctes; 5 = pélophyllades gris clair homogène avec vie benthique, à nouveau 2, 3, 4.

Une sédimentation cyclique de deuxième ordre apparaît sous forme de varves, à l'échelle de 250 microns, dans les pélophyllades laminés. Les varves seraient provoquées par la concentration annuelle de matière colloïdale et organique d'origine continentale; ce facies est en effet riche en *Leiotriletes*.

#### ABSTRACT

Lower Llandoverian pelitic sediments from a core of Deerlijk, in Flandres, Belgium, are studied by palynological and petrographical techniques.

Accent is put on preferential location and preservation of acritarchas, chitinozoas, spores, palaeophyceas (*Pictonicopila dinae* nov. sp.) and hexagonal mineralized niches of probable biogenic origin.

Features allow to estimate successive apparitions of some authigenic minerals from early to advanced state of diagenesis.

A first order cyclic sedimentation, at a cm to dm scale, repeats the succession of the following facies : 1 = psammites and micropsammites, 2 = homogeneous dark gray pelites, 3 = smoothly laminated pelites, 4 = distinctly laminated pelites, 5 = homogeneous light gray pelites with active benthos, again 2, 3, 4.

A second order cyclic sedimentation, at 250  $\mu$  scale, appears into the laminated pelites. It is interpreted as varves caused by the annual concentration of colloidal and organic matter of continental origin; this facies is indeed rich in *Leiotriletes*.

### I. INTRODUCTION

En général, c'est après leur dégagement de la matière minérale que les assemblages de microfossiles conservés à l'état de matière organique font l'objet d'études. De ce fait, les relations entre les microfossiles et le sédiment sont masquées. En outre, les méthodes chimiques de concentration peuvent déformer l'aspect des palynofacies par destruction sélective de certains de leurs constituants minéralisés.

A la faveur d'un cas particulier, j'ai voulu décrire la position et l'état de conservation des microfossiles dans le sédiment et compléter par des observations pétrographiques celles obtenues par les méthodes palynologiques usuelles.

## **II. ORIGINE DES ECHANTILLONS**

Les échantillons proviennent du sondage de Deerlijk 83-E-404, qui, en Flandre, atteint le socle paléozoïque. R. LEGRAND (1966) a publié la faune des graptolithes et la lithologie. Il attribue l'ensemble de la stampe de -150 m à -188,25 m au Llandovery inférieur, zone 16 à *Akidograptus acuminatus*. La sédimentation de -150 m à -162,80 m et de -171,40 m à -188,25 m est rythmique; elle se caractérise par la répétition de séquences positives allant du grès au schiste ampélitique, c'est-à-dire alumineux, pyriteux et carboné. L'épaisseur moyenne d'une séquence est de l'ordre du décimètre mais varie de quelques centimètres au demi-mètre. Le grès de base dépasse parfois le décimètre. Entre 47, 10

-163 m et -171,25 m, une ampélite encadre 1,40 m de lutite. R. LEGRAND admet que cette dernière correspond à la flocculation de silice dissoute en absence d'apport terrigène. L'ensemble de la stampe est pyriteuse.

Les dépôts régulièrement inclinés d'environ 15° n'ont été que peu affectés par l'orogénèse calédonienne.

## III. METHODES D'OBSERVATION

Les échantillons de roches sont étudiés en lames minces et lames minces polies.

Le traitement pour isoler la matière organique est standardisé : macération de 150 g de roche successivement par HCl, HF, HCl et éventuellement par  $HNO_3$ .

A partir d'un même sédiment, deux types de préparations microscopiques sont montées au baume du Canada et permettent d'établir la relation entre les divers comptages. Une fraction supérieure à 50  $\mu$  contient essentiellement les chitinozoaires, les spores, les scolécodontes et les larves de graptolithes et une fraction inférieure à 50  $\mu$  renferme surtout les acritarches. La fraction supérieure à 50  $\mu$  est aussi utilisée en frottis sec à couverture d'or pour les observations au microscope électronique à balayage.

Les préparations pétrographiques et palynologiques sont déposées à l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique.

#### IV. PETROGRAPHIE

J'ai adopté la terminologie et la classification pétrographiques proposées par P. MICHOT, 1958, pour les roches lapidifiées de la série psammitopélitique. Les échantillons analysés sont des pélophyllades gris clair et gris foncé sans laminations, des pélophyllades noirâtres laminés (ampélite sensu R. LEGRAND), des psammites fins, des micropsammites et des pélitopsammites (lutite sensu R. LEGRAND).

La composition qualitative des échantillons est homogène et peut se caractériser comme suit.

## 4.1. Fraction détritique

La fraction détritique est formée de plaques corrodées de muscovite et de grains de quartz non orientés, aux angles souvent émoussés. Dans les pélophyllades, la taille de ces derniers est généralement très inférieure à 20  $\mu$ ; dans les niveaux les plus psammitiques, elle atteint 120  $\mu$  et une extinction roulante est parfois décelable. Les feldspaths plagioclases, les tourmalines et les zircons sont rares. Le liant phylliteux est très micacé (illite) avec des grains siliceux peu différenciés.

## 4.2. Minéraux authigènes transparents

Les lentilles de feuillets de chlorite et de muscovite sont présentes à tous les niveaux mais particulièrement abondantes et bien formées dans les pélophyllades. Le grand axe des lentilles et les feuillets sont parallèles à la stratification. (Longueur : 20-170  $\mu$ ; Long./Larg. : 1,1-3, généralement 1,5.)

La calcite est généralement peu développée. Les éléments microcristallins s'agglomèrent en amas à extinction synchrone et de section rhomboédrique ou de forme régie par celle d'un hôte. Dans les cavités de dissolution, la calcite occupe une position centrale par rapport à celle de la silice qui est apparue plus tardivement.

Les cristaux de quartz authigène, dont la taille peut atteindre 300  $\mu$ , sont généralement engrenés; ils se sont formés en phases successives. La silice microcristalline est quartzitique et localisée dans les hôtes biogènes.

Le rutile est abondant sous forme d'aiguilles à extrémité arrondie ou effilée et qui présentent parfois des macles géniculées (Longueur 2-20  $\mu$ , généralement 5-10  $\mu$ ). En lumière ordinaire, la transparence des aiguilles bien individualisées indique leur pauvreté en corps étrangers. En lumière polarisée, transmise ou incidente, de fortes réflexions internes masquent les propriétés optiques. Les cristaux sont isolés ou groupés parallèlement en faisceaux dont les bords irréguliers indiquent l'association d'aiguilles de tailles différentes. Ils forment aussi un feutrage enchevêtré, peu transparent, d'éléments confus et se prolongent en des amas brunâtres cryptocristallins. Ces feutrages marquent une orientation préférentielle car ils se repèrent surtout dans les lames taillées parallèlement à la sédimentation. Ils participent à des litages brunâtres où se retrouvent une précipitation colloïdale de phyllite et des dépôts continus de pyrite et de matière organique.

L'abondance de cristaux frais, la disposition de certains en auréole elliptique autour de lentilles de feuillets de chlorite-muscovite ou perpendiculairement aux parois de géodes indiquent certainement la néo-formation du rutile.

Un matériel brunâtre, peu transparent et de haute réfringence forme des amas fibreux, informes ou à contour irrégulièrement anguleux et d'un diamètre variant de quelques  $\mu$  à 80  $\mu$ . Les propriétés optiques sont masquées par de fortes réflexions internes. En lame mince polie, la couleur de réflexion est grise, légèrement bleutée ou se trouble de couleurs irisées dues aux réflexions internes.

Ce minéral est disséminé dans le liant phylliteux et participe aux litages sombres marquant la sédimentation. Les dispositions suivantes indiquent sa néo-formation, il peut auréoler les lentiles de feuillets de chlorite et des plages de pyrite et délimiter des parois de géodes.

Ce minéral est assimilé avec doute à de la blende. Sa distinction d'avec le rutile est incertaine et se base sur les couleurs de réflexion.

Rutile et « blende » (?) n'apparaissent pas sur les radiogrammes des poudres, aussi bien de la roche que du concentré obtenu après attaque à HF; leur trop faible concentration est masquée par l'abondance de la pyrite.

## 4.3. Minéraux authigènes opaques

La pyrite est omniprésente et particulièrement abondante dans les pélophyllades.

Elle se présente sous différents aspects :

- en cristaux isolés de quelques microns à mm, les sections cubiques sont fréquentes;
- en agglomérats souvent aplatis selon la stratification, leur forme est quelconque ou régie par celle d'un hôte;
- en lits continus ou non, épais de quelques microns à quelques centaines de microns;
- en pyritosphères à divers états de recristallisation, par ailleurs connus dès les stades précoces de la diagénèse (L. G. LOVE, 1968, H. PAPU-NEN, 1968). La recristallisation débute à partir d'une zone quelconque, centrale ou périphérique; elle reste localisée ou masque complètement les cristaux originaux des framboïdes. D'après 400 spécimens mesurés en lames minces polies et sans correction, la distribution de la taille est unimodale. Le diamètre varie de 2 à 35  $\mu$  et est généralement de 6  $\mu$ .

Les pyritosphères sont réparties dans le liant phylliteux à l'état isolé ou groupé; la forme des groupements est quelconque ou régie par celle d'un hôte organique.

## V. ECHANTILLONS ANALYSES

Je présente les caractéristiques des roches analysées dans l'ordre suivant :

- profondeur;
- épaisseur du sédiment visible en lames transversales;
- orientation connue ou non de l'échantillon;
- lithologie du bas vers le haut quand l'orientation de la lame est connue;
- fossiles et microfossiles minéralisés reconnus en lames minces (les niveaux analysés en lames minces polies sont marqués d'une ×);
- sédimentologie. Dans l'ensemble la sédimentation est de type pélitique; le liant phylliteux des pélophyllades possède une texture orientée que témoigne son extinction synchrone. Les contacts entre les

6

facies paraissent généralement abrupts et seuls les passages progressifs de l'un à l'autre sont soulignés. Pyrite et pyritosphères sont omniprésentes et toujours abondantes dans les pélophyllades foncés, laminés ou non; seules les concentrations importantes dans les pélophyllades clairs et dans les micropsammites sont indiquées;

- palynologie = composition des assemblages de microfossiles organiques déterminée par analyse palynologique. Tous les niveaux macérés contiennent des microfossiles. Les estimations d'abondance absolue par g de roche varient de 10 à 650 pour les acritarches, de 2 à 28 pour les chitinozoaires, de 2 à 650 pour les spores, de 0 à 0,8 pour les scolécodontes et de 0 à 4 pour les larves de graptolithes. L'observation de lames minces polies, parallèles au plan de sédimentation indique qu'il y a sous-estimation du nombre de larves de graptolithes en préparation palynologique. Les fréquences relatives se basent sur les comptages de 200 à 500 spécimens. Les conventions utilisées pour exprimer les fréquences relatives sont : dominant : supérieur à 50 %, très commun : 20-50 %, commun : 5-20 %, rare : 1-5 % et très rare : inférieur à 1 %.
- 150,35 m : 0,8 cm; échantillon orienté; pélophyllades gris clair avec niches hexagonales orientées perpendiculairement au plan de sédimentation et concentration d'algues sédentaires décalottées au sommet; pélophyllades à laminations peu individualisées; passée micropsammitique; pélophyllades gris foncé; lits parallèles.
  - Palynologie : spores dominantes, acritarches communs, chitinozoaires rares, larves de graptolithes très rares.
- 150,50 m<sup>x</sup>: 0,9 cm; échantillon orienté; pélophyllades gris clair avec concentration d'algues sédentaires décalottées au sommet; pélophyllades laminés avec graptolithes. Lits parallèles. Larves de graptolithes, chitinozoaires et spores minéralisés.
  - Palynologie : spores dominantes, acritarches et chitinozoaires communs, larves de graptolithes très rares.
- 151,50 m : 1,7 cm; échantillon non orienté; pélophyllades gris foncé.
- 153,50 m : 1,8 cm; échantillon non orienté; pélophyllades gris foncé; pélophyllades gris clair avec algues sédentaires sphériques dispersées; micropsammites avec niches hexagonales sans orientation préférentielle; pélophyllades gris clair; lits parallèles.
- 154,50 m : 0,8 cm; échantillon non orienté; pélophyllades gris clair avec niches hexagonales orientées perpendiculairement au plan de sédimentation et graptolithes dispersés.
  - Palynologie : acritarches dominants, spores et chitinozoaires communs, scolécodontes et larves de graptolithes très rares.

47, 10

47. 10

- 160 m : 0,8 cm; échantillon non orienté; pélophyllades gris clair avec niches hexagonales orientées perpendiculairement au plan de sédimentation.
- 161,50 m : 1,2 cm; échantillon non orienté; pélophyllades gris clair avec niches hexagonales perpendiculaires au plan de sédimentation, passées micropsammitiques avec graptolithes et niches hexagonales sans orientation préférentielle; rupture d'équilibre post-sédimentaire dans les passées micropsammitiques.
- 163 m : 8,2 cm; échantillon orienté; pélophyllades laminés avec concentration de graptolithes; pélophyllades gris clair avec concentrations locales de pyritosphères, algues sédentaires sphériques rares à la base et concentrées au sommet; pélophyllades à laminations nettes ou estompées avec passées micropsammitiques, niches hexagonales parallèles au plan de sédimentation, concentration de graptolithes; lits parallèles.
  - Palynologie : spores dominantes, acritarches rares, chitinozoaires et larves de graptolithes très rares dans les pélophyllades laminés.
- 164 m : 3.2 cm; échantillon non orienté; pélophyllades laminés à laminations distinctes ou formant transition avec des pélophyllades gris foncé contenant des niches hexagonales sans orientation préférentielle; intercalation de pélophyllades gris clair avec niches sans orientation préférentielle; graptolithes dans tous les facies; lits parallèles.
- 164,50 m : 1,5 cm; échantillon non orienté; pélophyllades laminés avec graptolithes; intercalation de pélophyllades à laminations estompées et de micropsammites contenant des niches hexagonales sans orientation préférentielle; lits parallèles.
  - Palynologie : spores dominantes, larves de graptolithes rares; acritarches et chitinozoaires très rares.
- 165 m : 2,5 cm; échantillon orienté; pélophyllades gris foncé passant aux pélophyllades laminés; les straticules claires à base de ces derniers sont micropsammitiques, elles présentent une démarcation nette avec la straticule foncée sous-jacente et progressive avec celle sus-jacente; lit secondairement minéralisé; pélophyllades à laminations estompées contenant des graptolithes; lits parallèles.
- 165,50 m : 7,3 cm; échantillon orienté; pélitopsammites; psammites fins avec foraminifères au sommet et intercalation de pélophyllades gris foncé à graptolithes; pélophyllades gris foncé avec passées micropsammitiques à la base; la distribution des lentilles de feuillets de chlorite-muscovite y imite celle d'un « graded bedding »; pélophyllades laminés avec graptolithes et foramini-

7

fères, les laminations claires offrent une délimitation nette avec la lamination noire sous-jacente et progressive avec la lamination noire sus-jacente; pélophyllades gris clair avec concentration d'algues sédentaires sphériques et décalottées au sommet; pélophyllades laminés à foraminifères, les laminations claires contiennent des niches hexagonales orientées parallèlement au plan de la sédimentation; lit psammitique fin secondairement minéralisé; pélophyllades gris foncé à foraminifères; graptolithes dans tous les facies mais plus abondants dans les pélophyllades laminés. Lits parallèles.

- Palynologie : acritarches dominants, chitinozoaires rares et spores très rares dans les psammites fins.
- 166 m : 3,5 cm; échantillon non orienté; pélitopsammites secondairement carbonatés; calcite en « cone-in-cone »; niches hexagonales presque perpendiculaires au plan de sédimentation; fantômes carbonatés d'organismes ou de fragments d'organismes indéterminés.
  - Palynologie : acritarches, chitinozoaires et spores présents mais trop fragmentaires que pour permettre des comptages.
- 167 m : 2,5 cm; échantillon non orienté; pélophyllades laminés avec passage progressif aux pélophyllades gris foncé. Niches hexagonales sans orientation préférentielle et graptolithes rares dans tous les facies; foraminifères abondants dans tous les facies. Lits parallèles.
- 167,50 m : 2,5 cm; échantillon non orienté; pélophyllades laminés avec graptolithes dans les lits noirs et intercalations espacées de lits micropsammitiques. Lits parallèles.
- 168 m : 2,2 cm; échantillon non orienté; pélophyllades laminés avec concentration de graptolithes dans les lits noirs. Lits parallèles.
  - Palynologie : spores dominantes, acritarches rares, chitinozoaires et larves de graptolithes très rares.
- 168,50 m : 1,6 cm; échantillon non orienté; pélophyllades gris foncé avec intercalations de lits micropsammitiques; pélophyllades à laminations peu individualisées et à graptolithes. Lits parallèles.
- 169 m : 2,9 m; échantillon non orienté; pélophyllades laminés avec concentration de graptolithes; pélophyllades gris clair avec algues sédentaires sphériques.
- 169,50 m : 1,4 cm; échantillon non orienté; pélophyllades gris foncé; passage progressif aux pélophyllades laminés avec concentration de graptolithes; passage progressif aux pélophyllades gris foncé; lit psammitique secondairement minéralisé; pélophyllades gris foncé; lits parallèles.

47, 10

- 170,50 m<sup>x</sup> : 2,8 cm; échantillon orienté; pélophyllades gris foncé; micropsammites à psammites fins avec intercalations régulièrement espacées de lits contenant de la pyrite, des carbonates et de la silice authigènes, leur épaisseur diminue progressivement vers le haut; passage progressif aux pélophyllades à laminations estompées contenant des graptolithes dispersés. Lits parallèles. Acritarches, chitinozoaires, larves de graptolithes et spores minéralisés.
  - Palynologie : spores dominantes, acritarches rares, chitinozoaires et larves de graptolithes très rares dans les pélophyllades laminés.
- 171 m : 1 cm; échantillon orienté; pélophyllades gris foncé; pélophyllades gris clair contenant des algues sédentaires à concentation croissante vers le haut, les formes décalottées sont limitées à la partie supérieure; pélophyllades à laminations estompées et concentration de graptolithes. Lits parallèles.
- 171,50 m : 1,5 cm; échantillon non orienté; pélophyllades gris clair avec concentrations locales de pyritosphères; algues sédentaires sphériques; niches hexagonales orientées perpendiculairement au plan de sédimentation.
- 172 m : 1,3 cm; échantillon non orienté; pélophyllades gris clair avec concentrations locales de pyritosphères; formes en fuseau rares.
- 174 m : 1,2 cm; échantillon non orienté; pélophyllades gris clair avec intercalations de lits micropsammitiques; niches hexagonales orientées perpendiculairement au plan de sédimentation.

Palynologie : acritarches dominants, spores et chitinozoaires rares, scolécodontes et larves de graptolithes très rares.

- 174,50 m : 1,7 cm; échantillon non orienté; pélophyllades gris clair avec algues sédentaires sphériques et niches hexagonales orientées perpendiculairement au plan de sédimentation.
- 176,50 m : 1,7 cm; échantillon orienté; micropsammites avec intercalations de pélophyllades laminés, lits croisés et niches hexagonales orientées parallèlement aux traces de courant; micropsammites sans trace de courant et avec niches hexagonales orientées perpendiculairement par rapport au plan de sédimentation.
- 176,60 m : 1,8 cm; échantillon orienté; pélophyllades gris clair avec concentration d'algues sédentaires sphériques au sommet; pélophyllades gris foncé à laminations estompées contenant des graptolithes et à intercalations micropsammitiques secondairement minéralisées; alternance de pélophyllades gris clair et gris foncé. Lits parallèles.

9

- Palynologie : spores dominantes, acritarches, chitinozoaires et larves de graptolithes très rares dans les pélophyllades gris foncé à laminations estompées.
- 178 m : 1 cm; échantillon orienté; pélophyllades gris clair avec concentration d'algues sédentaires sphériques et décalottées; formes en fuseau rares.
- 178,50 m : 1,1 cm; échantillon non orienté; pélophyllades gris clair et micropsammites; niches hexagonales formant un angle de 90 à 70° avec le plan de sédimentation.
  - Palynologie : acritarches dominants, chitinozoaires communs; spores rares.
- 180,50 m : 0,8 cm; échantillon non orienté; pélophyllades gris clair avec algues sédentaires sphériques dispersées; psammites fins; pélophyllades laminés; micropsammites avec graptolithes et concentration locale de pyritosphères. Lits parallèles.
  - Palynologie : spores dominantes, chitinozoaires communs, acritarches rares, scolécodontes et larves de graptolithes très rares.
- 181,50 m : 0,8 cm; échantillon non orienté; pélophyllades gris clair; algues sédentaires sphériques dispersées; formes en fuseau concentrées; niche hexagonale orientée obliquement au plan de sédimentation.
- 182,50 m : 1,2 cm; échantillon non orienté; pélophyllade gris clair avec concentration d'algues sédentaires et de formes en fuseau.
- 183 m : 1 cm; échantillon orienté; pélophyllades gris clair avec concentration de formes en fuseau et intercalation micropsammitique; niches hexagonales orientées perpendiculairement au plan de sédimentation.
  - Palynologie : acritarches dominants, spores et chitinozoaires rares, larves de graptolithes très rares.
- 184 m : 2,3 cm; échantillon non orienté; pélophyllades gris clair avec concentrations locales de pyritosphères; bioturbations d'origine indéterminée; niches hexagonales perpendiculaires au plan de sédimentation.
- 185 m : 2 cm; échantillon non orienté; pélophyllades gris clair avec concentration d'algues sédentaires et de formes en fuseau.
- — 186 m : 2 cm; échantillon non orienté; pélophyllades gris clair avec concentrations locales de pyritosphères; algues sédentaires sphé-riques dispersées.

Palynologie : acritarches dominants, chitinozoaires rares, spores et larves de graptolithes très rares.

- 186,10 m<sup>x</sup> : 2 cm; échantillon non orienté; pélophyllades laminés à graptolithes concentrés; lits parallèles; spores, larves de graptolithes et acritarches minéralisés.
  - Palynologie : spores dominantes, acritarches rares, chitinozoaires et larves de graptolithes très rares.
- 186,50 m<sup>x</sup> : 1,5 cm; échantillon non orienté; pélophyllades gris clair, dispersion d'algues sédentaires sphériques, de graptolithes et de formes en fuseau; niches hexagonales perpendiculaires ou obliques au plan de sédimentation. Acritarches minéralisés.

## VI. FOSSILES A PAROI ORGANIQUE

## 6.1. Acritarches, chitinozoaires, larves de graptolithes et spores

Les acritarches, les chitinozoaires, les spores et les larves de graptolithes sont comprimés dans le liant phylliteux et se reconnaissent aisément en lames taillées parallèlement au plan de sédimentation. Les scolécodontes, très rares dans les préparations palynologiques, n'ont pas été retrouvés in situ dans le sédiment. Les lames orientées perpendiculairement au plan de sédimentation présentent des lits organiques indéterminables (épaisseur 0,5 à 4  $\mu$ , longueur maximum de quelques centaines de  $\mu$ ); seuls des fragments d'acritarches y sont parfois identifiables.

En lames minces polies les divers groupes de microfossiles sont dispersés sans association préférentielle dans les pélophyllades plus ou moins psammitiques. Par contre, les spores et les larves de graptolithes sont particulièrement concentrées dans les pélophyllades foncés, laminés ou non.

Les microfossiles ne présentent jamais de groupements organisés d'origine biogène. Ils peuvent servir d'hôtes à des minéraux authigènes. Le quartz se développe dans les déchirures des corps centraux. Des cristaux individualisés de pyrite et des pyritosphères (Pl. II, fig. 6) envahissent les membranes. La pyritisation de l'hôte ne laisse subsister que d'étroites bandes  $(1-3 \ \mu)$  de matière organique. Un même microfossile peut présenter des pyritosphères complètes, recristallisées ou non  $(2-12 \ \mu$ , généralement  $6\mu$  de diamètre), des cristaux de pyrite  $(0,2 \ a \ 3 \ \mu)$  et des orifices circulaires ou polygonaux laissés après l'évacuation de la pyrite sous l'une ou l'autre forme. R. NEVES et H. J. SULLIVAN (1964) ont mis en évidence, par étude comparée de résidus palynologiques oxydés et non oxydés, des modifications analogues dans l'exine de spores carbonifères.

47, 10

En préparation palynologique, la matière organique est corrodée et souvent noirâtre. En particulier, l'opacification des chitinozoaires, des larves de graptolithes et des spores est totale et n'est améliorée ni par oxydation chimique ni par l'observation en lumière infra-rouge. La couleur des membranes des acritarches varie du jaune-vert pâle au brun foncé; leur état de conservation passe des stades  $N_1$  à  $N_5$  décrits par M. CORREIA (1967). D'après la couleur foncée des débris sapropéliques associés, l'index thermique du sédiment est élevé et se situe, dans l'échelle publiée par F. L. STAPLIN (1969) entre 3,7 et 4.

Les représentants de chaque groupe de microfossiles peuvent présenter des membranes criblées de perforations circulaires ou polygonales, isolées ou contiguës. Les individus dont la taille dépasse 50  $\mu$  en offrent des exemples particulièrement démonstratifs.

#### 6.2. Spores

Les Leiotriletes sp., initialement globuleuses et à membrane lisse, sont d'un diamètre de 40 à 150  $\mu$ . Seule l'observation au microscope électronique à balayage (Pl. I, fig. 1) permet de mettre en évidence une fine marque trilète qui, sur les exemplaires aplatis se présente le plus souvent comme une ouverture triangulaire où des commissures prolongent chacun des angles.

Par analogie avec les spores trilètes modernes connues chez les mousses et les fougères mais non chez les algues, on admet généralement que les spores trilètes fossiles ont une origine terrestre. Leur présence dans le Paléozoïque inférieur a longtemps été un sujet controversé mais des documents convaincants ont été publiés par A. COMBAZ (1967) pour le Trémadoc et W. S. HOFFMEISTER (1959) pour le Llandovery.

Les pyritosphères recouvrent superficiellement la membrane des Leiotriletes sp. ou s'y incrustent ainsi que A. COMBAZ (1970) l'a montré pour du kérogène d'âge silurien et permien. La pyrite s'inscruste dans le support organique de la même manière que dans les exines carbonifères et liasiques (L. G. LOVE, 1962).

Les orifices circulaires dus aux pyritosphères ressemblent à ceux qui affectent des chitinozoaires (A. EISENACK 1931, 1932, 1955, 1968, W. A. M. JENKINS 1967, S. LLAUFELD 1967) et que les auteurs attribuent à des parasites d'origine indéterminée. On peut aussi en rapprocher les perforations de « plaques » ordoviciennes illustrées par P. TAUGOURDEAU (1965).

## 6.3. Rhabdosomes de graptolithes

Les graptolithes sont les seuls macrofossiles observés en lame mince. Surtout dérivés dans les pélophyllades foncés, ils ont une forme allongée parallèle au plan de sédimentation. La longueur varie de 0,1 à 5,5 mm et la largeur de 20 à 260  $\mu$ . La paroi forme un liséré épais de 2 à 4  $\mu$ ; elle est conservée à l'état de matière organique, parfois très localement pyritisée. La cavité interne est toujours remplie de feuillets micacés (Pl. III, fig. 17) disposés en parallèle ou en éventail et dont le radiogramme est celui de la muscovite.

## 6.4. Paléophycées

47, 10

Les pélophyllades gris clair, de type pélitique, à l'exclusion de tout autres facies présent dans le sondage de Deerlijk 83-E-404, contiennent des organismes globuleux et minéralisés (Pl. III, fig. 18). Les caractères suivants indiquent leur origine biogène; — bioturbations périphériques, témoignant d'une vie sédentaire; — enlèvement d'une calotte polaire, toujours orientée vers la partie supérieure du dépôt et suggérant un stade de maturation ou de reproduction — vestiges possibles mais rares de matière carbonée.

Ces formes, d'affinité algaire probable, se rangent parmi les *Pictonicopila* DEFLANDRE et TERS 1966. Les caractères diagnostiques de *P. dinae* nov. sp. sont solidaires des caractères pétrographiques du sédiment encaissant. La minéralisation importante, souvent complète, empêche de retrouver ces paléophycées dans les résidus palynologiques.

# Pictonicopila dinae nov. sp. (Pl. II, fig. 8 à 11; Pl. III, fig. 12 et 14.)

Holotype (Pl. III, fig. 12 et 14). — Préparation P<sub>1</sub> I. R. Sc. N. B. Localité-type. — Sondage de Deerlijk 83-E-404 : 150,35 m. Horizon-type. — Llandovery inférieur, zone 16 à A. acuminatus. Derivatio nominis. — L'espèce est dédiée à DINA JEDWAB. Localités. — Deerlijk 83-E-404 : -150,35 m, -150,50 m, -163 m, -165,50 m, -171 m, -174,50 m, -176,60 m, -178 m, -180,50 m, -182 m, -182,50 m, -185 m, -186,50 m.

Diagnose (basée sur la description de 141 exemplaires).

Les organismes globuleux, à paroi organique, sont formés d'assemblages de sphérules plus petites. Le diamètre total varie de 50 à 1.100  $\mu$  et est généralement de 300-400  $\mu$ . Le diamètre des sphérules, compris entre 8 et 30  $\mu$ , est sensiblement constant au sein d'un même organisme. Il est compris entre le 1/5 et le 1/10 du diamètre total.

Le contour extérieur est lisse ou offre des protubérances convexes calquant celui des sphérules périphériques.

Les organismes localisés dans les pélophyllades gris clair immédiatement surmontés de pélophyllades laminés et dont le diamètre dépasse 250  $\mu$  peuvent présenter l'enlèvement d'une calotte polaire supérieure. Le diamètre de celle-ci est compris entre 4/5 et 1/3 du diamètre total du spécimen.

## Remarques :

1° Divers minéraux occupent les petites sphérules et les interstices qui les séparent en respectant la morphologie initiale. Ce sont : le liant phylliteux, des cristaux de pyrite, des pyritosphères, des plaquettes de muscovite empilées en parallèle ou en éventail et plus rarement du carbonate microcristallin et du quartz. Ce dernier se présente le plus souvent en cristaux authigènes et engrenés et masque l'organisation originale. Un même organisme peut contenir les divers types de minéraux détritiques et authigènes. Les *P. dinae* entièrement pyritisés se reconnaissent, en lumière transmise, aux bioturbations qui les entourent.

2° *P. dinae* se distingue de *P. polymorpha* DEFL. & TERS 1966 par une taille absolue sensiblement supérieure (50-1.100  $\mu$  au lieu de 3 à 60  $\mu$ ) et par des sphérules constitutives relativement plus grandes (1/10 au lieu de 1/20 du diamètre total, en se basant sur les holotypes respectifs).

 $3^{\circ}$  La morphologie des *P. dinae* évoque celle d'organisations pluricellulaires de phytomonadines chez qui les coenobes sédentaires sont surtout connus en période de vie défavorable. Toutefois chez certaines *Volcocidae*, l'immobilisation de la colonie-mère va de pair avec la libération de jeunes colonies-filles (J. PAVILLARD dans GRASSÉ 1952, I, 1, p. 186). Une comparaison étroite n'est cependant pas justifiée avec cette famille, où les cellules sont disposées en cortex et où l'évacuation des coloniesfilles s'accompagne de larges déchirures et non de l'enlèvement massif d'une calotte polaire orientée. *P. dinae*, de par ses bioturbations et sa localisation lithologique, témoigne d'une vie benthique en conditions oxygénées. La distribution des formes décalottées suggèrent une modification du cycle biologique à l'annonce du milieu réducteur qui permettra l'enregistrement des pélophyllades laminés.

## 6.5. Relation entre taphocoenoses et microfacies

La combinaison des données palynologiques et pétrographiques permet d'établir certaines relations préférentielles entre les taphocoenoses et le sédiment qui les inclut.

Les acritarches sont les plus abondants dans les pélophyllades gris clair; ils dominent aussi dans les assemblages plus pauvres dégagés à partir de micropsammites et de psammites fins.

Les chitinozoaires sont toujours en faible quantité et sont le mieux représentés dans les pélophyllades gris clair. Les scolécodontes sont présents mais très rares dans tous les facies sauf dans les pélophyllades laminés où ils sont absents. Les graptolithes et leurs larves sont présents dans tous les facies mais généralement plus abondants dans les pélophyllades à laminations nettes ou estompées. Les paléophycées benthiques sont strictement localisées dans les pélophyllades gris clair. Leur concentration à laquelle participent de nombreuses formes matures est toujours

immédiatement et brusquement surmontée de pélophyllades à laminations nettes ou estompées. Les spores trilètes sont présentes dans tous les facies mais plus abondantes dans les pélophyllades foncés, laminés ou non.

## VII. FOSSILES A PAROI MINERALE

## 7.1. Foraminifères

47, 10

Les foraminifères (Pl. III, fig. 16) sont observés, en lame mince, à -165,50 m et -167 m dans les psammites fins, les pélophyllades gris homogènes ou laminés.

Leur forme est ellipsoïdale; le grand axe varie de 90 à 400  $\mu$  et vaut approximativement le double du petit axe. En section transversale, le diamètre des chambres correspond au dixième du diamètre total. La minéralisation secondaire est constante et masque le plus souvent l'organisation originale; elle consiste en carbonate et en quartz microcristallins et en feuillets micacés.

Aucune détermination n'est proposée.

La répartition des foraminifères, indépendante du facies et limitée à deux niveaux seulement, suggère qu'ils sont dérivés dans le sédiment.

## 7.2. Formes en fuseau

Les lames minces taillées dans les pélophyllades gris clair provenant de la moitié inférieure du sondage contiennent généralement des formes régulières étirées en fuseau. Elles sont isolées ou croisées par deux (Pl. III, fig. 13) formant un angle de 30-40°. La longueur d'un fuseau est de 0,24 mm à 1,50 mm, approximativement six fois la largeur.

Les fuseaux sont minéralisés en carbonate microcristallin ou en pyrite; plus rarement, ils sont remplis de liant phylliteux ou de silice microcristalline et quartzitique.

Ils offrent, par les dimensions et silhouettes, des analogies avec des mégasclères monaxones et diaxones d'éponges.

## VIII. NICHES A SECTION HEXAGONALE

L'usure progressive des échantillons de roches parallèlement et perpendiculairement au plan de sédimentation met en évidence des cavités en forme de prismes hexagonaux à 1 ou 2 bases pyramidées. Leur longueur est de 0,3 à 1,8 mm et vaut de 2 à 4 fois la largeur.

Dans les pélophyllades à sédimentation pélitique et monotone, le grand axe est très redressé par rapport au plan de sédimentation; il forme avec ce dernier un angle de 90 à 70°. Le liant phylliteux est régulièrement disposé dès la périphérie des cavités.

15

Dans les pélophyllades présentant des ruptures d'équilibre postsédimentaires, dans les micropsammites et psammites fins, les cavités sont généralement déformées et basculées, sans orientation préférentielle quand le grand axe est encore décelable.

Dans les micropsammites présentant des traces de courant et les pélophyllades laminés, les cavités qui ont conservé leur symétrie présentent l'axe hexagonal parallèle à ces traces ou aux laminations.

Ces niches sont assez communes  $(0,1-0,7/cm^3)$  dans les pélophyllades gris clair et les micropsammites; elles sont rares dans les autres facies.

Le bord de la cavité (Pl. II, fig. 5 et 7) est d'une épaisseur de quelques  $\mu$  à 80  $\mu$ . Il est généralement formé de minéraux peu individualisés, brunâtres à peine transparents. La concentration de ces minéraux en amas linéaires calquant le contour des cavités indiquent qu'ils sont néoformés.

Y sont reconnus :

- des carbonates microcristallins;

- de la « blende » (?), en grains plus ou moins fibreux, à contour hérissé d'arêtes vives. Elle épouse étroitement le contour des lentilles de feuillets de chlorite; elle les emballe partiellement ou complètement en respectant leur orientation originale ou en la modifiant de peu;
- du rutile : en aiguilles, longues de quelques  $\mu$  à 20  $\mu$  et parfois géniculées; elles sont perpendiculaires à la paroi d'implantation formée de « blende » (?).

L'intérieur de la cavité est complètement rempli de minéraux détritiques ou authigènes.

Le liant phylliteux est d'une composition apparemment semblable à celle du liant extérieur; on y trouve les mêmes minéraux allogènes ou authigènes, des acritarches et des spores sédimentés. Exceptionnellement, une coloration plus brunâtre l'en différencie. Les traces originales de la sédimentation y sont conservées; elles se marquent en lumière normale par l'orientation des plaquettes de muscovite détritique et en lumière polarisée par l'extinction synchrone généralisée.

Le liant phylliteux qui remplit les cavités à allongement oblique par rapport à la sédimentation présente cette même obliquité. Si on imagine la niche redressée perpendiculairement, l'orientation du liant de remplissage devient parallèle à celle du liant périphérique.

Les lentilles de feuillets de chlorite-muscovite, à grand axe et feuillets parallèles à la sédimentation dans l'ensemble du liant argileux, présentent une disposition identique à l'intérieur des cavités quelle que soit l'orientation de ces dernières. Elles se sont formées après le déséquilibre de la niche.

La pyrite se présente le plus souvent en cristaux d'une centaine de microns à section cubique. La calcite microcristalline est orientée en plages à section nette. Le quartz se forme toujours en phases succes-

sives de cristaux idiomorphes. La calcite et le quartz peuvent englober localement du liant phylliteux et de la pyrite.

Les cristaux de quartz peuvent présenter des inclusions de liant phylliteux où les traces de sédimentation originale sont préservées. Ils sont toujours disposés en auréoles périphériques par rapport au carbonate; ceux en contact avec le bord de la niche peuvent inclure des aiguilles de rutile perpendiculaires à cette dernière.

Ces observations établissent les faits suivants :

- Les prismes hexagonaux à 1 ou 2 bases pyramidées et à grand axe implanté perpendiculairement sur le fond marin, sont présents lors du dépôt.
- Leur contenu s'élimine rapidement et les éléments détritiques s'accumulent dans les cavités.
- Les prismes ont été basculés dans les sédiments dérangés alors qu'ils possédaient encore une paroi solide.
- Au cours de la diagenèse, plusieurs générations de cristallisations se forment à partir de solutions migrantes. La pyrite, la calcite et la silice apparaissent successivement.
- La genèse des parois minérales s'effectue après celle des lentilles de feuillets de chlorite-muscovite, d'abord la « blende » (?) en grains fibreux plus ou moins agglomérés, ensuite le rutile en aiguilles.

Dans un milieu sédimentaire marin, seuls les cristaux de quartz ou d'apatite, en raison de leur forme hexagonale, pourraient être responsable de ces géodes; mais il faudrait alors supposer que les conditions chimiques, à quelques mm d'enfouissement, se modifient assez brutalement pour entraîner une vidange rapide et sélective de ces cristaux.

Les niches à section hexagonale ont plus probablement une origine biogène; les arguments sont les suivants :

- leur forme initiale est respectée sans que le contexte minéral encaissant soit affecté par les conditions qui éliminent leur contenu (à noter que la nature originale de la paroi diagénisée surtout en « blende » (?) et en rutile est inconnue);
- leur genèse implique des conditions dynamiques stables et un fond oxygéné. En effet leur localisation et orientation originales ne sont simultanément préservées que dans les pélophyllades gris clair à vie benthique active et dans les micropsammites à dépôt monotone.

Les niches hexagonales suggèrent une analogie avec les éponges siliceuses paléozoïques de la famille des *Dictyospongidae*. En particulier, les *Prismodictya cercidea* HALL & CLARKE 1898, sont fusiformes, prismatiques et d'une longueur de 5 à 6 cm; leur ouverture, étroite et contractée, ne permet guère de distinguer entre elles les extrémités basale et aper-

17

47, 10

turale. Si leur coupe longitudinale peut ressembler à celle des cavités minéralisées, les sections transversales s'en différencient par une forme octogonale.

## IX. ESTIMATION DU DEGRE D'EVOLUTION DU SEDIMENT

La recristallisation des niches à section hexagonale permet d'estimer partiellement l'ordre d'apparition des minéraux authigènes : pyrite, calcite et quartz d'une part et chlorite-muscovite, « blende » (?) et rutile d'autre part. Les observations ne permettent pas d'établir la préséance d'apparition entre ces deux séries. Le quartz et le rutile, apparus respectivement en dernier lieu, peuvent se former en cours de diagenèse. En particulier, C. SOROTCHINSKY (1942) a montré que le rutile authigène est abondant dans les roches du Paléozoïque belge où il a pu se former sous conditions de basses températures et de faibles pressions.

Les principaux minéraux authigènes qui participent à la fossilisation de la matière organique sont la pyrite et la muscovite. On sait que la première se développe dans les hôtes biogènes, sous conditions réductrices, à un stade précoce de l'enfouissement (L. G. LOVE et J. W. MUR-RAY, 1963).

Les paléophycées benthiques conservent leur morphologie et volume initiaux par pyritisation de la cavité interne; elles sont présentes dans le sédiment avant que se forment les pyritosphères.

Les acritarches, les chitinozoaires, les larves de graptolithes et les spores sont pyritisés au niveau des membranes et non des cavités internes. Cette localisation préférentielle indique que les microfossiles sont déjà aplatis lorsqu'ils se déposent sur le fond marin et que leur compaction est indépendante de la diagenèse subie par le sédiment encaissant.

La minéralisation en muscovite se développe dans les cavités internes de rhabdosomes de graptolithes et de paléophycées sédentaires. Elle se situe dans une zone à chlorite développée; l'organisation en feuillets de la muscovite et de la chlorite suggère une diagenèse assez avancée.

La coloration de la matière organique est souvent foncée. Si l'on suppose qu'elle est un reflet correct du degré de carbonisation, la température subie après enfouissement peut se situer, d'après les données de M. CORREIA (1967), entre 100 et 180° correspondant à une profondeur de 3 000 à 5 500 m pour un degré géothermique moyen.

En résumé, l'évolution de la roche appartient au domaine de la diagenèse avancée telle qu'il est compris par G. Müller (1967).

#### X. VARVES

Les pélophyllades laminés (Pl. I, fig. 4) ont macroscopiquement un aspect noirâtre. Ils sont, à l'échelle microscopique, formés par une alternance de laminations claires et de laminations foncées. L'épaisseur des premières varie de 120 à 300  $\mu$  (mode de 155  $\mu$ ), celle des secondes est de 65 à 120  $\mu$  (mode de 95  $\mu$ ) d'après les mesures effectuées sur 100 paires de laminations.

Les pélophyllades laminés montrent des transitions, vers le haut et vers le bas, uniquement avec des pélophyllades gris foncé homogène ou à laminations estompées; ils sont brutalement interrompus soit par des micropsammites-psammites fins soit par des pélophyllades gris clair.

Les pélophyllades à laminations individualisées se retrouvent dans tout le sondage mais sont le mieux représentés de -163 m à -165,50 m et de -166,90 à -171,25 m où leur enregistrement continu atteint 2 cm d'épaisseur. Ces sections sont toutefois trop courtes et trop discontinues pour apprécier si les variations d'épaisseur des laminations s'effectuent selon un cycle régulier.

Les laminations sombres sont pourvues d'un feutrage colloïdal et dense de paillettes micacées, de petites aiguilles de rutile, d'amas de « blende » (?) auquel s'ajoutent de la pyrite et de la matière organique. On peut aussi y trouver des grains dispersés de quartz et de feldspaths plagioclases dont la taille atteint 90  $\mu$ . Les leiotrilètes y sont particulièrement abondantes.

Les laminations claires présentent le plus souvent une granularité semblable à celle des laminations foncées; les mêmes minéraux détritiques et authigènes sont présents. Les différences de coloration sont imputables, dans l'ordre d'importance décroissante, à la répartition du feutrage colloïdal, de la matière organique et de la pyrite. Ces caractères pétrographiques présentent des analogies avec ceux de schistes laminés du Carbonifère marin (D. A. SPEARS, 1969) où les lits foncés doivent leur coloration à la concentration d'argile flocculée sous forme de lentilles brunâtres.

Généralement les pélophyllades laminés de Deerlijk ne présentent aucun « graded bedding ». Seuls des cas particuliers d'enregistrement (à -165 m et à -165,50 m) permettent de proposer l'orientation des couples « lit clair - lit foncé ». Lorsque les laminations claires dépassent 250  $\mu$  d'épaisseur, elles peuvent présenter une démarcation nette avec la lamination foncée sous-jacente et progressive avec celle sus-jacente.

La finesse, la conservation régulière et la récurrence des laminations ainsi que l'uniformité généralisée de leur fraction minérale suggèrent des dépôts varvaires sur fond réducteur. L'étude micropaléontologique confirme la formation annuelle d'un couple de laminations. Les taphocoenoses des laminations foncées, comme il a déjà été dit, sont dominées par des spores trilètes vraisemblablement d'origine continentale tandis que les microfossiles marins y sont relativement rares. La concentration des léiotrilètes indique des amenées annuelles d'origine terrestre plutôt que d'origine marine.

Cette interprétation réunit certaines données apparemment contradictoires concernant l'origine de varves marines non glaciaires.

47, 10

Depuis W. H. BRADLEY (1931), les auteurs (cf. P. DUFF, A. HALLAM & E. K. WALTON, 1967, pour la liste des travaux) admettent généralement que les dépôts marins non soumis à l'action des marées ou de glaciers et à laminations alternativement riches et pauvres en matière organique correspondent aux dépôts saisonniers du plancton marin.

S. E. CALVERT (1966), en conclusion à une étude de varves formées au centre du Golfe de Californie et riches en diatomées, propose une origine différente des laminations. La production planctonique y est à peu près constante pendant toute l'année; le facteur variable réside en l'apport minéral brusquement important des rivières en été.

A Deerlijk, les constituants des varves auraient également une origine continentale mais l'accroissement saisonnier de l'apport terrigène se marque surtout au niveau de la fraction organique et non de la fraction minérale.

## XI. RYTHMES

R. LEGRAND (1966) a mis en évidence la sédimentation rythmique, à l'échelle décimétrique, du sondage de Deerlijk 83-E-404 entre -150-162,80 m et -171,40 -188,25 m. Elle se retrouve aussi entre -163 -165,50 m et -166,90 -171,25 m où elle présente le même ordre séquentiel du grès au schiste laminé mais avec une représentation plus développée de ce dernier.

Chacun des facies se répète au long de la stampe sauf celui des pélitopsammites qui est unique entre -165,50 et -166,90 m.

L'analyse banc par banc des formations n'est pas envisagée dans ce travail. Les observations portent sur les facies les plus pélitiques et les résultats concernent les rythmes dont l'épaisseur varie de quelques centimètres au décimètre.

Seules les observations reproductibles tout au long de la stampe servent à définir l'unité sédimentaire rythmique. Pour cette raison, les foraminifères et les formes en fuseau, dont la localisation préférentielle n'est pas récurrente, sont écartés. Il en est de même pour les concentrations de pyrite et de pyritosphères. Généralement plus abondantes dans les varves, elles peuvent néanmoins se retrouver dans tout autre facies qui leur est adjacent. Cette distribution relativement ubiquiste peut s'expliquer par la migration, à un stade précoce de la diagenèse, du fer et des sulfures dissous dans les sédiments à faible teneur en fer (B. BERNER, 1969).

La caractérisation de l'unité sédimentaire la plus complète s'établit comme suit, du bas vers le haut :

— Facies 1 : psammite fin installé brusquement et passant progressivement au micropsammite; traces de courant et phénomènes de flux possibles; niches hexagonales fréquentes mais à orientation originale rarement préservée; taphocoenose pauvre où dominent les acritarches.

Passage progressif de 1 à 2.

47, 10

- Facies 2 : pélophyllade gris foncé, homogène; niches hexagonales rares à orientation originale généralement non préservée; taphocoenose riche par l'abondance de spores trilètes.
   Passage progressif de 2 à 3.
- Facies 3 : pélophyllade à laminations estompées.
   Passage progressif de 3 à 4.
- Facies 4 : pélophyllade à laminations distinctes; varves dont l'épaisseur annuelle à l'état compacté est de 250  $\mu$ .

3 et 4 ont en commun : des niches hexagonales très rares, à orientation originale non préservée et à axe hexagonal parallèle au plan de sédimentation, une taphocoenose riche par l'abondance des spores trilètes, des rhabdosomes et des larves de graptolithes.

Contact abrupt de 4 à 5.

- Facies 5 : pélophyllade gris clair, vie benthique active : algues sédentaires; niches hexagonales fréquentes à orientation originale préservée; taphocoenose riche par l'abondance des acritarches et secondairement celle des chitinozoaires.
  - Contact abrupt de 5 à 2.
- Facies 2.
   Passage progressif de 2 à 3.
- Facies 3.
   Passage progressif de 3 à 4.
- Facies 4.

L'ordonnance successive des facies se définit comme suit : /1-2-3-4/5/2-3-4/1-2-3-4/5/2-3-4/1-2 ... La série /1-2-3-4/5/2-3-4 correspond à un rythme sédimentaire de premier ordre dans lequel le facies 4 correspond à l'enregistrement, déjà amorcé au facies 3, d'un rythme annuel de deuxième ordre.

## Origine estimée des différents facies

Les observations ne permettent pas de suggérer l'origine des psammites fins et des micropsammites (facies 1); ceci pour deux motifs : 1° le contenu micropaléontologique y est mal défini; 2° l'échantillonnage tronqué du sondage n'a pas permis de considérer, à titre comparatif, la relation entre quartzite et psammite fin dans les rythmes où le facies 1 dépasse 10 cm d'épaisseur.

Les pélophyllades gris foncé homogène (facies 2), les pélophyllades à laminations estompées (facies 3) et les varves (facies 4) présentent entre elles des formes de transition. L'abondance des spores trilètes implique une origine commune dont on peut supposer qu'elle réside en

21

l'apport terrigène annuel par des rivières. D'après les données rassemblées E. A. STANLEY (1966), l'abondance des spores continentales dans un facies pélitique peut cadrer avec une sédimentation en bordure de plate-forme continentale. Du facies 2 au facies 4, les dépôts s'effectuent sur des fonds progressivement de plus en plus réducteurs qui favorisent la conservation des graptolithes.

Les pélophyllades gris clair (facies 5) correspondent à l'injection brutale d'un sédiment qui installe des conditions oxygénées et qui est riche surtout en acritarches et secondairement en chitinozoaires.

Par analogie avec la sédimentation récente du bassin de Santa Barbara, dans le golfe de Californie (J. HUSELMAN & K.O. EMERY, 1961), on peut attribuer la formation du facies 5 à des courants de turbidité. En première hypothèse, des déséquilibres du bord de la plate-forme continentale, où se seraient accumulés les microfossiles marins peuvent être originellement responsables du dépôt des pélophyllades gris clair.

## XII. CONCLUSIONS

L'analyse simultanée des palynofacies et des microfacies de roches d'âge silurien inférieur (zone 16 des graptolithes, R. LEGRAND, 1966) met en évidence les compositions, conservations et localisations de taphocoenoses conservées à l'état de matières organiques et minérales, les phénomènes de diagenèse et deux ordres de rythmes sédimentaires.

L'approche palynologique révèle les acritarches, les chitinozoaires, les spores, les larves de graptolithes et les scolécodontes. L'étude pétrographique ajoute aux taphocoenoses les rhabdosomes de graptolithes, les paléophycées à membrane organique, *Pictonicopila dinae* nov. sp., les foraminifères et les spicules indéterminés. En outre des niches hexagonales, prismatiques, à base uni- ou bipyramidées et secondairement minéralisées sont considérées comme d'origine biogène.

Les dépôts pélitiques ont subi une diagenèse avancée. L'observation systématique des niches permet de mettre en évidence deux chaînes indépendantes d'apparition successive de minéraux authigènes : pyrite, calcite et quartz d'une part et lentilles de feuillets de chlorite-muscovite. « blende » (?) et rutile d'autre part.

La pyrite et la muscovite participent à la fossilisation de la matière organique souvent noirâtre. La compression de la matière organique dérivée dans le sédiment précède la diagenèse subie par ce dernier.

Un rythme sédimentaire de premier ordre, formé par cinq facies dont trois sont récurrents, est défini à l'échelle décimétrique.

Les varves, qui forment l'un des facies récurrents, correspondent au rythme sédimentaire de deuxième ordre. Leur épaisseur annuelle est, en moyenne, de 250  $\mu$ . L'abondance des spores trilètes y est caractéristique des laminations foncées; elle fait conclure à une modification saisonnière de l'apport continental dans la sédimentation marine.

#### 47, 10

#### REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée grâce à l'obtention d'un mandat de chargée de recherches du Fonds National de la Recherche Scientifique (F. N. R. S.). Les échantillons du sondage de Deerlijk m'ont été procurés par le Service Géologique de Belgique. Les observations au microscope électronique à balayage ont été effectuées dans le Service du professeur A. LAGASSE de l'Université de Gand, en collaboration avec Messieurs M. DE METS et A. BIELEN. L'étude pétrographique a été faite dans la section de Minéralogie et de Pétrographie de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique et dans le service de Géochimie de l'Université Libre de Bruxelles, où Monsieur R. VAN TASSEL et le professeur J. JEDWAB m'ont initiée à leurs méthodes d'analyse.

INSTITUT ROYAL DES SCIENCES NATURELLES DE BELGIQUE.

## INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

#### BERNER, R. A.

1969. Migration of iron and sulfur within anaerobic sediments during early diagenesis. (Amer. Journ. Sc., 267, 19-42, New-Haven.)

BRADLEY, W. H.

1931. Non-glacial marines varves. (Amer. Journ. Sc., 211, 318-330, New-Haven.) CALVERT, S.E.

1966. Origin of diatom-rich, varved sediments from the gulf of California. (Journ. Geol., 74, 546-555, Chicago.)

COMBAZ, A.

- 1964. Les Palynofaciès. (Rev. de Micropaléontologie, 7, 205-218, Paris.) 1967. Un microbios du Trémadocien dans un sondage d'Hassi-Messaoud. (Act. Soc. Linn. Bordeaux, 104, B, 26 pp., Bordeaux.)
- 1970. Microsphérules muriformes dans les roches-mères du pétrole : hypothèse sur leur origine. (C. R. Acad. Sc. Paris, 270, 2240-2243, Paris.)
- CORREIA, M.
  - 1967. Relations possibles entre l'état de conservation des éléments figurés de la matière organique (microfossiles palynoplanctologiques) et l'existence de gisements d'hydrocarbures. (Rev. Inst. fr. Pétrole et Ann. Comb. liq., XXII, 1285-1306, Paris.)
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. & ZUSMAN, J.
- 1962. Rock-forming minerals, 3, Sheets silicates. (270 pp. Longmans ed. London.) DEFLANDRE, G. & TERS, M.
- Sur la présence d'Acritarches ordoviciens dans les schistes subardoisiers de la 1966. région de la Mothe-Achard (Vendée). Extension du Silurien (grès armoricain et schistes d'Angers) en Vendée littorale. (C. R. Acad. Sc. Paris, 262, 237-240, Paris.)

DUFF, P. Mc. D., HALLAM, A. & WALTON, E.K.

1967. Cyclic sedimentation. (Developments in Sedimentology, 10, 280 pp., Elsevier, Amst., Lond. et N. Y.)

EISENACK. A.

- 1931. Neue Mikrofossilien des baltischen Silurs. I. (Palaeont. Z., 13, 74-118, Berlin.)
- Neue Mikrofossilien des baltischen Silurs. II. (Palaeont. Z., 14, 257-277, 1932. Berlin.)

- 1955. Chitinozoen, Hystrichosphären und andere Mikrofossilien aus dem Beyrichia-Kalk. (Senck. leth., 36, 155-188, Frankfurt a. M.)
- 1968. Über Chitinozoen des Baltischen gebietes. (Palaeontographica, 131, A, 5-6, 137-198, Stuttgart.)
- HALL, J. & CLARKE, J. M.
- 1898. The paleozoic reticulate Sponges constituting the family Dictyospongidae. (Univ. of the State of New York, Mem. II, 350 pp., New York & Albany.)
- HOFFMEISTER, W.S.
  - 1959. Lower silurian plant spores from Libya. (Micropaleontology, 5, 331-334, New York.)
- Hüselman, J. & Emery, K. O.

1961. Stratification in recent sediments of Santa Barbara basin as controlled by organism and water character. (Journ. Geol., 69, 279-290, Chicago.)

1966. Sondages à Deerlijk. (Prof. paper Serv. géol. de Belgique, 4, 16 pp., Bruxelles.) LLAUFELD, S.

1967. Caradocian Chitinozoa from Dalarna, Sweden. (G. F. F., 89, 279-349, Stockholm.)

LOVE, L.G.

1968. Early diagenetic iron sulphide of the Wash. (Sedim., 9, 327-352, Leyden.) LOVE, L. G. & MURRAY, J. W.

1963. Biogenic pyrite in recent sediments of Christchurch Harbour, England. (Amer. Jour. Sc., 261, 433-448, New-Haven.)

Міснот, Р.

1958. Classification et terminologie des roches lapidifiées de la série psammito-pélitique. (Ann. Soc. Geol. de Belgique, LXXXI, B. 311-342, Liège.)

MÜLLER, G.

1967. Diagenesis in argillaceous sediments. (Developments in Sedimentology, 8, 127-178, Elsevier, Amst., Lond. et N. Y.)

NEVES, R. & SULLIVAN, H. J.

1964. Modification of fossil spores exines associated with the presence of pyrite crystals. (Micropaleontology, 10, 443-452, New York.)

PAPUNEN, H.

PAVILLARD, J.

- 1942. Sur la formation de cristaux microscopiques de rutile et de tourmaline dans les fissures à ciment phylliteux des terrains paléozoïques de la Belgique, (Bull. Acad. roy. de Belgique, cl. des Sc., 5° s., XXVIII, 519-532, Bruxelles.)
- SPEARS, D. A.

1969. A laminated shale of carboniferous age from Yorkshire, England. (Journ. sedim. petrology, 39, 106-112, New York.)

STANLEY, E. A.

STAPLIN, F. L.

1969. Sedimentary organic matter, organic metamorphism, and oil and gas occurence. (Bull. Can. Petrol. Geol., 17, 47-66, Alberta.)

JENKINS, W. A. M.

<sup>1967.</sup> Ordovician Chitinozoa from Shropshire. (Palaeontology, 10, 436-488, London.) LEGRAND, R.

<sup>1968.</sup> On the sulfides in the sediments of the bothnian sea. (Bull. Geol. Soc. Finland, 40, 51-57, Helsinki.)

<sup>1952.</sup> Classe des Phytomonadines ou Volvocales. In Phylogénie, Protozoaires : Généralités. Flagellés. (Traité de Zoologie. Dir. Grassé, I, 1, 153-226, Paris.)

SOROTCHINSKY, C.

<sup>1969.</sup> Marine palynology. (Ocean. and mar. biol., 7, 277-292, London.)

# Bull. Inst. r. Sci. nat. Belg. – T. 47, N° 10, 1971. Bull. K. Belg. Inst. Nat. Wet. – D. 47, N $^{\rm r}$ 10, 1971.



F. MARTIN. – Palynofacies et microfacies du Silurien inférieur à Deerlijk.

ŝ



Bull. Inst. r. Sci. nat. Belg. – T. 47, N° 10, 1971. Bull. K. Belg. Inst. Nat. Wet. – D. 47, N<sup>r</sup> 10, 1971.















F. MARTIN. – Palynofacies et microfacies du Silurien inférieur à Deerlijk.



Bull. Inst. r. Sci. nat. Belg. – T. 47, N° 10, 1971. Bull. K. Belg. Inst. Nat. Wet. – D. 47, N° 10, 1971.



F. MARTIN. – Palynofacies et microfacies du Silurien inférieur à Deerlijk.



TAUGOURDEAU, P.

47, 10

1965. Chitinozoaires de l'Ordovicien des U.S.A. Comparaison avec les faunes de l'ancien monde. (Rev. Inst. fr. Pétrole et Ann. Comb. liq., XX, 463-485, Paris.)

#### EXPLICATION DE LA PLANCHE I

- Fig. 1 à 3. Leiotriletes sp. : microscope électronique à balayage. Deerlijk 83-E-404 : 154,50 m.
- Fig. 1. Marque trilète distincte; dépressions circulaires laissées après l'évacuation de pyritosphères;  $\times$  750.

Fig. 2. – Spécimen aplati, incurvé et recouvert de pyritosphères; × 750.

Fig. 3. — détail de 2;  $\times$  3.000.

Fig. 4. — Pélophyllade à laminations peu distinctes et très distinctes; g : graptolithe rempli de muscovite; v : varves; n : niche hexagonale parallèle au plan de sédimentation; c : lentille de chlorite-muscovite.
Lame misse paraendiculaire au plan de sédimentation; X 4. Descluit 83 E 404 :

Lame mince perpendiculaire au plan de sédimentation;  $\times$  4. Deerlijk 83-E-404 : - 163 m; P 11 I.R. Sc. N.B.

## EXPLICATION DE LA PLANCHE II

Fig. 5 et 7. — Détail d'une niche hexagonale; p : pyrite; q : quartz; q' : fantôme de la sédimentation originale inclus dans les cristaux de quartz; r : rutile; b : « blende » (?); m : liant argileux externe. Lame mince polie perpendiculaire au plan de sédimentation; × 500.

Fig. 5 : lumière transmise; fig. 7 : lumière réfléchie. Deerlijk 83-E-404 : – 186,50 m; P 78 I. R. Sc. N. B.

- Fig. 6. Chitinozoaire à paroi organique criblée de pyritosphères variablement recristallisées; la paroi localement polie apparaît sous forme de liserés gris clair. Lame mince polie parallèle au plan de sédimentation; lumières transmise et réfléchie; × 500. Deerlijk 83-E-404 : – 154,50 m; P 66 I. R. Sc. N. B.
- Fig. 8 à 11. Pictonicopila dinae nov. sp. Lames minces polies parallèles au plan de sédimentation; × 500. Fig. 8, 10 et 11 : lumière réfléchie. Fig. 9 : lumière transmise, même spécimen que fig. 10.
- Fig. 8. spécimen relativement petit; matière organique polie entre les sphérules constitutives. Deerlijk 83-E-404 : – 150,50 m; P 77 I. R. Sc. N. B.
- Fig. 9 à 11. sphérules constitutives remplies par des pyritosphères variablement recristallisées et par du liant argileux. Deerlijk 83-E-404 : — 150,50 m; P 66 I. R. Sc. N. B.

#### EXPLICATION DE LA PLANCHE III

Fig. 12 et 14. — Pictonicopila dinae nov. sp., holotype; sphérules constitutives remplies essentiellement par des feuillets de muscovite. Bioturbations représentées par les zones adjacentes sombres en forme de X sur la fig. 12.
Lame mince perpendiculaire au plan de sédimentation; lumière transmise; × 100.
Fig. 12 : nicols croisés.
Fig. 14 : lumière ordinaire.
Deerlijk 83-E-404 : - 150,35 m; P 1 I.R. Sc. N.B.

Fig	. 13 Spicule énigmatique recristallisé par de la pyrite; paléophycées entièrement
	pyritisées sous forme de taches circulaires noires. Lame mince parallèle au plan de sédimentation; lumière ordinaire; $\times$ 35.
	Deerlijk 83-E-404 : - 182,50 m; P 54 I. R. Sc. N. B.

- Fig. 15. Micropsammite incluant des pélophyllades à laminations peu individualisées; lits croisés; niches hexagonales orientées diversément. Lame mince perpendiculaire au plan de sédimentation; lumière ordinaire; X 4. Deerlijk 83-E-404 : – 176,60 m; P 45 I. R. Sc. N. B.
- Fig. 16. Foraminifère recristallisé par du quartz, cristaux de deux tailles. Lame mince perpendiculaire au plan de sédimentation; lumière ordinaire;  $\times$  100. Prerlijk 83-E-404 : — 165,50 m; P 30 I. R. Sc. N. B.
- Fig. 7. Graptolithe à cavité interne remplie de feuillets de muscovite. me mince perpendiculaire au plan de sédimentation; nicols croisés; × 100. erlijk 83-E-404 : – 176,60 m; P 46 I. R. Sc. N. B.
- Fig. 18. De bas en haut : pélophyllade gris clair avec concentration de paléophycées; quatre varves; lit micropsammitique; pélophyllade gris foncé. Lame mince perpendiculaire au plan de sédimentation; lumière ordinaire; × 6. Deerlijk 83-E-404 : – 150,35 m; P 1 I. R. Sc. N. B.

## TABLE DES MATIERES

Résumé	1
Abstract	2
I. Introduction	2
II. Origine des échantillons	2
III. Méthodes d'observation	3
IV. Pétrographie	3
4.1. Fraction détritique	3
4.2. Minéraux authigènes transparents	4 5
V Eshartillare analysis	5
VI. Fossiles à paroi organique	11
6.1. Acritarches, chitinozoaires, larves de graptolithes et spores	12
6.3. Rhabdosomes de graptolithes	12
6.4. Paléophycées	13
6.5. Relation entre taphocoenoses et microtacies	14
VII. Fossiles à paroi minérale	15
7.1. Foraminifères	15
7.2. Formes en fuseau	15
VIII. Niches à section hexagonale	15
IX. Estimation du degré d'évolution du sédiment	18
X. Varves	18
XI. Rythmes	20
XII. Conclusions	22
Remerciements	23
Index bibliographique	23
Explication des planches I à III	25

26

Page



