

Société
Géologique du
Nord

ANNALES

Tome 16 (2^{ème} série)
parution 2009

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD
59655 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX

ISSN 0767-7367

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

Extraits des Statuts

Article 2

- Cette Société a pour objet de concourir à l'avancement de la géologie en général, et particulièrement de la géologie de la région du Nord de la France.
- La Société se réunit plusieurs fois dans l'année.
- La Société publie des Annales mises en vente selon un tarif établi par le Conseil. Les Sociétaires bénéficient d'un tarif préférentiel.

Articles 5

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

Extraits du Règlement Intérieur

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

§ 13. - Seuls les membres ayant acquitté leurs cotisation et abonnement de l'année peuvent publier dans les Annales. L'ensemble des notes présentées au cours d'une même année, par un auteur, ne peut dépasser le total de 8 pages, 1 planche simili étant comptée pour 2 p. 1/2 de texte.

Le Conseil peut, par décision spéciale, autoriser la publication de notes plus longues.

§ 17. - Les notes originales (texte et illustration) communiquées à la Société et destinées aux Annales doivent être remis au Secrétariat le jour même de leur présentation. A défaut de remise dans ce délai, ces communications prennent rang dans une publication postérieure.

§ 18. - Les Mémoires sont publiés par fascicule après décision du Conseil.

Avertissement

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

Tirages à part

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

Cotisations et Abonnements (à la date du 1/1/2008)

	QUALITÉ	COTISATION	ABONNEMENT aux Annales	TOTAL
France et C. E. E.	Personnes physiques (1)	10 €	25 € T.T.C.	35 €
AUTRES PAYS	Personnes physiques	10 €	30 € T.T.C.	40 €

Abonnement des non-membres : FRANCE et C.E.E. : 50 € H.T. — ETRANGER : 50 € H.T.

Sont en vente au Siège de la Société :

FASCICULES SPÉCIAUX

Ecorché géologique infra mésozoïque (extrait de " Contribution à la connaissance des bassins paléozoïques du Nord de la France ", présentée par C.F.P. (M), COPESEP et S.N.P.A.).

- " Géologie du Nord de la France " (T. LXXXIX, fasc. 1).
- " Rupture des roches et massifs rocheux " (T. XCV, fasc. 3).
- " Données nouvelles sur le Paléozoïque de l'Europe occidentale " (T. XCVI, fasc. 4 et T. XCVII, fasc. 1).
- " Apports récents à la Géologie du Gondwana " (T. XCVII, fasc. 4).
- " Géologie de l'Europe, du Précambrien aux bassins sédimentaires post-hercyniens " (T. XCIX, fasc. 1).
- " Géologie appliquée aux problèmes d'énergie et de matières premières " (T. CII, fasc. 2).
- " Tectonique cassante en distension et coulissement " (T. CIII, fasc. 2-3).
- " Aspect de la Géologie de l'Ardenne, hommage au Professeur Beugnies " (T. CV, fasc. 2).
- " Paléozoïque supérieur continental " (T. CVI, fasc. 2).
- " Actualisation de quelques thèmes géologiques " (T. CVI, fasc. 4).
- " Géologie et aménagement régional " (T. CIX, fasc. 2).
- " Le Nord et son environnement géologique " (T. 2, 2ème série, fasc. 1).

MÉMOIRES (*)

Tome I	n° 1. — Ch. BARROIS, <i>Recherches sur le terrain crétacé de l'Angleterre et de l'Irlande</i> , 1876, 232 p. ...	30,00 €
	n° 2. — P. FRAZER, <i>Géologie de la partie Sud-Est de la Pennsylvanie</i> , 1882, 178 p.	25,00 €
	n° 3. — R. ZEILLER, <i>Mémoire sur la flore houillère des Asturies</i> , 1882, 24 p.	2,50 €
Tome IV	n° 1. — J. GOSSELET, <i>Etudes sur les variations du Spirifer Verneuilli</i> , 1894, 63 p., 7 pl.	12,00 €
Tome VI	n° 1. — P. BERTRAND, <i>Etude du stipe de l'Adelophyton jutieri</i> , B. Renault, 1907, 38 p., 4 pl.	7,00 €
	n° 2. — J. GOSSELET et al., <i>Faune silurodévonienne de Liévin</i> , 1912-1920. Fasc. 2.	30,00 €
	n° 3. — V.COMMONT, <i>Saint-Acheul et Montières : Notes de Géologie, de Paléontologie et de Préhistoire</i> , 1909, 68 p., 3 pl.	17,00 €
Tome VII	n° 1. — P. BERTRAND, <i>Etude des Stipes d'Asterochloena laxa</i> , Stenzel, 1911, 72 p., 6 pl.	10,00 €
Tome VIII	n° 2. — Ed. LEROUX, <i>Le tunnel de l'Ave Maria</i> , 1929, 50 p., 5 pl.	10,00 €
Tome IX	n° 1. — G. DUBAR, <i>Etude sur le Lias des Pyrénées françaises</i> , 1925, 332 p., 7 pl.	30,00 €
	n° 2. — G. FOURNIER et al., <i>Poissons élasmodontes de Denée</i> , 1926, 23 p., 6 pl.	7,50 €

Pour toute commande, s'adresser au Secrétariat de la SGN : Cité Scientifique, UFR des Sciences de la Terre, Bat. SN5 : 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex.

(1) Les membres de l'APBG peuvent bénéficier d'un tarif préférentiel sur l'abonnement (18,30 €), soit un total de 25,95 €.

(*) Tous les prix sont indiqués hors taxe.

Société
Géologique du
Nord

ANNALES

Tome 16 (2^{ème} série)
parution 2009

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD
59655 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX

ISSN 0767-7367

CONSEIL D'ADMINISTRATION

— 2008-2010 —

<i>Président</i>	M. F. AMÉDRO
<i>Premier Vice-Président</i>	M. A. BLIECK
<i>Seconds Vice-Présidents</i>	M ^{lle} D. BRICE M. B. MISTIAEN
<i>Conseillers</i>	M. O. AVERBUCH M ^{me} S. BECKARY M ^{me} C. DERYCKE M. F. ROBASYNSKI N. A. TRENTESAUX
<i>Secrétaires</i>	M. J. LEPLAT M. J.-C. LEMORT
<i>Trésoriers</i>	M. J.-M. DÉGARDIN M. B. QUESNEL
<i>Délégué aux Publications</i>	M. J.-P. DE BAERE
<i>Bibliothécaire</i>	M. C. LOONES
<i>Site Web</i>	M. D. DEMARQUE

CONSEIL SCIENTIFIQUE

— 2008-2010 —

MM. A. DELMER (Bruxelles), W. KUNHT (Kiel),
B. PEYBERNES (Toulouse), M. PRICE (Reading) et H. ZIJLSTRA (Utrecht).

CONSEIL ÉDITORIAL

— 2008-2010 —

MM. F. AMÉDRO, A. BLIECK, B. MISTIAEN, F. ROBASYNSKI,
N. TRIBOVILLARD et M^{lle} D. BRICE

A N N A L E S
DE LA
SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

Société fondée en 1870 et autorisée par arrêtés en date des 3 Juillet 1871 et 28 Juin 1873

Secrétariat : **Société Géologique du Nord**
Sciences de la terre, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex
Tél. 03 20 43 43 43 (postes 4104 et 4132) - C.C.P. Lille 52-47 Y

AVANT-PROPOS

2009 : L'ANNÉE DE LA NUMÉRISATION DES *ANNALES* ET *MÉMOIRES* DE LA SGN

par Francis AMÉDRO, président 2008-2010

Les changements intervenus dans la période 2006-2008 sous la présidence de mon prédécesseur, Francis Robaszynski, en particulier l'ouverture de la Société Géologique du Nord aux amateurs, y compris à des postes clés dans le conseil d'administration (trésorier, bibliothécaire, secrétaire...) et la tenue des séances à la Maison Régionale de l'Environnement et des Solidarités, 23 rue Gosselet à Lille, près du Musée d'Histoire Naturelle, se sont révélés des choix judicieux qui ont sauvé la SGN d'une mort certaine. La nécessité pour les jeunes universitaires de publier dans des revues à caractère international a en effet comme conséquence une désaffection grandissante pour les revues régionales telles que les *Annales de la SGN*. En revanche, les amateurs intéressés par les géosciences sont nombreux et leur éventail large : étudiants, professeurs du secondaires, naturalistes. En ce sens, le transfert des réunions, du campus universitaire de Villeneuve d'Ascq au cœur de la ville de Lille, a permis d'attirer des amateurs qui n'osaient pas franchir les portes de l'université. Tout le monde y trouve son compte :

- les amateurs tout d'abord, qui peuvent accéder à l'occasion des séances de communication aux connaissances les plus récentes de la géologie régionale et soumettre à des spécialistes certaines de leurs récoltes paléontologiques ;
- les universitaires ensuite qui, à la différence des amateurs, ne disposent pas du temps nécessaire pour aller régulièrement sur le terrain dans la région et ont, grâce à ces derniers, connaissance d'affleurements nouveaux et de récoltes inédites ;
- la SGN enfin qui se rajeunit, s'ouvre vers le grand public et élargit son audience comme en témoignent les partenariats noués avec le conservatoire des Sites Naturels du Nord – Pas-de-Calais, avec l'Espace Culture de l'Université de Lille 1 et avec le Conseil scientifique de l'Environnement Nord – Pas-de-Calais.

Enfin, une campagne publicitaire présentant la SGN, deuxième plus ancienne société géologique de France créée en 1870, actuellement en pleine renaissance, a été réalisée par le premier vice-président, Alain Blieck, au sein de la revue *Géochronique* et via internet par le biais de diverses associations. Cette politique volontariste commence à porter ses fruits comme le montre la progression, lente, mais réelle du nombre de nos membres depuis quatre ans.

Quels changements sont intervenus depuis 2008 ?

- La SGN s'est ouverte vers le milieu des enseignants du second degré avec l'adhésion, comme personne morale, de la section régionale de l'Association des Professeurs de Biologie et de Géologie, représentée par son vice-président, Alain Gigaux. En échange d'une cotisation annuelle de l'APBG, ses membres peuvent désormais assister gratuitement aux excursions de la SGN, ainsi qu'aux conférences.

- De la même façon, la SGN s'est ouverte aux étudiants et amateurs en organisant ses sorties en collaboration avec les membres de l'AGEOL (Association des étudiants en GÉOLOGIE de Lille).

- Un calendrier annuel régulier a été décidé, comprenant une excursion de printemps, une excursion d'automne, une conférence en janvier-février et enfin une séance de communications en mai-juin (afin de permettre un dépôt des notes pour le début octobre et une impression du tome correspondant des *Annales* dans l'année en cours). A ces activités programmées peuvent s'ajouter des excursions, conférences ou participations à des événements à caractère exceptionnel telle que la mise en valeur de sites patrimoniaux.

- À partir de 2009, le tome annuel des *Annales* sera publié en décembre de l'année en cours et non, comme précédemment, durant le premier trimestre de l'année suivante. Le respect de cette procédure est important pour les notes de paléontologie en cas de mise en synonymie.

- À la suite des discussions engagées par mon prédécesseur, Francis Robaszynski, une convention a été signée en 2009 entre le président de la SGN, Francis Amédéo, le président de l'Université de Lille 1 – Sciences et Technologies (USTL), Philippe Rollet, et le directeur du Service Commun de Documentation (SCD) de l'Université de Lille 1 (comprenant en particulier la bibliothèque centrale de cette université), Julien Roche afin d'assurer la conservation et la pérennité de la bibliothèque de la SGN par la Bibliothèque Universitaire.

- Le déménagement des réserves de la SGN (*Annales*, *Mémoires*) de l'ancien au nouveau local accordé par l'UFR de Sciences de la Terre au bâtiment SN5 de l'Université de Lille 1 est achevé. Cette opération lourde, échelonnée sur les années 2008 et 2009, a nécessité l'aide de nombreux membres durant plusieurs journées. La préservation des milliers de fascicules en notre possession, datant pour certains du XIXe siècle, est assurée. Le déménagement a été l'occasion de trier, classer et ranger de façon accessible l'ensemble des *Annales* et *Mémoires*, permettant ainsi de répondre plus facilement aux fréquentes commandes d'ouvrages anciens provenant de l'étranger.

- Une diffusion gratuite des *Publications de la SGN* à un certain nombre d'institutions et de bibliothèques du Nord de la France et de la Belgique a été décidée par le conseil d'administration. Le but de cette opération est de vider au maximum le local du SN5 afin de pouvoir y circuler. A ce jour, plus d'une dizaine d'entre elles ont répondu de façon positive. Un avantage induit par cette opération sera d'élargir l'accès à nos publications auprès du public.

- Enfin, contrairement à ce qui avait été envisagé en 2006, il a été décidé de maintenir le siège officiel de la SGN dans les locaux de l'Université de Lille 1 à Villeneuve d'Ascq pour trois raisons. 1 – Ce choix permet à la SGN de conserver au SN5 un local pour le stockage de ses *Annales*, *Mémoires* et *Publications*, et ceci grâce à l'obligeance de Jean-Luc Potdevin, actuel directeur de l'UFR des Sciences de la Terre. 2 – La bibliothèque universitaire de Lille 1 prend à sa charge gracieusement chaque année, à titre d'échanges, l'expédition par voie postale des *Annales de la SGN* à diverses bibliothèques universitaires disséminées à travers le monde. 3 – Enfin, l'Université de Lille 1 a mis en route un processus de numérisation, puis de diffusion sur internet des *Annales* et *Mémoires* publiés par la Société Géologique du Nord.

L'événement de l'année 2009 : la numérisation des *Annales* et *Mémoires de la SGN*, de 1870 à 1939

À la suite de plusieurs réunions tenues au Service Commun de Documentation (SCD) de l'Université de Lille 1 entre, d'une part Francis Amédéo, Alain Blicck et Denise Brice, représentant la SGN, et d'autre part Julien Roche, Sylvie Moine et Isabelle le Bescond, respectivement directeur, conservatrice et conservatrice de la bibliothèque numérique du SCD, il a été décidé la numérisation de l'ensemble des *Annales* et *Mémoires de la SGN* pour la période allant de 1870 à 1939, soit environ 40 000 pages, avec une livraison des premières numérisations (des origines à 1911) à la fin décembre 2009 et une mise en ligne quelques semaines plus tard. La deuxième tranche allant jusqu'à la veille de la seconde guerre mondiale sera réalisée en 2010. Le financement de l'opération est assuré conjointement par le projet « Histoire des Sciences » piloté par Bernard Maitte (USTL) et le SCD. L'accès à cette bibliothèque numérique sera gratuit. Par l'intermédiaire de l'application IRIS, les chercheurs auront un accès direct à la bibliothèque numérique de l'USTL, incluant les ouvrages de la SGN. Il convient de souligner qu'il s'agit d'une première en France, la SGN étant ici largement en avance sur toutes les autres sociétés géologiques françaises, y compris la Société Géologique de France. Cet accès par internet va assurer une diffusion mondiale aux *Annales* et *Mémoires* et permettre à la SGN de s'affranchir des « rangs » actuels de publication dans lesquels sont cantonnées les revues scientifiques. Nous pouvons être fiers de ce résultat et remercier spécialement Julien Roche, directeur du SCD, et son équipe pour leur intérêt envers la géologie en général et la SGN en particulier.

Pour la suite, deux cas sont à considérer.

- Période 1940-2008, soit en deçà de la durée légale de 70 ans : des courriers vont être progressivement envoyés aux auteurs ou à leurs ayants droits afin d'obtenir l'autorisation de numérisation et de mise en ligne.

- À partir de 2009, un formulaire sera adressé à tous les auteurs soumettant des notes à la SGN afin que ceux-ci cèdent leur droit d'auteur et acceptent que leur article soit mis en ligne dans les années futures sous les hospices de la bibliothèque de l'USTL.

Les premiers retours sont très positifs : la possibilité de publier en français ou en anglais et la numérisation future sont des atouts très attractifs pour les auteurs. Il est probable que l'on assiste à une augmentation du volume de nos publications dans l'avenir et peut-être aussi à une amélioration du facteur d'impact des *Annales*.

Quelles ont été les activités de la SGN en 2009 ?

- mercredi 18 mars (MRES) : conférence « Biodiversité, environnements et évolution au Paléozoïque : le cas des vertébrés du Cambrien au Dévonien », par Alain Blicck (1^{er} vice-président de la SGN, directeur de recherche au CNRS, USTL).

- samedi 4 avril : excursion le long des falaises du cap Gris-Nez, par Olivier Averbuch (Maître de conférence, USTL) et Jean-Pierre Vidier.

- mercredi 27 mai (MRES) : assemblée générale suivie d'une séance de communications orales et écrites.

- juin 2009 : publication du livre sur le Patrimoine géologique du Nord de la France, coordonné par Francis Robaszynski (président 2006-2008 de la SGN, Faculté Polytechnique de Mons, Belgique) et Gaëlle Guyétant (Conservatoire des Sites Naturels du Nord – Pas-de-Calais).

- mardi 30 juin : en partenariat avec le conseil Scientifique de l'Environnement Nord – Pas-de-Calais, excursion dans le bassin houiller, par Jean-Pierre Colbeaux (Maître de conférence, USTL).

- samedi 12 septembre : excursion le long des falaises crayeuses du cap Blanc-Nez, entre Escalles et Sangatte, et visite du front de taille de la « base des V3 » de Mimoyecques (niveaux de cendres volcaniques dans les craies à silex), par Francis Amédéo (président de la SGN, CNRS, Université de Dijon).

- dimanche 18 octobre : clôture de l'Année Internationale de la Planète Terre avec participation de la SGN.

- mercredi 16 décembre : conférence sur l' « Histoire du détroit du Pas-de-Calais », par Brigitte Van Vliet-Lanoë (directrice de recherche au CNRS, Université de Bretagne occidentale).

Activités prévues pour 2010

Deux sorties sur le terrain sont prévues : au printemps dans les carrières de marbre du Boulonnais, en automne dans l'Avesnois. Plusieurs séances en salle auront lieu à la MRES à Lille, à des dates non encore fixées.

Etre informé et devenir membre

Pour obtenir régulièrement des informations actualisées, envoyez simplement et sans engagement votre adresse par courrier postal à : Société Géologique du Nord, Université de Lille 1 – Sciences et Technologies, Sciences de la Terre-SN5, 59655 Villeneuve d'Ascq cedex ; ou transmettez votre adresse e-mail au président en exercice : francis.amedeo@free.fr ou au premier vice-président : alain.blicek@univ-lille1.fr. Pour devenir membre, remplissez et signez le bulletin d'inscription et réglez votre cotisation-abonnement annuelle : 35 euros (cotisation annuelle : 10 euros ; abonnement : 25 euros).

BULLETIN D'INSCRIPTION À LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD (SGN)

Nom et prénom :

Adresse postale :

Adresse courriel :

Téléphone :

Charte SGN : devenir membre de la Société géologique du Nord implique :

de s'acquitter en début d'année civile de la cotisation (et abonnement souhaité), de participer aux activités au mieux des possibilités, de promouvoir la Société (par exemple en ralliant de nouveaux membres), de refuser le mercantilisme (commerce, vente d'objets géologiques récoltés, à la place d'échanges).

Je soussigné(e) suis en pleine connaissance des points de la charte et les accepte

Date et signature :

LA BAIE DE WISSANT ET LA CARRIÈRE DE LOTTINGHEN (PAS-DE-CALAIS) : DEUX COUPES DE RÉFÉRENCE DANS L'ALBIEN DU NORD DE LA FRANCE

The bay of Wissant and the Lottinghen quarry (Pas-de-Calais): two reference sections in the Albian of northern France

par Francis AMÉDRO (*)

Résumé. — Les « Sables verts » et le « Gault » de Wissant font partie des gisements types de l'étage Albien choisis par d'Orbigny en 1842 en complément du département de l'Aube. La lithologie et la répartition verticale des ammonites dans l'Albien de Wissant sont décrites avec précision en fonction des données les plus récentes. En addition, une autre coupe située dans une ancienne carrière d'argile de la cimenterie de Lottinghen au Sud-Est du Boulonnais est étudiée. Celle-ci montre l'Albien terminal (Vraconnien) qui manque à Wissant en raison d'une érosion locale.

Abstract. — *The Lower Greensand and Gault at Wissant were considered by d'Orbigny (1842) as reference deposits for creation of the Albian stage, complementing the Aube type area. The lithology and vertical distribution of ammonites of the Albian at Wissant are precisely described following new data. In addition, another section is described in Upper Gault at the Lottinghen cement clay pit in southeastern Boulonnais. This sequence extends up to the Uppermost Albian (Vraconnian) which is absent at Wissant as a result of a local erosion*

I. — INTRODUCTION

Située dans le département du Pas-de-Calais, face à l'Angleterre, la baie de Wissant s'étend sur une distance de 10 km entre les caps Blanc-Nez et Gris-Nez. En descendant sur la plage à la hauteur du hameau de Strouanne et en remontant vers le Petit Blanc-Nez (fig. 1), des bancs de grès glauconieux et des argiles grises affleurent çà et là au pied des falaises et sur l'estran, en particulier en période hivernale lorsque les tempêtes entraînent le départ du sable et la disparition de la plupart des éboulis. Il s'agit des « Sables verts » et du « Gault » de Wissant qui font partie des gisements types cités par d'Orbigny en 1842 lors de la création de l'étage Albien en complément du département de l'Aube. Cet aspect historique et la permanence des affleurements, rare dans le bassin de Paris, confèrent à l'Albien de Wissant un intérêt particulier.

Les affleurements albiens de la baie de Wissant sont un but de promenade très prisé des géologues amateurs et il n'est pas rare de voir de nombreuses personnes sur le site à la recherche de fossiles, particulièrement les ammonites bien préservées avec leur nacre. La première description détaillée des « Sables verts » et du « Gault » de Wissant a été réalisée par Destombes & Destombes en 1938, puis précisée par les mêmes auteurs en 1943, 1962, 1963a et 1965. Durant l'hiver 1976-1977, de violentes tempêtes de NW avec des vents dépassant largement les 100 km/h ont dégagé la coupe de façon exceptionnelle, permettant d'effectuer un nouveau levé

lithologique et la récolte de plus de 2500 ammonites en place (Amédro & Destombes, 1978). La synthèse biostratigraphique de l'Aptien au Santonien du Boulonnais publiée par Robaszynski, Amédro coord. *et al.* (1980) fut ensuite l'occasion d'une mise en conformité de la nomenclature des formations avec les règles stratigraphiques actuelles, les « Sables verts » et « Argiles du Gault » étant renommés respectivement Formation des Gardes et Formation de Saint-Pô. Des compléments sont encore apportés par Robaszynski & Amédro (1986), mais cette dernière contribution date maintenant de près d'un quart de siècle. Les nombreuses visites effectuées depuis au pied des falaises du cap Blanc-Nez permettent, non seulement d'apporter un certain nombre de précisions lithologiques, mais aussi et surtout de compléter l'inventaire macropaléontologique de l'Albien de Wissant d'où l'intérêt de décrire de nouveau la coupe.

Malgré leur importance, les affleurements de la baie de Wissant ne peuvent cependant pas être considérés comme une référence unique dans l'Albien du Boulonnais. L'Albien terminal, c'est à dire le Vraconnien *sensu* Amédro (2002, 2008), y manque en effet en raison d'une érosion locale liée à l'influence de la structure tectonique des Quénocs située au large des falaises du cap Blanc-Nez. L'activité de cette structure débute aux confins de la limite Albien-Cénomaniens et se poursuit jusque dans la partie moyenne du Cénomaniens inférieur (Destombes & Destombes, 1963). Partout ailleurs dans le Boulonnais, depuis Leubringhen au Nord, jusqu'à

(*) 26, rue de Nottingham, 62100 Calais et Université de Bourgogne, UMR 5561 CNRS, Biogéosciences, 6 boulevard Gabriel, 21000 Dijon.
E-mail : francis.amedro@free.fr

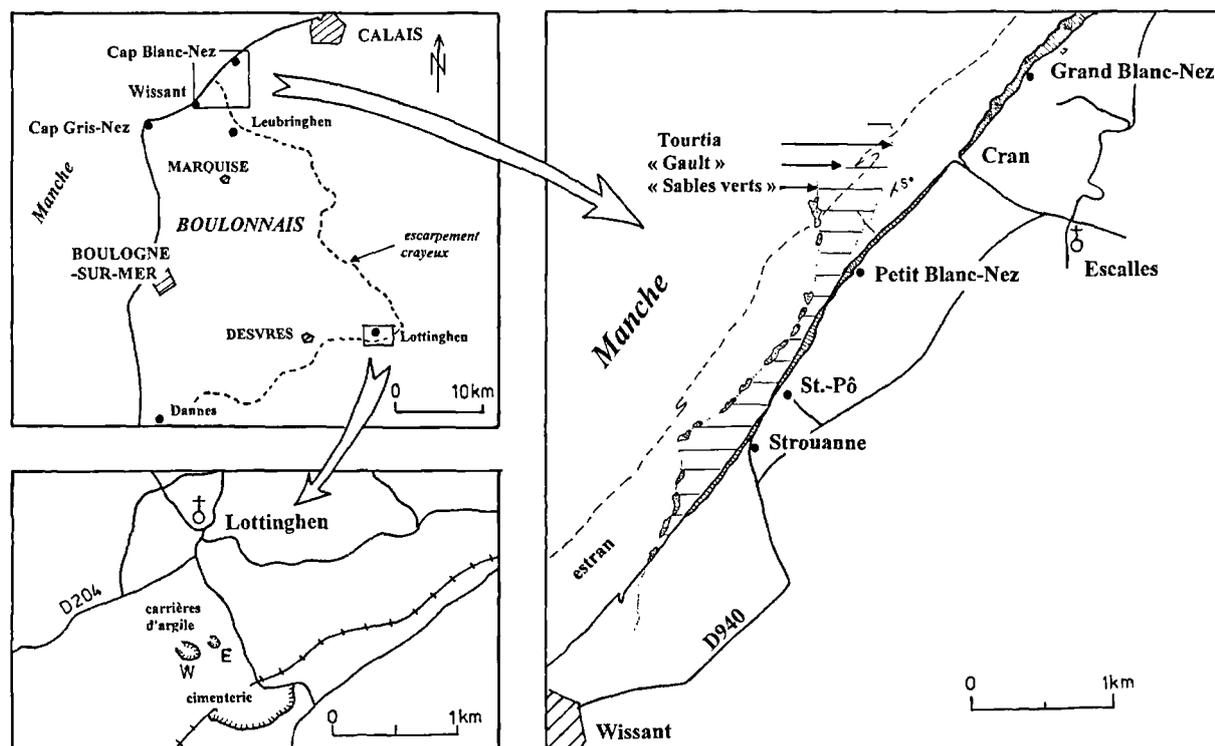


Fig. 1. — Localisation géographique des secteurs étudiés dans le Boulonnais. La carte des affleurements albiens de la baie de Wissant est tracée à partir de photographies aériennes prises par l'Institut Géographique National le 27 mars 1959 pour le compte du Groupement d'Etudes du Tunnel sous la Manche (G.E.T.M.)

Fig. 1. — Geographic location of studied areas in the Boulonnais

Dannes au Sud et en passant par Lottinghen à l'Est (fig. 1), le Vraconnien est représenté par une marne grise débutant à la base par une glauconite verte à nodules phosphatés. Il s'agit de la Formation de Lottinghen (Robaszynski & Amédéo coord. *et al.*, 1980 ; Amédéo & Magniez-Jannin, 1982 ; Robaszynski & Amédéo, 1986, 2001 ; Amédéo *et al.*, 1990) dont une nouvelle description dans la localité type est donnée ci-dessous.

II. — DESCRIPTION DES COUPES

La base de l'étage Albien est prise ici à l'apparition de l'ammonite *Leymeriella (Leymeriella) tardefurcata* (d'Orbigny) suivant la proposition formulée par Kennedy *et al.* (2000). En ce qui concerne la limite supérieure de l'étage, une réhabilitation du Vraconnien de Renevier (1868) comme étage à part entière entre l'Albien *sensu stricto* et le Cénomaniens vient d'être proposée par Amédéo (2002, 2008). Trois raisons principales sont à l'origine de cette démarque. Dans de nombreuses régions du globe, l'enregistrement sédimentaire du Vraconnien est considérable, souvent beaucoup plus important que celui de l'Albien *sensu stricto*. En outre, le Vraconnien correspond à un événement eustatique global d'une réelle importance entre une transgression albienne et une grande transgression cénomaniens. Enfin, il s'agit d'une période d'épanouissement écologique, à la fois en ce qui concerne les macrofaunes (ammonites en particulier) et les microfaunes

(foraminifères planctoniques). En attendant la prise en compte éventuelle de cette proposition par le Comité français de Stratigraphie, puis par la Commission géologique internationale, le Vraconnien est compris dans la présente publication comme une unité chronostratigraphique distincte surmontant l'Albien *s.s.*, mais maintenue provisoirement au sein de l'étage Albien *s.l.*

La zonation d'ammonites utilisée est celle définie par Amédéo (1981, 1992). Les espèces d'ammonites sont considérées comme des populations successives pourvues d'une grande variabilité avec des formes comprimées, intermédiaires et épaisses (Amédéo, 1992). Les figurés lithologiques utilisés dans toutes les figures sont illustrés dans la figure 2.

1) Les affleurements de la baie de Wissant

L'auréole albienne du Boulonnais recoupe l'estran de la baie de Wissant en diagonale suivant une direction SE-NW. L'existence d'un petit synclinal ou de petites failles au niveau de Strouanne explique le tracé sinueux des affleurements sur la plage et en particulier de la ligne des grès glauconieux de la Formation des Gardes, toujours bien visible. Les 2,50m inférieurs de la coupe sont pris sur l'estran en face de la ferme Saint-Pô. Le reste de la section est accessible à la fois sur l'estran, mais également en falaise entre Saint-Pô et le Petit Blanc-Nez lorsque les conditions d'observation sont favorables.

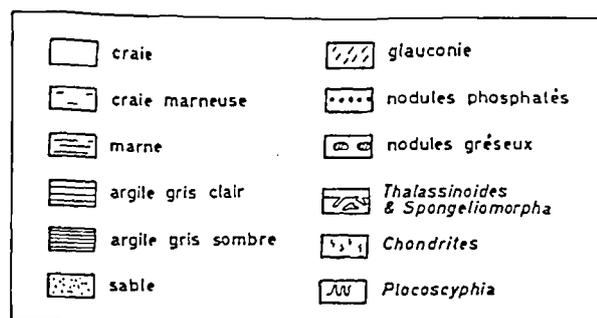


Fig. 2. — Figurés lithologiques

Fig. 2. — Lithological key

Au-dessus des sables argilo-glaucanieux gris à *Hypacanthoplites plesiotypicus* (Fritel) et *H. elegans* (Fritel) de la Formation de Wissant attribués à l'Aptien supérieur, la succession est la suivante, du bas vers le haut (fig. 3). (La numérotation des lits est celle d'Amédéo & Destombes, 1978).

a) Formation des Gardes (Albien inférieur)

g. 0,03 m. Niveau phosphaté P1. Nodules noirs, de 2 à 5 cm, contenant des *Hypacanthoplites* remaniés de la Formation de Wissant et une faune indigène incluant des brachiopodes : *Burrirhynchia leightonensis* (Walker), des inocérames : *Actinoceramus salomoni* (d'Orbigny) et surtout de nombreuses ammonites : *Leymeriella* (*Neoleymeriella*) sp., *Beudanticeras newtoni* Casey, *B. dupinianum* (d'Orbigny), *Cleonicerus floridum* Casey, *C. ornatum* Destombes, *C. cleon* (d'Orbigny), *Anadesmoceras* cf. *baylei* (Jacob), *Sonneratia flava* Casey, *Sonneratia* sp., *Douvilleicerus mammillatum* (Schlothheim), *D. orbigny* Hyatt et *Protanisoceras* sp. Les 190 ammonites recueillies dans le P1 se répartissent en *Leymeriella* (0,6 %), *Beudanticeras* (48,8 %), *Anadesmoceras* (0,6 %), *Cleonicerus* (1,8 %), *Sonneratia* (1,2 %), *Douvilleicerus* (46,4 %) et *Protanisoceras* (0,6 %). Si ce n'est la récolte d'un unique exemplaire de *L. (Neoleymeriella)* sp. indiquant la présence de la zone à *Leymeriella* (*N.*) *regularis*, la faune d'ammonites du niveau phosphaté P1 est typique de la zone à *Cleonicerus floridum* de l'Albien inférieur.

h. 1,00 m. Sables verts très glaucanieux, grossiers, graveleux même dans leur partie inférieure où l'on observe de nombreux petits graviers de quartz. Les nodules phosphatés du P1 sont inclus à la base du lit h dont la limite inférieure est une surface de ravinement. Sur l'estran de la baie de Wissant, ces sables glaucanieux sont fréquemment consolidés en un grès vert à ciment calcaire, mais en revanche tel n'est pas le cas dans les affleurements visibles le long de l'escarpement crayeux du Boulonnais. Selon Destombes & Destombes (1963b), cette gréseification locale pourrait être un phénomène secondaire et résulter de circulations carbonatées d'origine crayeuse au niveau de la structure tectonique des Quénocs. La macrofaune est rare au sein des sables et grès verts. Un lit discontinu de nodules phosphatés centimétriques noirs situé à 0,30 m de la base a livré plusieurs *Beudanticeras newtoni* et *Douvilleicerus mammillatum*, tandis que la masse des grès a fourni un moule interne en grès de *Pseudosonneratia crassa* Casey.

i. 0,08m. Niveau phosphaté P2. Certains nodules, de 1 à 4 cm, sont constitués d'un phosphate noir, tenace. Les autres, les plus nombreux, sont gris clair ou bruns, de 1 à 15 cm, souvent aplatis et volumineux, mais aussi arrondis et de petite taille avec un phosphate généralement rayable à l'angle et parcouru de veinules de calcite ou de pyrite. Le ciment argilo-glaucanieux qui enrobe les nodules est induré et lui-même perforé ce qui confère au niveau phosphaté P2 la morphologie d'un hardground. Les fossiles abondent avec de nombreuses pièces de bois de conifères atteignant fréquemment une longueur de plusieurs décimètres et appartenant aux Araucariacées, Podocarpacees, Pinacées et surtout Cupressacées (Desplats, 1977), des lamellibranches : *Actinoceramus salomoni*, *Panopea gurgitis* (Brongniart), *Cucullaea glabra* Parkinson, *Pseudocardia tenuicosta* (J. de C. Sowerby), *Pterotrignia mantelli* Casey, *Entolium orbiculare* (J. Sowerby), *Gryphaeostrea canaliculata* J. Sowerby, des gastéropodes : *Gyrodes genti* (J. Sowerby), *Anchura parkinsoni* (Mantell), *Leptomaria gibbsi* (J. Sowerby) et surtout des ammonites : *Beudanticeras newtoni*, *B. dupinianum*, *B. arduennense* Breistroffer, *Douvilleicerus mammillatum*, *D. orbigny*, *D. scabrosum* Casey, *D. monile* (J. Sowerby), *Cleonicerus cleon*, *Sonneratia dutempleana* (d'Orbigny), *Pseudosonneratia occidentalis* Casey, *P. jacobi* Casey, *Hemissonneratia puzosiana* (d'Orbigny), *Protahoplites archiacianus* (d'Orbigny), *P. michelinianus* (d'Orbigny), *P. latisulcatus* (Sinow), *Otohoplites guersanti* (d'Orbigny), *O. waltoni* Casey, *O. raulinianus* (d'Orbigny), *O. auritififormis* (Spath), *O. elegans* (Spath), *O. glyptus* Casey, *O. polygonalis* Casey, *O. destombesi* Casey, *O. bulliensis* Destombes, *Tegoceras mosense* (d'Orbigny) et *Protanisoceras raulinianum* (d'Orbigny). L'ampleur de cette liste est liée à l'importante condensation représentée par le niveau phosphaté P2. Celui-ci couvre deux zones d'ammonites : la zone à *Hemissonneratia puzosiana* et la partie inférieure de la zone suivante à *Otohoplites bulliensis*, soit un intervalle de temps probablement voisin de 1 Ma. La fréquence des genres d'ammonites est la suivante, pour 174 spécimens récoltés : *Beudanticeras* (10,6 %), *Cleonicerus* (0,6 %), *Sonneratia* (1,9 %), *Pseudosonneratia* (2,5 %), *Hemissonneratia* (1,7 %), *Protahoplites* (3,2 %), *Otohoplites* (26,1 %), *Tegoceras* (1,2 %), *Douvilleicerus* (51,0 %) et *Protanisoceras* (1,2 %).

j. 0,01m. Pyrite bien cristallisée, jaune, encroûtant indifféremment les nodules phosphatés des niveaux P2 et P3. Latéralement, vers Wissant, ce niveau passe à des sables épais de 5 cm, ponctués en jaune-ocre par de la pyrite plus ou moins altérée. La limite supérieure de ce « Sulphur Band » des anglo-saxons coïncide avec une importante discontinuité sédimentaire (lacune de sédimentation). Plusieurs zones d'ammonites manquent à la limite entre les sables verts de la Formation des Gardes et les argiles à faciès Gault de la Formation de Saint-Pô : la partie supérieure de la zone à *Otohoplites bulliensis*, la zone à *Hoplites (Isohoplites) steinmanni* et la zone à *Hoplites (Hoplites) benettianus*.

b) Formation de Saint-Pô (Albien moyen et supérieur pars)

k. 0,05 m. Niveau phosphaté P3. Nodules pluricentimétriques gris ou noirs, qui sont pour la plupart des moules internes non usés, mais cassés, d'ammonites appartenant au genre *Hoplites*. La macrofaune est entièrement constituée de mollusques avec quelques lamellibranches : *Actinoceramus concentricus* (Parkinson), *Entolium orbiculare*, des gastéropodes : *Sipho gaultinum* (d'Orbigny) et surtout des ammonites : *Pictetia astieriana* (d'Orbigny),

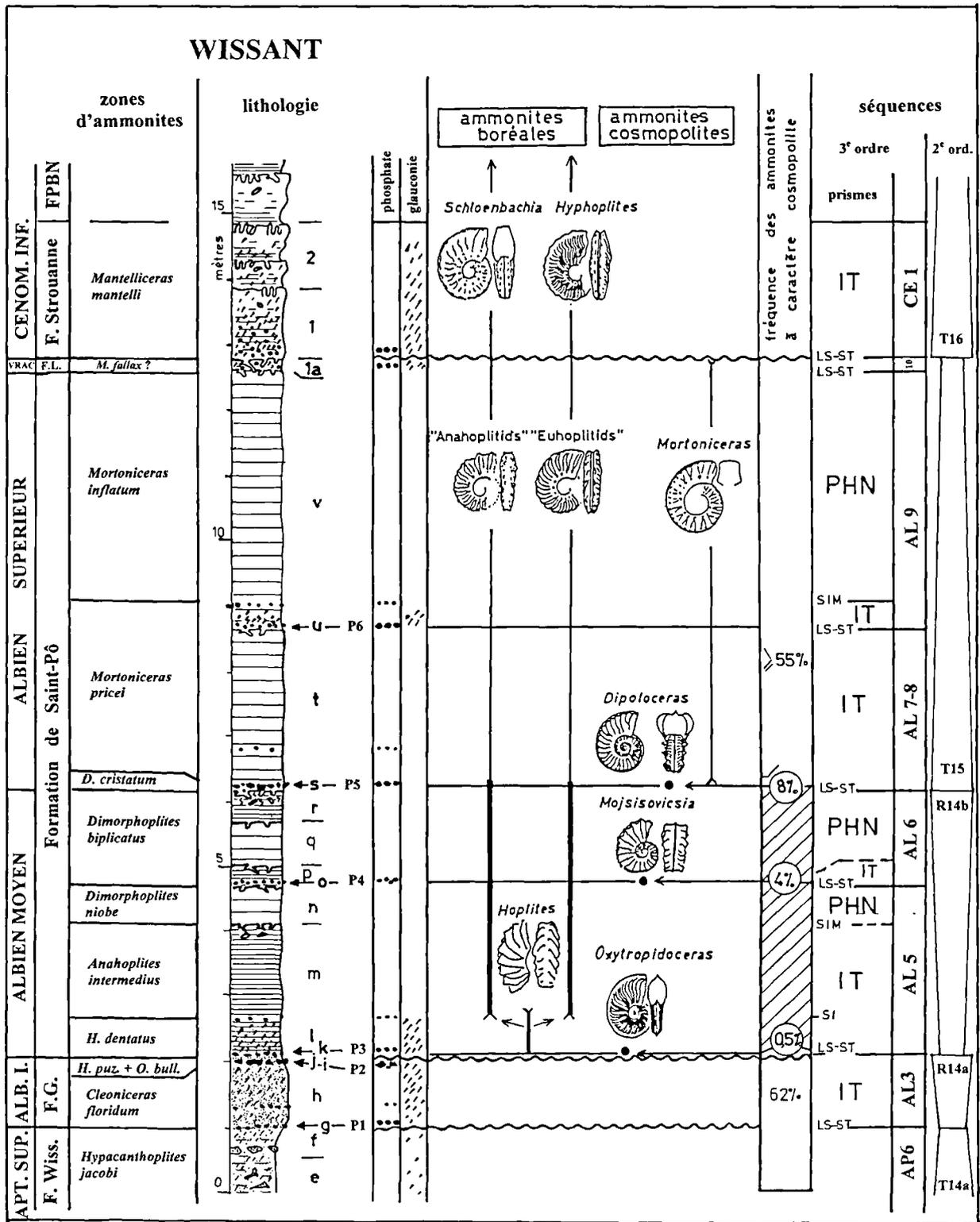


Fig. 3. — L'Albien de Wissant

Fig. 3. — Section in the Gault and Lower Greensand at Wissant

Phylloceras (*Hypophylloceras*) *velledae* (Michelin), *Hoplites* (*H.*) *dentatus* (J. Sowerby) (présent par centaines d'individus)

incluant les formes *spathi* Breistroffer et *paronai* Spath, *H.* (*H.*) *rudis* Parona & Bonarelli et formes *persulcatus* Spath et

dentatiformis Spath, *H. (H.) canavarii* Parona & Bonarelli et formes *similis* Spath, *dorselensis* Spath et *canavariformis* Spath, *H. (H.) latesulcatus* Spath, *H. (H.) escragnollensis* Spath, *Oxytropidoceras (Oxytropidoceras) roissyanum* (d'Orbigny) et *Hamites rotundus* J. Sowerby. Les 420 ammonites recueillies dans le P3 se répartissent en *Pictetia* (0,3 %), *Phylloceras* (0,3 %), *Hoplites* (98,5 %), *Oxytropidoceras* (0,6 %) et *Hamites* (0,3 %). Malgré leur rareté, les *Pictetia*, *Phylloceras* et *Oxytropidoceras* présentent un grand intérêt dans la mesure où la récolte de ces ammonites démontre une incursion de faunes à caractère téthysien au sein d'une succession qui en est par ailleurs dépourvue. Cet événement nommé « *Oxytropidoceras* event » par Amédéo (sous presse) indique une communication momentanée, même si elle reste limitée, entre la province nord-européenne du domaine boréal et le domaine téthysien. L'association d'ammonites du niveau phosphaté P3 est caractérisée par la présence des ultimes espèces d'*Hoplites* ce qui permet de l'attribuer à la partie supérieure de la zone à *H. (H.) dentatus*.

l. 0,60 m. Argile noire, très glauconieuse dans les 0,30 m inférieurs, devenant progressivement moins glauconieuse vers le haut et contenant de nombreux fossiles argileux écrasés : *Actinoceramus concentricus* et *Hoplites (Hoplites) spp.* semblables à ceux trouvés dans le niveau phosphaté P3.

m. 1,40 m. Argile noire parsemée de nombreux nodules de barytine sédimentaire, gris, discoïdes, allongés, de 5 à 50 cm, présentant une structure rayonnée autour d'un noyau pyritisé ou en bois fossile (Destombes & Destombes, 1963a). A la limite entre les lits l et m, c'est à dire au niveau de disparition de la glauconie, existe un lit de nodules phosphatés marron, centimétriques, épars, qui a livré *Hoplites (H.) latesulcatus*, *H. (H.) rudis*, de nombreux *Anahoplites intermedius* Spath (il s'agit du niveau d'apparition de l'espèce) et *Phylloceras (Hypophylloceras) sp.*, une forme typique du domaine téthysien. La macrofaune abonde sous forme d'empreintes argileuses avec : *Actinoceramus concentricus*, *Nucula pectinata* J. Sowerby, *Anahoplites intermedius*, *A. planus* (Mantell), *Euhoplites loricatus* Spath et *Falciferella milbournei* Casey (abondant au sommet du lit). Le lit m appartient à la zone à *Anahoplites intermedius*.

n. 0,60 m. Argile gris clair s'infiltrant par terriers dans le sommet des argiles noires du lit m. La macrofaune abonde avec : *Actinoceramus concentricus*, *Nucula pectinata*, *Anahoplites planus*, *Dimorphoplites niobe* Spath (index de la zone d'ammonite), *D. pinax* Spath (dans les 10 cm supérieurs du lit), *Euhoplites loricatus* et *Hamites sp.* Le lit n contient également de nombreux petits échinides spatangoides : *Hemiaster bailyi* Forbes.

o. 0,03 m. Niveau phosphaté P4 inclus dans la base des argiles gris foncé du lit p. Nodules noirs de 1 à 5 cm, usés ou fragmentés et anguleux, distants de quelques cm les uns des autres, avec : *A. concentricus*, *Beudanticeras sp.*, *Anahoplites planus*, *A. pleurophorus* Spath, *Dimorphoplites niobe*, *D. pinax*, *D. doris* Spath, *D. biplicatus* (Mantell), *Euhoplites meandrinus* Spath, *E. lautus* (Parkinson) incluant la forme *truncatus* Spath, *Mojsisovicsia subdelaruei* (Spath), *Eubrancocheras cricki* (Spath), *Hamites attenuatus* J. Sowerby, *H. rotundus* J. Sowerby et de fréquents crustacés décapodes : *Notopocorystes stokesii* (Mantell), *N. broderipii* (Mantell), *Necrocarcinus labeschii* (Deslongchamps), *Xanthosia similis* (Bell) et *Hoploparia sulcirostris* Bell. Les

proportions relatives des 362 ammonites recueillies dans le niveau phosphaté P4 sont les suivantes : *Beudanticeras* (0,3 %), *Anahoplites* (14,7 %), *Dimorphoplites* (38,8 %), *Euhoplites* (35,7 %), *Mojsisovicsia* (4,0 %), *Eubrancocheras* (0,3 %) et *Hamites* (6,2 %). Ce niveau phosphaté coïncide avec une seconde incursion d'ammonites téthysiennes ou cosmopolites dans le bassin de Paris : *Beudanticeras*, *Mojsisovicsia* et *Eubrancocheras* qui représentent 4,6 % de la population. Il s'agit du « *Mojsisovicsia* event » d'Amédéo (sous presse). L'association d'ammonites du niveau phosphaté P4 indique une condensation du sommet de la zone à *Dimorphoplites niobe* et de la base de la zone suivante à *Dimorphoplites biplicatus*.

p. 0,30 m. Argile gris foncé. Les contacts avec les lits sus- et sous-jacents sont tranchés et soulignés par des surfaces perforées. La limite inférieure du lit montre en particulier des perforations pouvant pénétrer de 20 cm les argiles gris clair du lit n. La macrofaune est riche, avec : *A. concentricus*, *N. pectinata*, *Anahoplites planus*, *Dimorphoplites biplicatus* incluant les formes *glaber* Spath et *chloris* Spath, *Euhoplites lautus* et les formes *truncatus*, *nitidus* Spath et *armatus* Spath, *Hamites gibbosus* J. Sowerby et *H. attenuatus*. L'ensemble de ces ammonites est typique de la zone à *Dimorphoplites biplicatus*.

q. 0,70 m. Argile gris clair dont le toit est taraudé de petits terriers de 5 cm de profondeur. La macrofaune est identique à celle du lit p. A noter la récolte d'un fragment de colonne vertébrale d'ichthyosaure comportant 15 vertèbres.

r. 0,50 m. Argile gris foncé. A la limite avec le lit q sous-jacent existe un lit de moules internes d'ammonites nacrées, à phragmocône pyriteux, dont la chambre d'habitation est occupée par un phosphate gris-brun, friable et rayable à l'ongle. Le matériel recueilli dans ce lit comprend *Beudanticeras beudanti* (Brongniart), *Anahoplites planus*, *A. splendens* (J. Sowerby), *Dimorphoplites biplicatus* et *Euhoplites lautus*. Dans la partie moyenne du lit r s'ajoute à ces taxons : *Anahoplites* aff. *mangyschlakensis* Saveliev (dét. H.G. Owen, London). Le sommet de lit r est bioturbé sur 20 cm par de nombreux *Thalassinoides* et *Chondrites* remplis d'argile gris clair provenant du lit t. Dans ces 20 cm supérieurs, on trouve des moules internes argileux ou pyriteux d'*Actinoceramus subsulcatus* (Wiltshire), *Dipoloceras cristatum* (Brongniart) et *D. bouchardianum* (d'Orbigny) (c'est de ce niveau que provient le lectotype de l'espèce illustré par d'Orbigny, 1841, pl. 88, fig. 6-8 et figuré par Amédéo in Robaszynski, Amédéo coord. *et al.*, 1980, pl. 7, fig. 1). L'apparition de *Dipoloceras cristatum* permet de placer ici la base de la zone d'ammonite du même nom et en même temps la limite Albien moyen – Albien supérieur.

s. 0,08 m. Niveau phosphaté P5. Nodules de phosphate noir, très tenace, parfois de grande taille (10 cm), souvent agglutinés entre eux. L'épaisseur du P5, l'abondance des nodules dont la plupart sont des moules internes de macrofaune nacrée et leur position au-dessus d'une surface perforée particulièrement bien marquée, font du niveau phosphaté P5 un niveau repère très apparent. La macrofaune, très riche et diversifiée, comprend des :

- annélides : *Serpula antiquata* J. Soweby, *Rotularia polygonalis* (J. Sowerby), *Sarcinella socialis* (Goldfuss) ;

- coralliaires : *Trochocyathus harveyanus* (Edwards & Haine), *Discocyathus fittoni* (Edwards & Haine) ;

- lamellibranches : *Actinoceramus concentricus*, *A. subsulcatus*, *A. sulcatus* (Parkinson), *A. anglicus* (Woods), *Plicatula gurgitis* (Brongniart), *Aequipecten* sp., *Nucula pectinata*, *Neithea quinquecostata* (J. Sowerby), *Entolium orbiculare*, *Cuccullaea glabra*, *Gryphaeostrea canaliculata* ;

- scaphopodes : *Dentalium decussatum* (J. Sowerby) ;

- gastéropodes : *Jurassiphorus fittoni* (Roemer), *Anchura carinata* (Mantell), *Sipho gaultinum*, *Pleurotomaria plicata* (J. Sowerby) ;

- bélemnites : *Neohibolites minimus* (Miller) ;

- nautes : *Eutrephoceras bouchardianum* (d'Orbigny), *Cymatoceras albense* (d'Orbigny) ;

- ammonites : *Beudanticeras beudanti*, *B. sphaerotum* (Seeley), *B. subparandieri* Spath, *Anahoplites planus*, *Dimorphoplites biplicatus*, *D. silenus* Spath, *Metaclavites compressus* (Parona & Bonarelli) incluant les formes *trifidus* (Spath) et *metamorphicus* (Spath), *Euhoplites lautus*, *E. ochetonotus* (Seeley) et formes *sublautus* Spath, *solenotus* (Seeley), *serotinus* Spath, *trapezoidalis* Spath et *armatus* Spath, *Dipoloceras cristatum*, *D. bouchardianum*, *D. pseudon* Spath, *Mortonicer* (*Deiradoceras*) sp., *Hystero* (*Goodhallites*) *serpentinum* Spath, *H. pseudocornutum* Spath, *H. symmetricum* (J. de C. Sowerby), *H. capricornu* Spath, *H. simplicicostata* Spath, *Neophlycticeras* (*Neophlycticeras*) *brottianum* (d'Orbigny), *Hamites* (*Hamites*) spp. et *Hamites* (*Psilohamites*) *bouchardianus* (d'Orbigny) ;

- dents et vertèbres de séliaciens et de reptiles.

A noter aussi la présence de bois fossile.

L'ensemble des 1242 ammonites récoltées dans le niveau phosphaté P5 se répartit en *Beudanticeras* (4,8 %), *Anahoplites* (14,9 %), *Dimorphoplites* (25,6 %), *Metaclavites* (13,9 %), *Euhoplites* (29,6 %), *Dipoloceras* (2,9 %), *Mortonicer* (0,1 %), *Hystero* (0,6 %), *Neophlycticeras* (0,1 %) et *Hamites* (7,5 %). Le niveau phosphaté P5 coïncide avec une 3^e arrivée ponctuelle d'ammonites à caractère cosmopolite ou téthysien : *Beudanticeras*, *Dipoloceras*, *Hystero* et *Neophlycticeras* (8,6 % de la population) ce qui suggère un nouvel élargissement des communications entre provinces fauniques. Il s'agit du « *Dipoloceras* event » d'Amédéo (sous presse). L'association d'ammonites présente dans le niveau P5 est typique de la zone à *D. cristatum*.

t. 2,50 m. Argile marneuse grise remplie d'empreintes écrasées d'*Actinoceramus sulcatus* et contenant dans sa partie inférieure une très abondante faune d'ammonites pyriteuses avec en particulier *Hystero* (*Goodhallites*) *orbigny* (Spath), *Euhoplites inornatus* Spath et *E. subcrenatus* Spath. La limite supérieure du lit t est une surface perforée, discrète dans la mesure où les bioturbations (*Thalassinoides*) provenant du lit v sont remplies d'argile marneuse grise de même teinte que celle du lit t, mais bien réelle. A 0,10 m au-dessus du niveau phosphaté P5 existe un lit discontinu de concrétions grésophosphatées centimétriques marron, contenant une forte proportion de sable quartzueux et quelques granules de phosphate noir. Un autre lit irrégulier de nodules phosphatés gris clair de 1 à 3 cm de diamètre, non jointifs, est présent à 0,50 m au-dessus de la base du lit, suivi 0,70m plus haut, par un niveau riche en phragmocônes pyriteux de *Beudanticeras beudanti*. La base du lit t est caractérisée par une soudaine prolifération d'*Hystero* et de *Mortonicer* qui prennent le pas sur les *Metaclavites* et *Euhoplites*, provoquant ainsi une

inversion du rapport Hoplitidae / Brancoceratidae. Il s'agit du « *Mortonicer* event » d'Amédéo (sous presse) dont l'origine est encore liée à un élargissement rapide, important et désormais permanent des communications entre les domaines boréal et téthysien (Amédéo, 1992, sous presse). L'ensemble des ammonites identifiées dans les argiles du lit t comprend : *Beudanticeras beudanti*, *Anahoplites planus*, *A. picteti* Spath, *Metaclavites compressus* et forme *trifidus*, *Euhoplites inornatus*, *E. subcrenatus*, *E. ochetonotus* et forme *serotinus*, *E. alphasautus* Spath, *Mortonicer* (*Mortonicer*) *pricei* (Spath), *M. (Deiradoceras) cunningtoni* Spath et forme *albense* Spath, *Prohystero* (*Goodhallites*) *goodhalli* (J. de C. Sowerby), *Hystero* (*Goodhallites*) *orbigny*, *H. varicosum* (J. de C. Sowerby), *H. carinatum* Spath, *Hamites* sp., *Idiohamites tuberculatus* J. Sowerby et *Pseudelicoceras* sp. La présence de *Mortonicer* à 2 tubercules par côte permet d'attribuer le lit t à la zone à *Mortonicer pricei*.

u. 0,03 m. Niveau phosphaté P6 inclus dans la base des argiles marneuses grises du lit v. Nodules gris à marron, de 2 à 4 cm de diamètre en moyenne, toujours très usés, ce qui témoigne d'un séjour sur un fond marin affecté par des courants, non jointifs, espacés de plusieurs centimètres, riches en macrofaune, avec des lamellibranches: *Actinoceramus sulcatus* (présent par centaines d'individus), *A. concentricus* (un seul exemplaire), *Gryphaeostrea canaliculata*, *Plicatula gurgitis* ; gastéropodes: *Jurassiphorus fittoni*, *Anchura carinata*, *Sipho gaultinum* ; ammonites: *Phylloceras* (*Hypophylloceras*) sp., *Beudanticeras beudanti*, *Anahoplites planus*, *A. picteti*, *Metaclavites compressus*, transitions entre *M. compressus* et *Callihoplites auritus* (J. Sowerby) (3 exemplaires), *Semenovites gracilis* (Spath), *Epihoplites deluci* (Brongniart) et forme *denarius* (J. de C. Sowerby), *Euhoplites ochetonotus*, *E. inornatus*, *E. alphasautus* Spath et formes *boloniense* Spath et *vulgaris* Spath, *Mortonicer* (*Mortonicer*) *pricei*, *M. (Deiradoceras) cunningtoni* et formes *albense* Spath, *devonense* Spath et *bipunctatum* Spath, *Prohystero* (*Goodhallites*) *goodhalli*, *Hystero* (*Goodhallites*) *orbigny*, *H. varicosum*, *Hamites* sp., *Idiohamites* sp., *Anisoceras* sp. ; brachiopodes: *Moutonithyris dutempleana* (d'Orbigny) ; crabes: *Necrocarcinus labeschii* et vertèbres de poissons. Les 515 ammonites provenant du niveau phosphaté P6 se répartissent comme suit : *Phylloceras* (0,2 %), *Beudanticeras* (0,8 %), *Anahoplites* (3,1 %), *Metaclavites* (3,9 %), *Epihoplites* et *Semenovites* (5,5 %), *Euhoplites* (26,7 %), *Mortonicer* et *Prohystero* (21,1 %), *Hystero* (37,0 %), *Hamites* (0,8 %), *Idiohamites* et *Anisoceras* (0,9 %). Comme les argiles marneuses du lit t, le niveau phosphaté P6 appartient à la zone d'ammonite à *Mortonicer pricei*.

La récolte en place dans le niveau phosphaté P6 d'un moule interne usé de *Dipoloceras cristatum* amène à formuler une remarque. Comment expliquer la présence de ce spécimen dans le P6 dans la mesure où l'espèce est l'index de la zone d'ammonite précédente représentée 2,50 m plus bas dans le P5 ? Les niveaux phosphatés P3, P4, P5 et P6 du Boulonnais sont interprétés dans l'état actuel des connaissances comme des Surfaces de Transgression de cycles eustatiques de 3^e ordre (Amédéo & Matron, 2008 ; Amédéo, sous presse). La plupart des Prismes de Bas Niveau n'étant pas préservés dans l'Albien du bassin anglo-parisien, les Intervalles Transgressifs surmontent des discontinuités qui sont souvent des surfaces de ravinement. La présence exceptionnelle dans les niveaux phosphatés de fossiles remaniés d'horizons plus anciens devient plus compréhensible dans ce contexte.

v. 4,00 m. Argile marneuse grise, riche en traces-fossiles (*Chondrites*) dans les premiers centimètres. La base de l'unité inclut un lit de moules internes argileux écrasés d'ammonites de 10 à 20 cm de diamètre : *Mortoniceras* (*Deiradoceras*) et *Prohysterocheras* (*Goodhallites*) couchés sur la surface supérieure du niveau phosphaté P6. Les 0,40 m inférieurs du lit v contiennent quelques rares grains de glauconie inframillimétrique et une macrofaune riche et diversifiée avec tout d'abord un brachiopode : *Moutonithyris dutempleana* (d'Orbigny) et un crinoïde : *Nielsenicrinus cretaceus* (Leymerie), deux espèces caractéristiques de ce niveau, mais également de nombreux lamellibranches : *Plicatula gurgitis* (très fréquent), *Gryphaeostrea canaliculata*, *Actinoceramus concentricus* (mais sans *A. sulcatus* dont l'occurrence est terminée), des bélemnites : *Neohibolites minimus* et des ammonites : *Epihoplites deluci*, *Semenovites costosus* (Spath), *Euhoplites alphalautus* incluant la forme *vulgaris*, *Mortoniceras* (*Mortoniceras*) *pricei*, *M. (Deiradoceras) cunningtoni*, *Prohysterocheras* (*Goodhallites*) *goodhalli*, *Hysterocheras orbignyi*, *H. varicosum* et *Anisoceras* sp. Cette association est typique de la partie supérieure de la zone à *M. (M.) pricei*. A la limite supérieure de l'intervalle, c'est à dire à 0,40 m au-dessus de la base du lit v et du niveau phosphaté P6, existe un lit de nodules phosphatés beige, arrondis, de 1 à 3 cm, rayables à l'ongle, avec *N. minimus*, *Semenovites gracilis* et *H. varicosum*.

La macrofaune est en revanche beaucoup plus rare dans les 3,60 m supérieurs des argiles marneuses gris perle du lit v. Seuls quelques *Euhoplites alphalautus* et l'index de zone *Mortoniceras* (*Mortoniceras*) cf. *inflatum* (J. Sowerby) ont été collectés ici avec, à 0,20m sous le sommet du lit, une colonie de comatules appartenant à l'espèce *Glenotremites loveni* (Carpenter), décrite et illustrée par Rasmussen (1971).

c) *Formation de Lottinghen remaniée (Albien terminal = Vraconnien)*

lit 1a. 0 à 0,15 m. Niveau discontinu de marne grise finement glauconieuse, limité à la base et au sommet par des surfaces perforées et rempli de nodules phosphatés noirs cassés, de quelques mm à 3 cm. Les nodules phosphatés remaniés de la Formation de Saint-Pô sous-jacente ont livré *Dipoloceras* cf. *bouchardianum*, *Mortoniceras* (*Mortoniceras*) sp. et *M. (Deiradoceras)* sp.

d) *Formation de Strouanne (Cénomaniens inférieur pars)*

unités 1 et 2. 2,00m. Craie glauconieuse ou « Tourtia », riche à la base en nodules phosphatés centimétriques noirs. La limite inférieure de la Formation de Strouanne est une surface de ravinement dont les terriers traversent le lit 1a aux endroits où il existe et pénètrent jusqu'à 20 cm de profondeur dans le toit des argiles à faciès Gault de la Formation de Saint-Pô. Les ammonites abondent avec *Neostlingoceras carcitanense* (Mathéron) et *Sciponoceras roto* Cieslinski (ces deux espèces étant limitées aux nodules phosphatés), *Sharpeiceras laticlavium* (Sharpe) (uniquement en craie), *Mantelliceras cantianum* (Spath), *M. mantelli* (J. Sowerby), *Schloenbachia varians* (J. Sowerby)...

2) **Les anciennes carrières d'argile de la cimenterie de Lottinghen**

Deux carrières d'argile situées à 50 m l'une de l'autre, mais aujourd'hui disparues, ont été ouvertes à la fin des

années 1970 dans le SE du Boulonnais par la cimenterie de Lottinghen. La plus ancienne (Lottinghen-Est) était utilisée en 1976 comme réserve d'eau. La partie du front de taille restée accessible montrait 5 m de coupe incluant le sommet de la Formation de Saint-Pô, la Formation de Lottinghen (*locus typicus*) et la Formation de Strouanne du Cénomaniens inférieur (Amédéo in Robaszynski, Amédéo coord. et al., 1980). La carrière la plus récente décrite ici (Lottinghen-Ouest), ouverte en 1977, a recoupé 10 m supplémentaires dans la Formation de Saint-Pô avec une succession lithologique comparable à celle de Wissan (Amédéo & Magniez-Jannin, 1982). C'est la raison pour laquelle seule la partie supérieure de la Formation de Saint-Pô et la Formation de Lottinghen sont décrites ici. Le niveau 0 correspond au niveau de l'eau dans la carrière de Lottinghen-Est en juillet 1977. Du bas vers le haut, la succession apparaît comme suit (fig. 3).

a) *Formation de Saint-Pô (Albien moyen et supérieur pars)*

- 3,00 m à - 2,40 m. Argile grise remplie d'empreintes écrasées d'*Actinoceramus sulcatus* avec, à - 2,65 m, quelques nodules phosphatés centimétriques marron.

- 2,40 m à - 2,36 m. Niveau phosphaté P6. Nodules phosphatés noirs de 1 à 4 cm avec *A. sulcatus*, *Plicatula gurgitis*, *Anahoplites planus*, *A. picteti*, *Euhoplites subrenatus*, *E. alphalautus* incluant les formes *boloniense* et *vulgaris*, *Mortoniceras* (*Mortoniceras*) *pricei*, *M. (Deiradoceras) cunningtoni*, *Prohysterocheras* (*Goodhallites*) *goodhalli*, *Hysterocheras orbignyi* et *Hamites intermedium*.

- 2,36 m à - 1,80 m. Argile glauconieuse, surtout dans les 0,40 m inférieurs, bioturbée, dont la limite inférieure est une surface perforée pénétrant par des terriers de 10 cm de profondeur dans les argiles sous-jacentes. La base du lit inclut les nodules phosphatés du P6. Au niveau - 1,80m existe un autre lit de nodules phosphatés centimétriques beige, arrondis, non jointifs, moins apparent que le P6. La macrofaune recueillie dans l'argile glauconieuse comprend *Actinoceramus concentricus*, *Plicatula gurgitis*, *Neohibolites minimus* et *Moutonithyris dutempleana*. Cette unité lithologique, le niveau phosphaté P6 et les argiles grises décrites entre les niveaux - 3,00m et - 2,36 m représentent la zone d'ammonite à *M. pricei*.

- 1,80 m à + 0,80 m. Argile gris-clair contenant quelques nodules phosphatés marron clair, centimétriques, arrondis, épars. La macrofaune est peu diversifiée avec *Gryphaeostrea canaliculata*. Aucune ammonite n'a été recueillie dans cet intervalle mais les foraminifères, et en particulier la présence de *Ticinella primula* Luterbacher associée à *Valvulineria angulata* Magniez-Jannin, permettent de le rapporter à la zone à *M. (Mortoniceras.) inflatum* (Amédéo & Magniez-Jannin, 1982).

b) *Formation de Lottinghen (Albien terminal = Vraconnien)*

+ 0,80 m à + 1,20 m. Glauconite consolidée, verte, limitée à la base par une surface de ravinement dont les perforations (*Thalassinoides*) pénètrent sur environ 20 cm de profondeur dans le sommet de la Formation de Saint-Pô sous-jacente. Les 15 cm inférieurs contiennent de très nombreux nodules phosphatés marron de 0,5 à 1 cm de diamètre. *G. canaliculata*.

+ 1,20 m à + 2,40 m. Marne glauconieuse verdâtre consolidée et bioturbée avec *Mortoniceras* (*Mortoniceras fallax* (Breistroffer) à + 1,50 m et *Hyphoplites* (*Discohoplites subfalcatus* Spath à + 2,00 m.

+ 2,40 m à + 3,70 m. Argile grise parsemée de quelques amas lenticulaires millimétriques de glauconie, avec *G. canaliculata* et, à + 2,80 m : *Mortoniceras* (*Subschloenbachia*) sp., *Lechites* sp. et *Scaphites* sp.

La Formation de Lottinghen représente le Vraconnien. La partie inférieure glauconieuse (+ 0,80 m à + 2,40 m) appartient à la zone à *M. (Mortoniceras.) fallax*. L'attribution stratigraphique de la partie supérieure de la formation est plus difficile à préciser mais pourrait correspondre, en partie ou en totalité, aux zones à *M. (Subschloenbachia) rostratum* et à *M. (S.) perinflatum*.

c) Formation de Strouanne (Cénomanién inférieur)

+ 3,70 m à 5,00 m. Craie glauconieuse bioturbée s'enfonçant par terriers dans le sommet de la Formation de Lottinghen et livrant des nodules phosphatés noirs, anguleux, ainsi que des nodules phosphatés marron avec *Mantelliceras mantelli*, *Schloenbachia varians* et *Hypoturrilites gravesianus* (d'Orbigny).

III. — LES ÉVÉNEMENTS SÉDIMENTAIRES ET BIO-ÉCOLOGIQUES DANS L'ALBIEN DU BOULONNAIS : REFLETS DE CYCLES EUSTATIQUES DE 2^E ET 3^E ORDRE OU D'ÉVÉNEMENTS TECTONIQUES

Les lits de nodules phosphatés sont sans aucun doute les niveaux repères les mieux exprimés dans l'Albien du Boulonnais et au moins deux d'entre eux sont connus depuis le XIX^e siècle : le P3 et le P5 (Barrois, 1873, 1874). Jusque dans les années 1980, l'aire de répartition géographique des niveaux phosphatés a semblé limitée au Boulonnais et au SE de l'Angleterre, ce qui a conduit les auteurs à voir dans leur genèse le résultat d'influences tectoniques : mouvement alternant de bascule du socle du bassin anglo-parisien autour d'un axe Est-Ouest situé en Artois jouant le rôle de charnière (Destombes, 1958), mouvements verticaux d'affaissement ou de soulèvement de blocs et sous-blocs tectoniques (Amédéo, 1984). Ces interprétations sont à revoir dans la mesure où une succession de niveaux phosphatés identique à celle du SE de l'Angleterre et du Boulonnais est désormais connue sur la bordure de l'Ardenne, en Argonne, dans l'Aube et dans l'Yonne, c'est à dire dans la plus grande partie du bassin anglo-parisien y compris dans l'aire la plus subsidente (Amédéo, 1985 ; Amédéo & Matrimon, 2008). D'un autre côté, les concepts de la stratigraphie séquentielle développés depuis par Vail *et al.* (1987) conduisent à appréhender de façon différente l'origine des lits de nodules phosphatés.

En dehors des lits de nodules phosphatés, de nombreux événements sédimentaires et bio-écologiques existent dans l'Albien du Boulonnais (fig. 3 et 4). La plupart d'entre eux sont identifiables dans la plus grande partie du bassin anglo-parisien, dans des coupes parfois éloignées de plusieurs centaines de kilomètres les unes des autres. Ces événements à grande extension géographique peuvent être considérés le plus souvent comme le résultat de changements rapides de hauteur du niveau marin (Amédéo, 1992, sous presse). Mais

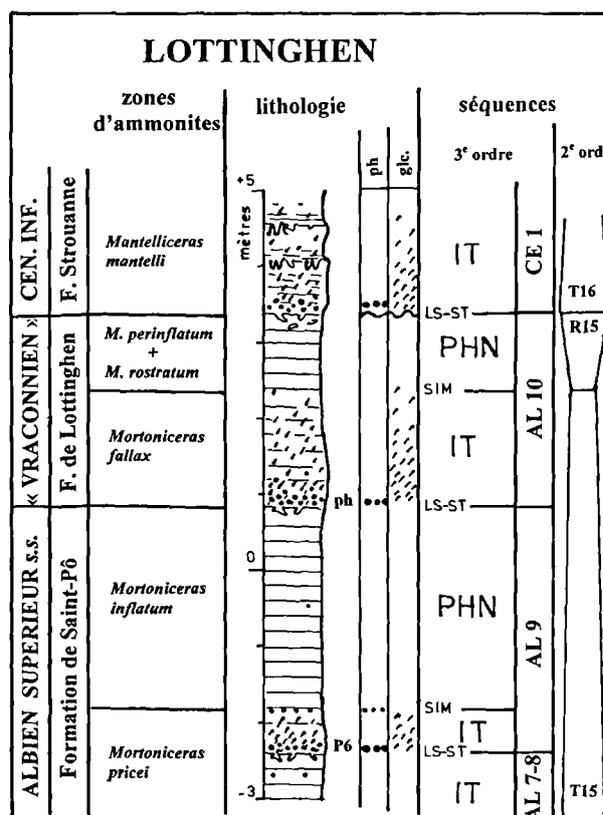


Fig. 4. — L'Albien supérieur de Lottinghen

Fig. 4. — Section in the Upper Gault at Lottinghen

dans quelques cas, il peut s'agir aussi d'événements tectoniques et en particulier de déformations de la plaque européenne liées à l'ouverture du golfe de Gascogne et à la convergence Afrique-Eurasie (Guillocheau *et al.*, 1999).

1) Événements sédimentaires

Lacunes de sédimentation. Les changements de faciès observés à l'occasion du dépôt des sables verts de la Formation des Gardes, puis des argiles à faciès Gault et enfin de la craie coïncident avec trois lacunes de sédimentation majeures. Celles situées à la base des sables verts et à la limite entre les argiles à faciès Gault et la craie correspondent aux « révolutions du globe » du début du XIX^e siècle, expliquant par la théorie du « catastrophisme » les lacunes et les coupures franches remarquées entre les étages Aptien, Albien et Cénomanién de d'Orbigny (1852). La lacune de sédimentation identifiée à la limite entre les sables verts et les argiles à faciès Gault est plus régionale. La bordure NE du bassin anglo-parisien, déformée et soulevée lors de la compression survenue à l'Aptien « terminal », reste jusqu'à la base de l'Albien moyen en position haute et forme une sorte de plate-forme (Guillocheau *et al.*, 1999 ; Amédéo & Matrimon, 2004). Dans les trois cas, ces événements sédimentaires sont interprétés aujourd'hui comme le résultat de baisses significatives et momentanées de la hauteur du niveau marin d'origine eustatique (cycles de 2^e ordre ; Jacquin *et al.*, 1998), mais pourraient correspondre aussi à des déformations, soulèvements ou basculements de la plaque européenne

initiés par l'ouverture du golfe de Gascogne (Guillocheau *et al.*, 1999) ou par les poussées de l'Afrique en relation avec l'ouverture de l'océan atlantique (Ferry *et al.*, 2008).

Niveaux phosphatés. Sept lits de nodules phosphatés majeurs sont présents dans l'Albien du Boulonnais :

- les niveaux phosphatés P1 et P2 qui encadrent les sables glauconieux de la Formation des Gardes ;
- les niveaux P3 à P6 situés au sein des argiles à faciès Gault de la Formation de Saint-Pô ;
- le niveau phosphaté basal de la Formation de Lottinghen.

A ces 7 lits de nodules phosphatés bien exprimés constituants autant de niveaux-repères, s'ajoutent 4 lits plus discrets, identifiés pour la première fois ici, et situés respectivement :

- dans la Formation des Gardes, 0,30 m au-dessus du P1 ;
- dans la Formation de Saint-Pô, (a) 0,60 m au-dessus du P3, au niveau de disparition de la glauconie c'est à dire à la limite entre les lits l et m ; (b) 0,50 m au-dessus du P5 ; (c) 0,40 m au-dessus du P6, également au niveau où la glauconie disparaît.

Au point de vue sédimentologique, l'examen de tous ces lits de nodules phosphatés amène trois remarques :

- la plupart d'entre eux surmontent des surfaces perforées ;
- de nombreux nodules sont cassés ou usés ;
- certains sont bioturbés, mais les perforations sont elles-mêmes cimentées par une seconde génération de phosphate.

Toutes ces observations convergent vers la même conclusion : des arrêts de sédimentation prolongés, accompagnés de courants, sont associés aux niveaux phosphatés. En tenant compte de ces données, les niveaux phosphatés sont interprétés comme les témoins d'inondations transgressives liées à des courants de remontées d'eaux océaniques profondes (upwellings) apportant avec eux les ions phosphore. Suivant les concepts de la stratigraphie séquentielle développés par Vail *et al.* (1987), il s'agit de surfaces d'inondation de cycles eustatiques de 3^e ordre.

Glauconie. La présence de glauconie est généralement associée aux intervalles transgressifs des séquences eustatiques de 3^e ordre. Quatre niveaux contenant de la glauconie de façon significative existent dans l'Albien du Boulonnais :

- les sables verts de la Formation des Gardes ;
- les 0,60 m inférieurs des argiles à faciès Gault surmontant le niveau phosphaté P3 (lit l) ;
- les 0,40 m d'argiles marneuses du lit v de la Formation de Saint-Pô situés immédiatement au-dessus du P6. A noter une augmentation de la teneur en glauconie en se dirigeant vers le Sud du Boulonnais et au-delà ;
- la partie inférieure de la Formation de Lottinghen représentée par une véritable glauconitite.

Surfaces de ravinement et surfaces perforées. Un certain nombre de surfaces de ravinement et de surfaces perforées sont associées aux niveaux phosphatés et correspondent à des

arrêts de sédimentation prolongés. Ces discontinuités, localisées sous les niveaux phosphatés P1, P3, P4, P5, P6 et sous le lit de nodules phosphatés basal de la Formation de Lottinghen, sont connues dans la totalité du bassin anglo-parisien et marquent les limites des séquences de 3^e ordre. Les autres surfaces perforées, situées aux limites entre les lits m et n, p et q et enfin q et r, coïncident simplement avec des changements de teinte de l'argile (noire en dessous, grise au-dessus ou vice versa). La répartition géographique de ces événements sédimentaires s'étend au moins à l'ensemble du Boulonnais (Amédéo & Magniez-Jannin, 1982 ; Amédéo *et al.*, 1990) et du SE de l'Angleterre (Owen, 1971). Leur signification n'est pas encore élucidée. Peut être s'agit-il de surfaces d'omission liées aux cycles astronomiques de précession des équinoxes ? Cette hypothèse reste cependant à valider dans la mesure où leur nombre semble réduit par rapport à ce que l'on observe dans les Argiles tégulines de Courcelles dans l'Aube (Amédéo & Matrimon, 2007).

2) Événements bio-écologiques

Plusieurs niveaux repères caractérisés par l'abondance d'un macrofossile (horizons riches en *Falciferella milbournei*, *Hemiaster bailyi*, *Actinoceramus sulcatus*, *Moutonithyrus dutempleana*...) existent dans l'Albien du Boulonnais. Mais ce sont surtout les niveaux riches en ammonites appartenant à la famille des Brancoceratidae qui offrent un intérêt particulier.

Les ammonites présentes dans l'Albien du bassin anglo-parisien peuvent être classées en trois groupes en fonction de l'étendue de leur distribution géographique.

Le premier groupe correspond à des formes limitées au domaine boréal dont fait partie le NW de l'Europe incluant le bassin anglo-parisien. Il s'agit essentiellement de la famille des Hoplitidae qui représente 35 à 80 % des populations successives d'ammonites. Les Hoplitidae sont caractérisés généralement par la présence de côtes lautiformes (côtes naissant par paire au niveau des tubercules ombilicaux et se réunissant de nouveau sur les tubercules ventro-latéraux en formant une boucle). Deux grandes lignées phylétiques dérivant du genre *Hoplites* se développent au cours de l'Albien moyen et supérieur :

- les « Anahoplitids » à région ventrale légèrement concave ou convexe, source des *Schloenbachia* cénomaniens ;
- les « Euhoplitids » à région ventrale creusée d'un sillon ou d'un canal, à l'origine des *Hyphoplites* cénomaniens.

Le second groupe rassemble les ammonites considérées comme caractéristiques d'autres provinces fauniques (domaine téthysien par exemple). Leur proportion toujours très faible (inférieure à 0,1 %) suggère qu'il s'agit de coquilles égarées, probablement flottées *post-mortem*.

Enfin le troisième groupe comprend les formes communes aux domaines boréal, téthysien et sud-tempéré. Ce groupe comprend, surtout à l'Albien moyen et supérieur, la famille des Brancoceratidae caractérisée par la présence d'une carène siphonale (*Oxytropidoceras*, *Mojsisoviczia*, *Dipoloceras*, *Mortoniceras*, *Prohysterocheras*, *Hysterocheras*...).

A Wissant, dans l'intervalle compris entre les niveaux phosphatés P3 et P5 inclus, c'est à dire dans l'Albien moyen et supérieur basal, les Hoplitidae abondent, tandis qu'à l'inverse les faunes cosmopolites sont quasiment inexistantes. Cet état traduit une endémisation du bassin. L'hypothèse la plus probable est un bas niveau marin entraînant un isolement du bassin anglo-parisien limité au Nord par la plate-forme Londres-Brabant et au Sud par le seuil de Bourgogne. Toutefois, les niveaux phosphatés P3, P4 et P5 coïncident chacun avec des incursions ponctuelles de faunes à caractère cosmopolite, respectivement les *Oxytropidoceras* en P3, *Mojsisovicsia* en P4 et *Dipoloceras* en P5. Ceci suggère des communications momentanées, mais toujours limitées, avec les autres provinces fauniques, dans la mesure où les apports ne dépassent jamais 8% des populations d'ammonites.

En revanche, au-dessus du niveau phosphaté P5, les ammonites cosmopolites prolifèrent soudainement avec 55 % ou plus des populations successives. Une telle abondance suggère un élargissement des communications entre les domaines boréal et téthysien sous l'action d'une élévation importante de hauteur du niveau marin d'origine eustatique.

3) Les cycles eustatiques de 2^e et 3^e ordre

Les concepts actuels de la stratigraphie séquentielle permettent, pour la première fois dans l'histoire de la géologie, d'interpréter l'ensemble des événements sédimentaires et bio-écologiques décrits dans l'Albien du Boulonnais de façon cohérente. Ces événements apparaissent comme la traduction lisible sur le terrain des cycles eustatiques de 2^e et 3^e ordre au sens de Vail *et al.* (1987) et Haq *et al.* (1988).

La reconnaissance des cycles eustatiques de 2^e ordre repose en grande partie sur l'étude des profils sismiques en plus des données de terrain (répartition géographique des surfaces d'érosion majeures, des faciès de dépôts...). Trois cycles de second ordre ont été identifiés dans l'Albien du NW de l'Europe par Jacquin *et al.* (1998) et Amédéo & Matrimon (2004) avec des pics de transgression situés, pour le premier dans l'Albien inférieur aux confins des zones à *Leymeriella tardefurcata* et à *L. regularis* (cycle 14a), pour le second à la base de l'Albien moyen durant la zone à *Hoplites (H.) benettianus* (cycle 14b) et pour le troisième dans l'Albien terminal (Vraconnien) durant la zone à *Mortoniceras fallax* (cycle 15). Ces variations à long terme n'apparaissent pas clairement dans la partie inférieure de l'Albien du Boulonnais en raison des importantes lacunes de sédimentation qui occultent, de part et d'autre des sables glauconieux de la Formation des Gardes, la plus grande partie de l'Albien inférieur et la base de l'Albien moyen. En revanche, dans les argiles à faciès Gault de la Formation de Saint-Pô, l'isolement du bassin anglo-parisien mis en évidence au sommet de l'Albien moyen (du niveau phosphaté P3 à la base du P5), puis l'élargissement des communications entre les domaines boréal et téthysien observé à la base de l'Albien supérieur (à partir du P5) sont interprétés comme les phases régressive du cycle 14b et transgressive du cycle 15.

Les cycles de 3^e ordre sont mieux exprimés dans l'Albien du Boulonnais. L'interprétation séquentielle des successions albiennes du bassin anglo-parisien réalisée par Amédéo (sous presse) reconnaît 9 cycles eustatiques de 3^e ordre, dont 6 au moins sont enregistrés dans les coupes de Wissant et Lottinghen. Il n'est pas question ici de définir de nouveau les

séquences de 3^e ordre. En revanche, il semble intéressant de replacer les événements sédimentaires et bio-écologiques décrits dans l'Albien du Boulonnais dans le contexte global des variations eustatiques du niveau marin. Les figures 3 et 4 résument l'interprétation séquentielle actuelle de la succession albiennaise du Boulonnais.

Les sables glauconieux de la Formation des Gardes correspondent à un seul prisme sédimentaire : l'intervalle transgressif de la séquence AL 3. A la base, le niveau phosphaté P1 représente la surface de transgression tandis qu'au sommet, le P2, à morphologie de hardground, amalgame trois surfaces d'inondation successives dont la surface d'inondation maximale (par comparaison avec la coupe de Westerham dans le Kent, U.K. ; cf. Amédéo, sous presse). Le prisme de haut niveau n'est pas enregistré.

Les argiles à faciès Gault des Formations de Saint-Pô et de Lottinghen incluent 5 séquences indexées AL 5 à AL 10. De façon générale les limites de séquences, qui coïncident ici avec les surfaces de transgression, sont des surfaces perforées surmontées de lits de nodules phosphatés. Les intervalles transgressifs débutent à la base par un lit de nodules phosphatés riche en lamellibranches, gastéropodes et ammonites cosmopolites. Dans le cas des séquences AL 5, AL 9 et AL 10, de la glauconie est également présente. Les surfaces d'inondation maximale sont repérées, soit par la présence d'un petit lit de nodules phosphatés non jointifs au-dessus duquel les ammonites cosmopolites disparaissent et la macrofaune se raréfie, soit par la disparition de la glauconie, soit par une surface perforée. A noter qu'en ce qui concerne la séquence AL 5, il serait tentant de situer la surface d'inondation maximale au niveau de disparition de la glauconie où se trouve également un lit de petits nodules phosphatés, c'est à dire à la limite entre les lits l et m ou encore à la limite entre les zones à *Hoplites dentatus* et à *Anahoplites intermedius*. Cette façon de voir n'est cependant pas retenue en raison de la présence de nombreuses ammonites cosmopolites (*Falciferella*) sur toute la hauteur des argiles du lit m. En guise d'essai, la surface d'inondation maximale de la séquence AL 5 est placée au niveau de la surface perforée limitant les lits m et n. Dans la séquence AL 6, le niveau phosphaté P4 est considéré comme l'intervalle transgressif condensé de la séquence et les argiles à *Dimorphoplites biplicatus* des lits p à r comme le prisme de haut niveau. En revanche dans la séquence AL 7-8, les argiles à *Mortoniceras pricei* du lit t situées au-dessus du niveau phosphaté P5 sont interprétées comme représentant la partie supérieure de l'intervalle transgressif en raison d'une prolifération soudaine d'ammonites cosmopolites dans ces argiles. Si dans le cas du P4, la genèse du lit de nodules phosphatés est suivie d'une baisse du niveau marin, dans le cas du P5 il y a au contraire accentuation de l'épisode transgressif. La comparaison avec la coupe de Folkestone au SE de l'Angleterre révèle en revanche que le prisme de haut niveau de la séquence AL 7-8 n'est pas préservé dans le Boulonnais.

IV. — COMPARAISON AVEC LE SUD-EST DE L'ANGLETERRE (FOLKESTONE)

Trente-sept kilomètres séparent la baie de Wissant des falaises de Folkestone situées dans le Kent au SE de l'Angleterre. Les Folkestone beds et le Gault de Folkestone

constituent un des gisements de référence dans l'Albien du bassin anglo-parisien. La coupe est aujourd'hui bien connue, en particulier grâce aux travaux de Jukes-Browne & Hill (1900), Spath (1923-1943), Casey (1961, 1966) et Owen (1971, 1976, 1988, 1992). La corrélation entre l'Albien de l'Est du Kent (Folkestone) et du Boulonnais (Wissant, Lottinghen) est présentée dans la figure 5. Dans la mesure où la plus grande partie des Folkestone beds est attribuée aux zones d'ammonites successives à *Leymeriella regularis* et à *Sonneratia kitchini* qui manquent à Wissant, seul le sommet de la formation est illustré.

La comparaison des coupes révèle tout d'abord une importante réduction d'épaisseur entre le Kent et le Boulonnais. En prenant l'exemple des argiles à faciès Gault, celles-ci passent de 40,50 m à Folkestone à moins de 15 m dans le Boulonnais, même en associant dans une coupe synthétique les affleurements de Wissant et la carrière de Lottinghen. Cette différence dans l'enregistrement sédimentaire tient à la situation géographique plus marginale du Boulonnais sur la bordure NE du bassin anglo-parisien. Dans le détail, la corrélation entre le sommet des Folkestone beds et la Formation des Gardes (= « Sables verts *auct.* ») est assez délicate. Le « Main *Mammillatum* Bed » de Folkestone est un niveau phosphaté très condensé dans lequel on trouve de nombreuses ammonites incluant : *Beudanticeras newtoni*, *Cleoniceras (C.) floridum*, *Otohoplites waltoni*, *O. raulinianus*, *O. auritifformis*, *O. destombesi*, *O. bulliensis*, *Sonneratia dutempleana*, *Pseudosonneratia occidentalis*, *Hemisonneratia puzosiana*, *Protohoplites archiacianus*, *Douvilleiceras mammillatum*... Cette association réunit dans le même lit de nodules phosphatés celles des niveaux phosphatés P1 à *C. floridum* et P2 à *O. raulinianus* et *H. puzosiana* du Boulonnais. Situé 0,90 m au-dessus du « Main *Mammillatum* Bed », le « Sulphur Band » présente la morphologie d'une ébauche de hardground dont les nodules phosphatés, encroûtés de pyrite, contiennent des moules internes mal préservés de *Beudanticeras*, *Douvilleiceras*, *Hemisonneratia puzosiana* et *Otohoplites* incluant *O. bulliensis*. Cette dernière espèce est aussi présente dans le niveau phosphaté P2 de Wissant dont les nodules sont également encroûtés de pyrite bien cristallisée. En définitive, si le « Main *Mammillatum* Bed » de Folkestone réunit en un seul niveau condensé l'intervalle P1-P2 du Boulonnais, en sens inverse le P2 correspond au « Main *Mammillatum* bed » *pro parte* et au « Sulphur Band » de l'Est du Kent !

La limite supérieure du Sulphur Band coïncide de part et d'autre de la Manche avec une importante discontinuité sédimentaire. La lacune de sédimentation associée marque la limite entre les Folkestone Beds et le Gault côté anglais, entre les sables glauconieux de la Formation des Gardes et les argiles à faciès Gault de la Formation de Saint-Pô côté français.

A Folkestone, le Gault débute par un nouvel intervalle condensé épais de 0,50 m, constitué de trois lits de nodules phosphatés inclus pour les deux niveaux inférieurs dans une gangue de sable argilo-glauconieux vert foncé (« Greensand Seam ») et pour le niveau supérieur dans une argile glauconieuse. Ces trois lits de nodules phosphatés contiennent trois associations d'ammonites différentes, successivement à *Hoplites (Isohoplites) steinmanni* (Jacob), puis à *Hoplites (Hoplites) benettianus* (J. de C. Sowerby) et *Lyelliceras lyelli* (d'Orbigny), enfin à *Hoplites (Hoplites) dentatus* et *Oxytropidoceras (O.) roissyanum*. Dans le Boulonnais, seul le

troisième lit de nodules phosphatés est représenté à la base de la Formation de Saint-Pô. Il s'agit du niveau phosphaté P3 à *H. (H.) dentatus*. La lacune de sédimentation située à la limite entre les sables glauconieux et les argiles à faciès Gault est plus importante dans le Boulonnais que dans le Kent.

La corrélation des argiles à faciès Gault est plus simple. La Formation de Saint-Pô correspond aux beds I à XI de Folkestone. L'examen de la figure 5 montre une grande similitude des coupes malgré la réduction d'épaisseur côté français. La continuité lithologique de part et d'autre de la Manche est démontrée par la présence commune de glauconie à la base des argiles et la succession comparable de surfaces perforées et horizons riches en nodules phosphatés. En particulier, les quatre principaux lits de nodules phosphatés présents à Folkestone à la base du bed I, dans les beds IV, VIII et la moitié supérieure du bed X, qui surmontent chacun une surface perforée, correspondent respectivement aux niveaux P3, P4, P5 et P6 de Wissant. A noter cependant que les niveaux phosphatés P4 et P5 du Boulonnais sont simples et non disposés par paires comme dans le Kent, ce qui traduit une plus grande condensation. Ces niveaux phosphatés amalgament deux surfaces d'inondation successives, dont la surface de transgression, qui sont séparées par plusieurs décimètres d'argile à Folkestone. La continuité lithologique est complétée par la présence dans les deux régions de plusieurs horizons paléontologiques particuliers caractérisés pour les principaux d'entre eux de la façon suivante :

- abondance de la petite ammonite *Falciferella milbournei* dans le bed II de Folkestone et son équivalent français au sommet de la zone à *Anahoplites intermedius* ;
- présence fréquente de l'échinide spatangéide *Hemister bailyi* dans le bed III et son équivalent, c'est à dire dans la zone à *Dimorphoplites niobe* ;
- présence minoritaire, mais hautement caractéristique, de l'ammonite *Mojsisovicsia subdelaruei* dans le lit inférieur du bed IV et dans le niveau phosphaté P4 (« *Mojsisovicsia* event ») ;
- présence comparable de l'ammonite *Dipoloceras cristatum* dans le bed VIII et le P5 (« *Dipoloceras* event ») ;
- abondance de l'inocérame *Actinoceramus sulcatus* dans les beds VIII et IX et dans l'intervalle P5 – P6 inclus, c'est à dire dans la zone à *D. cristatum* et la moitié inférieure de la zone à *Mortoniceras pricei* ;
- présence fréquente du brachiopode *Moutonithyrus dutempleana* dans la moitié supérieure du bed X et dans le P6 ainsi que dans les 0,40 m d'argiles immédiatement supérieures. Cette dernière ligne de corrélation paléontologique révèle d'ailleurs que la moitié inférieure du bed X de Folkestone n'est pas représentée sous faciès argileux à Wissant, mais est condensée dans le P6.

Terminant la succession, la Formation de Lottinghen attribuée à l'Albien terminal (Vraconnien) correspond aux beds XII et XIII de Folkestone. Les caractères lithologiques : présence de phosphate et glauconie au-dessus d'une surface perforée, puis marne grise, sont identiques et n'appellent pas de remarque particulière. A noter que la présence de Vraconnien dans le Boulonnais est restée ignorée jusqu'en 1980. Les nombreuses coupes décrites depuis tout le long de l'escarpement crayeux du Boulonnais ont révélé sa présence constante, comme d'ailleurs dans l'ensemble du Nord de la France et de la Belgique, sauf dans la baie de Wissant et aux environs du cap Blanc-Nez.

En définitive, l'image apportée par cette comparaison est celle d'une histoire sédimentologique commune entre le Kent et le Boulonnais avec toutefois une subsidence accrue du côté anglais.

V. — CONCLUSION

Les « Sables verts » et le « Gault » de Wissant font partie des gisements types de l'étage Albien choisis par d'Orbigny en 1842 en complément du département de l'Aube. La baie de Wissant est la seule localité du bassin de Paris où l'Albien moyen et une grande partie de l'Albien supérieur affleurent de façon permanente. Il s'agit également d'un gisement à caractère pédagogique dans la mesure où un ensemble d'événements sédimentaires et bio-écologiques aisément

repérables permettent de réaliser assez facilement une interprétation séquentielle. Tous ces aspects confèrent au site un intérêt particulier. Les nombreuses visites effectuées par l'auteur sur les affleurements durant les trois dernières décennies permettent d'actualiser les connaissances antérieures et de décrire la coupe de façon plus détaillée. La précision du levé lithologique est d'ordre centimétrique tandis que la collection de macrofossiles recueillis en place rassemble plusieurs milliers de spécimens dont plus de 3000 ammonites. En addition, une autre coupe située dans une ancienne carrière d'argile de la cimenterie de Lottinghen au Sud-Est du Boulonnais est étudiée. Celle-ci montre l'Albien terminal (Vraconnien) qui manque à Wissant en raison d'une érosion locale.

Remerciements. — Mr Francis Robaszynski (Mons, B.) a accepté de relire ce manuscrit en y apportant ses remarques constructives. Qu'il en soit chaleureusement remercié.

BIBLIOGRAPHIE

- AMÉDRO F. (1981). — Actualisation des zonations d'ammonites dans le Crétacé moyen du bassin anglo-parisien. Essai d'une zonation phylétique de l'Albien au Turonien. *Cretaceous Research*, 2, 261-269.
- AMÉDRO F. (1984). — L'Albien de la bordure septentrionale du bassin de Paris. Mise en évidence d'un contrôle tectonique de la sédimentation. *Bull. Bur. Rech. Géol. Min.*, Sect. 4, 3, 179-192.
- AMÉDRO F. (1985). — Nouvelles données paléontologiques (ammonites) sur l'Albien de la bordure Nord-Est du Bassin de Paris (de la Thiérache au Perthois). *Bull. Soc. Géol. Normandie et Amis du Mus. du Havre*, 71, 17-30, 1 pl.
- AMÉDRO F. (1992). — L'Albien du bassin anglo-parisien : ammonites, zonation phylétique, séquences. *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, 16, 1, 187-233.
- AMÉDRO F. (2002). — Plaidoyer pour un étage Vraconnien entre l'Albien *sensu stricto* et le Cénomani (système Crétacé). *Acad. Royale Belgique, public. Classe Sciences*, 3^e sér., 4, 128 p., 9 pls.
- AMÉDRO F. (2008). — Support for a Vraconnian Stage between the Albian *sensu stricto* and the Cenomanian (Cretaceous System). *Carnets de Géologie / Notebooks on Geology*, Memoir 2008/02, 83 p., 9 pls.
- AMÉDRO F. (sous presse). — Stratigraphie séquentielle des successions albiennes du bassin anglo-parisien et du bassin de Mons (B.) *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*,
- AMÉDRO F. & DESTOMBES P. (1978). — Répartition des ammonites dans l'Albien moyen et supérieur, argileux, de Wissant (Boulonnais). *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, 15, 4, 9-15.
- AMÉDRO F. & MAGNIEZ-JANNIN F. (1982). — Corrélations lithologiques et biostratigraphiques dans l'Albien du Boulonnais. *Ann. Soc. Géol. Nord*, 101, 133-143.
- AMÉDRO F., MAGNIEZ-JANNIN F. & ROBASZYNSKI F. (1990). — L'Albien au sondage de Dannes-1980 (Pas-de-Calais, France). *Ann. Soc. Géol. Nord*, 108, 195-203.
- AMÉDRO F. & MATRION B. (2007). — Une coupe lithologique synthétique dans l'Albien-type de l'Aube, France. *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, 44, 7-23.
- AMÉDRO F. & MATRION B. (2008). — Corrélations dans l'Albien de l'Yonne et de l'Aube, France (lithologie et ammonites). *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, 45, 2, 12-24.
- BARROIS Ch. (1873). — Comparaison des assises crétacées mises au jour dans les tranchées du chemin de fer de Saint-Omer à Boulogne avec celles du Blanc-Nez. *Mém. Soc. Sci. Agric. Arts Lille*, 3, 11, 63-75.
- BARROIS Ch. (1874). — Sur le Gault et sur les couches entre lesquelles il est compris dans le bassin de Paris. *Ann. Soc. Géol. Nord*, 2, 1-61.
- CASEY R. (1961). — The stratigraphical Palaeontology of the Lower Greensand. *Palaeontology*, 3, 487-621, pls 77-84.
- CASEY R. (1966). — Palaeontology of the Gault. In SMART J.G.O., BISSON G. & WORSSAM B.C. *Geology of the country around Canterbury and Folkestone. Mem. Geol. Surv. Great. Brit.*, 102-113, pl. 4.
- DESPLATS D. (1977). — Contribution à l'étude de la flore fossile du Gault de Wissant (Pas-de-Calais). *Thèse 3^e cycle*, Univ. Paris VI, 139 p., 50 pls.
- DESTOMBES J.-P. & DESTOMBES P. (1938). — Note sur le Gault de Wissant. *Ann. Soc. Géol. Nord*, 62, 98-121.
- DESTOMBES J.-P. & DESTOMBES P. (1943). — Sur l'Albien supérieur de Wissant (Pas-de-Calais). *C.R. Somm. Soc. Géol. France*, 204-206.
- DESTOMBES J.-P. & DESTOMBES P. (1963a). — Barytine sédimentaire dans les argiles albiennes de Wissant (Pas-de-Calais). *C.R. Somm. Soc. Géol. France*, 5, 169-170.
- DESTOMBES J.-P. & DESTOMBES P. (1963b). — L'anticlinal des Quénocs au cap Blanc-Nez (Pas-de-Calais). *Ann. Soc. Géol. Nord*, 83, 47-56, 1 pl.
- DESTOMBES P. (1958). — Révision de l'Albien de la région du Havre. Déductions paléogéographiques sur le NW du bassin parisien au Crétacé moyen. *Bull. Soc. Géol. France*, 6, 8, 305-313.
- DESTOMBES P. (1962). — Présence dans l'Albien du Boulonnais d'une ammonite du genre *Falciferella* Casey (Haplocerataceae, Binneyitidae). *C.R. Somm. Soc. Géol. France*, 7, 196.
- DESTOMBES P. & DESTOMBES J.-P. (1965). — Distribution zonale des ammonites dans l'Albien du bassin de Paris. *Mém. Bur. Rech. Géol. Min.*, 34, 255-270.

- FERRY S., GROSHENY D., CHIKHI F. & JATI M. (2008). — Pulsations tectoniques globales dans l'intervalle Cénomanién-Campanien. Liens avec le volcanisme et le climat? *Réunion thématique du Groupe Français du Crétacé* – Paris, 1^{er}-2 décembre 2008, (résumés), 15-16.
- GUILLOCHEAU F. *et al.* (1999). — Evolution géodynamique du Bassin de Paris : apport d'une base de données stratigraphiques 3D. *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, 36, 3-35.
- HAQ B.U., HARDENBOL J. & VAIL P.R. (1988). — Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change. *S.E.P.M.*, spec. public., 42, 71-108.
- JACQUIN T., AMÉDRO F., DE GRACIANSKI P.C., HARDENBOL J., MAGNIEZ-JANNIN F. & RUSCIADELLI G. (1998). — The north-Atlantic cycle : an overview of second order transgressive-regressive facies cycles in Western Europe. *In* Cenozoic and Mesozoic Sequence Stratigraphy of European Basins. *S.E.P.M. Spec. Public.*, 60, 397-409.
- JUKES-BROWNE A.J. & HILL W. (1900). — The Cretaceous Rocks of Britain. 1- The Gault and Upper Greensand of England. *Mem. Geol. Surv. U.K.*, 499 p., 5 pls.
- KENNEDY W.J., GALE A.S., BROWN P.R., CARON M., DAVEY R.J., GROCKE D. & WRAY D.S. (2000). — Integrated stratigraphy across the Aptian-Albian boundary in the Marnes bleues, at Col de Pré-Guittard, Arnavon (Drôme), and at Tartonne (Alpes de Haute-Provence), France: a candidate Global Boundary Stratotype Section and Boundary Point for the base of the Albian stage. *Cretaceous Research*, 21, 591-720.
- ORBIGNY A. d' (1840-1842). — Paléontologie française. Terrains Crétacés. t.1- Céphalopodes. 662 p., 151 pls, Masson, Paris.
- ORBIGNY A. d' (1842-1843). — Paléontologie française. Terrains Crétacés. t.2- Gastéropodes. 404 p., pls 152-236, Masson, Paris.
- ORBIGNY A. d' (1852). — Cours élémentaire de paléontologie et de géologie stratigraphique. 847 p., Masson, Paris.
- OWEN H.G. (1971). — Middle Albian Stratigraphy in the anglo-Paris basin. *Bull. Brit. Mus. Nat. Hist. (Geol.)*, 8, 164 p., 3 pls.
- OWEN H.G. (1976). — The stratigraphy of the Gault and Upper Greensand of the Weald. *Proc. Geol. Ass.*, 86, 475-498.
- OWEN H.G. (1988). — The ammonite zonal sequence and ammonite taxonomy in the *Douvilleiceras mammillatum* Superzone (Lower Albian) in Europe. *Bull. Brit. Mus. Nat. Hist. (Geol.)*, 44, 3, 177-231.
- OWEN H.G. (1992). — The Gault – Lower Greensand Junction Beds in the northern Weald (England) and Wissant (France), and their depositional environment. *Proc. Geol. Ass.*, 103, 83-110.
- RASMUSSEN H.W. (1971). — Cretaceous crinoids (Comatulida and Roveacrinida) from England and France. *Bull. Geol. Soc. Denmark*, 20, 285-294, pls 1-4.
- RENEVIER E. (1868). — Notices géologiques et paléontologiques sur les Alpes vaudoises et les régions environnantes. 5. Complément de la faune de Cheville. *Bull. Soc. Vaudoise Sci. Nat.*, 9, 58, 389-482, pls. 6, 7.
- ROBASZYNSKI F., AMÉDRO F. coord., FOUCHER J.C., GASPARD D., MAGNIEZ-JANNIN F., MANIVIT H. & SORNAY J. (1980). — Synthèse biostratigraphique de l'Aptien au Santonien du Boulonnais à partir de sept groupes paléontologiques : foraminifères, nannoplancton, dinoflagellés et macrofaunes. *Rev. Micropal.*, 22, 4, 195-321, 20 pls.
- ROBASZYNSKI F. & AMÉDRO F. (1986). — The Cretaceous of the Boulonnais (France) and a comparison with the Cretaceous of Kent (United Kingdom). *Proc. Geol. Ass.*, 97, 2, 171-208.
- ROBASZYNSKI F. & AMÉDRO F. (1993). — Les falaises crétacées du Boulonnais : la coupe de référence du Cap Blanc-Nez dans un contexte sédimentaire global. *Ann. Soc. Géol. Nord*, 2, (2^e sér.), 31-44.
- ROBASZYNSKI F. & AMÉDRO F. (2001). — Des nouveautés dans le Crétacé de la feuille de Marquise (éd. 2000). *Ann. Soc. Géol. Nord*, 9, 25-38.
- SPATH L.F. (1923-1943). — A monograph of the Ammonoidea of the Gault. *Palaeontogr. Soc.* (London), parts 1 to 16, 787 p., 72 pls.
- VAIL P.R., COLIN J.-P., JAN DU CHÈNE R., KUCHLY J., MÉDIAVILLA F. & TRIFILIEFF V. (1987). — La stratigraphie séquentielle et son application aux corrélations chronostratigraphiques dans le Jurassique du bassin de Paris. *Bull. Soc. Géol. France*, 8, 3, 1301-1321.

BIODIVERSITÉ, ENVIRONNEMENTS ET ÉVOLUTION AU PALÉOZOÏQUE : LE CAS DES VERTÉBRÉS DU CAMBRIEN AU DÉVONNIEN (-542 à -359 Ma)

Palaeozoic biodiversity, environments and evolution: the case of Cambrian to Devonian vertebrates (-542 to -359 My)

par Alain BLIECK (*)

Résumé. — Les vertébrés du Paléozoïque inférieur et moyen sont des organismes aquatiques. Leurs plus anciens représentants connus aujourd'hui sont des formes « céphalisées » non ossifiées (des craniotes) du Cambrien inférieur de Chine. Les plus anciennes formes ossifiées (des euvertébrés) datent de l'Ordovicien. C'est après la « lacune de Talimaa » que les vertébrés effectuent une première radiation adaptative au Silurien où dominent les formes agnathes (les ostracodermes), puis une seconde au Dévonien où dominent les formes à mâchoires (les gnathostomes), en particulier les placodermes (poissons cuirassés). C'est au Dévonien supérieur qu'apparaissent, au sein des sarcoptérygiens (des poissons osseux à nageoires charnues), les premiers tétrapodes qui sont encore aquatiques. Autrement dit la période du Cambrien au Dévonien (de - 542 à - 359 Ma) constitue une période cruciale de l'évolution des vertébrés avec la mise en place des structures fondamentales de leur anatomie (le crâne, les vertèbres, le squelette ossifié, les membres, ...). Contrairement à une idée reçue qui à la vie dure, les vertébrés ne sont pas apparus en milieu dulcicole mais en milieu marin. Dès le Silurien ils occupent tous les milieux possibles des plates-formes épicontinentales marines. C'est avec le développement des lithofaciès tardi- ou post-tectoniques du type des Vieux Grès Rouges (VGR) que se mettent en place des assemblages de vertébrés caractéristiques de milieux agités (ostracodermes et placodermes en particulier). On connaît ainsi au Dévonien des assemblages très riches de vertébrés tant dans les milieux marginomarin, intermédiaires et continentaux des VGR que sur les plates-formes marines (faciès carbonatés et « schisteux »). Les vertébrés subissent les deux crises biologiques de la fin du Dévonien : disparition des ostracodermes à la crise Frasnien-Famennien, disparition des placodermes à la limite Dévonien-Carbonifère. Les communautés de vertébrés aquatiques du Carbonifère seront très différentes de celles du Dévonien, avec domination des chondrichthyens (poissons cartilagineux) et des actinoptérygiens (l'autre groupe de poissons osseux). C'est après la « lacune de Romer » de la base du Carbonifère que se développeront les tétrapodes vraiment terrestres (amphibiens et reptiles).

Abstract. — *Early and Middle Palaeozoic vertebrates are aquatic organisms. Their most ancient representatives known today are Early Cambrian, cephalized unossified species (craniates) from China. The most ancient armoured species (euvertebrates) are Ordovician in age. After the « Talimaa's Gap » vertebrates have their first adaptive radiation during the Silurian when jawless species (ostracoderms) are dominant; they have their second radiation during the Devonian when jawed species (gnathostomes), and particularly the placoderms (armoured fishes), are dominant. Tetrapods appear in the Late Devonian among sarcopterygians (bony fishes with lobed fins); they are aquatic. So, it appears that the Cambrian to Devonian period (- 542 to - 359 My) is crucial for vertebrates, with the development of fundamental anatomical structures such as the skull, vertebrae, an ossified skeleton, their paired appendages ... Contrary to what may still be written in textbooks, vertebrates did not appear in freshwater but in marine environments. In the Silurian they do occupy all the environments of the marine epicontinental platforms. Vertebrate assemblages, typical for high energy environments (ostracoderms and placoderms in particular), take place with the development of late- and post-tectonic Old Red Sandstone facies (ORS). So, during the Devonian, are known very diversified vertebrate assemblages both in the marginal marine, intermediate and continental environments of the ORS, and on the marine platforms (carbonate and shaly facies). Vertebrates do encounter the two end-Devonian biological crises: disappearance of the ostracoderms at the Frasnian-Famennian crisis, disappearance of the placoderms at the Devonian-Carboniferous boundary. Carboniferous aquatic vertebrate communities are thus very different from the Devonian ones, with dominance of both the chondrichthyans (cartilaginous fishes) and actinopterygians (the other group of bony fishes). Actual terrestrial tetrapods (both amphibians and reptiles) will become abundant only after the earliest Carboniferous « Romer's Gap ».*

(*) Université de Lille 1 – Sciences et Technologies, UFR des Sciences de la Terre, UMR 8157 du CNRS Géosystèmes, équipe de Paléontologie et Paléogéographie du Paléozoïque, F-59655 Villeneuve d'Ascq cedex ; Alain.Blieck@univ-lille1.fr

I. — INTRODUCTION

Au niveau global, la période géologique qui nous intéresse ici correspond à une période de haut niveau de l'océan mondial et à un épisode chaud (« effet de serre ») de l'histoire de la Terre (mais avec une période glaciaire à la fin de l'Ordovicien – à l'Hirnantien*), le tout étant lié à une période d'activité importante des dorsales océaniques. C'est dans ce contexte général que doit être situé le développement des réseaux trophiques* marins depuis la fin du Néoprotérozoïque jusqu'à la fin du Dévonien (Klug *et al.*, sous presse) avec en ce qui concerne les vertébrés : (1) leur apparition au Cambrien, (2) le développement des 1^{ères} espèces ossifiées (à cuirasse osseuse dermique) à l'Ordovicien (ces premières formes sont démersales*), (3) une première radiation adaptative au Silurien avec occupation de tous les milieux possibles des plates-formes marines (c'est la « Nekton Revolution » des vertébrés; cf. Klug *et al.* qui situent cette révolution au Dévonien pour les « invertébrés »), et (4) une seconde radiation adaptative au Dévonien tant dans les milieux marginomarin, intermédiaires et continentaux des Vieux Grès Rouges* que dans les milieux des plates-formes marines (tant siliciclastiques que carbonatées), avec le développement des espèces vraiment nectoniques* (les « pélagiques* » de Klug *et al.*, sous presse) et des formes démersales (nectobenthiques*); c'est au cours du Dévonien que les espèces à mâchoires (les gnathostomes) deviennent dominantes sur les espèces sans mâchoires (agnathes), c'est ce que j'appellerai la « Predation Revolution » des vertébrés.

Le terme de vertébrés est utilisé par les systématiciens dans deux sens différents : soit il fait référence aux Craniata (myxines + vertébrés s.s.) soit aux Vertebrata (lamproies et autres animaux à vertèbres que nous avons baptisés Euvvertebrata : Turner *et al.*, sous presse ; fig. 1). Les Craniata (craniotes) sont caractérisés par leur crâne, les Vertebrata (vertébrés s.s.) par leurs vertèbres (arcualia), les Euvvertebrata par la présence des tissus durs minéralisés de leur squelette (émail ou émailloïde, dentine, os). Au sein des euvertebrés, les formes basales sont représentées par des espèces agnathes cuirassées, les « ostracodermes », connus de l'Ordovicien à la fin du Dévonien (les « ostracodermes » constituent un groupe paraphylétique); les formes plus dérivées sont représentées par des espèces à mâchoires, les Gnathostomata : d'abord les placodermes (à mâchoires mais sans dents véritables) puis les espèces à mâchoires et à dents ou Eugnathostomata (chondrichthyens et ostéichthyens) (fig. 1; Turner *et al.*, sous presse). Une grande incertitude règne encore dans les relations de parenté des formes basales de chordés. L'une des questions qui a été abondamment discutée ces dernières années concerne les affinités des conodontes avec les vertébrés. Les conodontes ont été considérés dès leur invention par Pander (1856) comme étant éventuellement des éléments de « poissons ». Cette hypothèse a été remise au goût du jour récemment par un groupe de paléontologues britanniques qui, en considérant que les tissus durs minéralisés des conodontes sont homologues de ceux des vertébrés, les a placés au sein des vertébrés en position assez coronale (dérivée), entre les lamproies et les

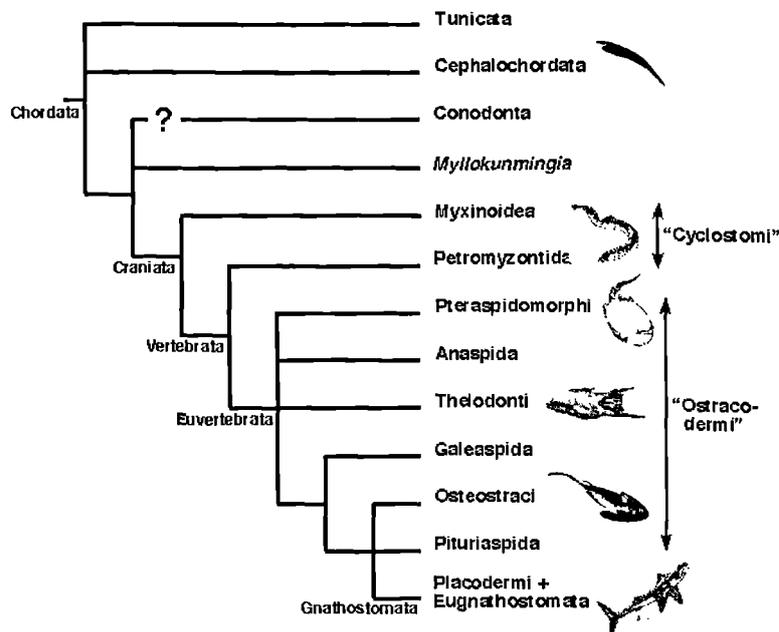


Fig. 1. — Représentation schématique de l'une des topologies obtenues dans l'analyse phylogénétique (cladistique) des chordés par Turner *et al.* (sous presse, modifié). Quelques-uns des caractères diagnostiques (synapomorphies) des principaux taxons sont les suivants : Chordata- notochorde ; Craniata- crâne ; Vertebrata- arcualia (vertèbres) ; Euvvertebrata- tissus durs minéralisés du squelette (émail ou émailloïde, dentine, os) ; Gnathostomata- mâchoires ; Eugnathostomata- dents.

Fig. 1. — Schematic illustration of one of the topologies obtained in the phylogenetic (cladistic) analysis of chordates after Turner *et al.* (in press, modified). Some of the diagnostic features (synapomorphies) of the main taxa are as follows : Chordata- notochord ; Craniata- skull ; Vertebrata- arcualia (vertebrae) ; Euvvertebrata- mineralized tissues of the skeleton (enamel or enameloid, dentine, bone) ; Gnathostomata- jaws ; Eugnathostomata- teeth.

(*) Les termes qui apparaissent pour la première fois avec un astérisque dans le cours du texte sont expliqués dans le glossaire en annexe.

« ostracodermes » (Smith *et al.*, 1996 ; Donoghue *et al.*, 2000). Cette homologie entre les tissus durs n'est toutefois pas admise par la majorité des paléovertébristes (Schultze, 1996; Kemp & Nicoll, 1996), si bien qu'une nouvelle analyse cladistique, fondée sur un nouveau codage des caractères, a abouti à un résultat nettement différent (fig. 1). Les conodontes, de façon provisoire, doivent être considérés comme étant tout au plus des chordés basaux. Enfin, la position phylogénétique du seul taxon cambrien interprété comme un vertébré possible, *Mylokunmingia* (syn. *Haikouichthys*), n'est pas claire (fig. 1; réf. in Turner *et al.*, sous presse).

Les vertébrés fossiles du Paléozoïque moyen (Dévonien en particulier) sont connus depuis le début du XIX^{ème} siècle en Ecosse et en Estonie. Ils ont été diversement interprétés dès leur découverte (en particulier comme des os de tortues ou d'autres reptiles). L'histoire de ces découvertes et de l'évolution de leurs interprétations a été partiellement traitée dans quelques articles (Blicek, 1985 ; Janvier, 1996, 2009 ; Taquet *et al.*, 2006). Le problème du milieu d'origine de ces vertébrés et des paléoenvironnements des Vieux Grès Rouges dans lesquels ils peuvent être récoltés en abondance a été posé dès leur découverte et n'a véritablement connu un début satisfaisant de réponse que récemment à partir d'études pluridisciplinaires. Ce point sera traité plus loin. Les vertébrés fossiles du Paléozoïque inférieur, quant à eux, n'ont été découverts qu'à la fin du XX^{ème} siècle (Ritchie & Gilbert-Tomlinson, 1977 ; Shu *et al.*, 1999).

II. — TENDANCES GÉNÉRALES DE LA BIODIVERSITÉ

On peut résumer l'évolution de la biodiversité (nombre de taxons) des vertébrés du Paléozoïque en trois étapes : 1- au Paléozoïque inférieur (Cambrien et Ordovicien), origine des vertébrés et premières radiations adaptatives suivies peut-être d'une crise fini-ordovicienne ; 2- au Paléozoïque moyen (Silurien-Dévonien, « l'âge des poissons »), biodiversification dans les environnements marins à continentaux, suivie de la crise Frasnien*/Famennien* ; 3- au Paléozoïque supérieur, en milieu aquatique, biodiversification des chondrichthyens (les poissons cartilagineux) et des ostéichthyens (les poissons osseux : actinoptérygiens à nageoires rayonnées et sarcoptérygiens à nageoires charnues, y compris les tétrapodes qui sont dérivés des sarcoptérygiens) et, en milieu terrestre, biodiversification des tétrapodes ... jusqu'à la crise Permien-Trias.

La diversité des vertébrés du Paléozoïque inférieur et moyen présente quelques fluctuations. En dehors des premières formes non ossifiées du Cambrien (voir plus loin), les premières espèces minéralisées et cuirassées datent de l'Ordovicien ; il s'agit d'ostracodermes tels que des Pteraspidomorphi (fig. 1) mais quelques espèces de gnathostomes existent déjà. Elles participent du « Great Ordovician Biodiversification Event » (GOBE) qui correspond à la mise en place de la faune évolutive du Paléozoïque, probablement liée au développement du plancton (fig. 2 ; Servais *et al.*, 2009). Dans l'état actuel, très fragmentaire, de l'enregistrement fossile des vertébrés ordoviciens, il est difficile de se prononcer sur le fait que ce groupe d'organismes ait subi ou non l'effet de la crise himantienne au cours de l'Ashgill, attribuée à une glaciation.

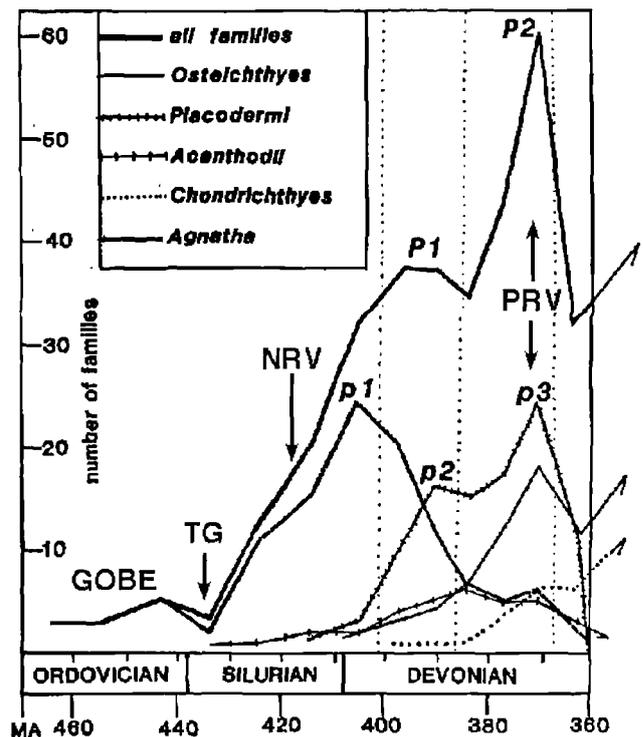


Fig. 2. — Courbe de biodiversité des vertébrés du Paléozoïque inférieur et moyen, estimée en nombre de familles par Long (1993). P1 et P2 sont les pics de biodiversité généraux ; p1 est le pic des agnathes (ostracodermes) ; p2 et p3 sont ceux des placodermes. Abréviations : GOBE, Great Ordovician Biodiversification Event ; TG, Lacune de Talimaa (Talimaa's Gap) ; NRV, « Nekton Revolution » des vertébrés ; PRV, « Predation Revolution » des vertébrés.

Fig. 2. — Biodiversity curve of Early and Middle Palaeozoic vertebrates, evaluated in number of families after Long (1993). P1 and P2 are the two general diversity peaks ; p1 is the diversity peak of agnathans (ostracoderms) ; p2 and p3 those of placoderms. Abbreviations : GOBE, Great Ordovician Biodiversification Event ; TG, Talimaa's Gap ; NRV, Nekton Revolution of vertebrates ; PRV, Predation Revolution of vertebrates.

Il semble en effet que les vertébrés effectuent une radiation adaptative à ce moment-là, certaines des espèces se retrouvant au Silurien. Néanmoins, le nombre de familles de vertébrés diminue à la fin de l'Ordovicien et on observe une lacune d'enregistrement à la base du Silurien (Rhuddanien*) que nous avons baptisée « lacune de Talimaa » (« Talimaa's Gap » en anglais, TG sur la fig. 2 ; Turner *et al.*, 2004). La première vraie radiation se situe au Silurien, elle est essentiellement le fait des agnathes (ostracodermes) : c'est la « Nekton Revolution » des vertébrés (NRV, fig. 2). Klug *et al.* (sous presse) situent cette « Nekton Revolution » au cours du Dévonien, mais il est évident qu'elle est plus précoce en ce qui concerne les vertébrés. Le deuxième pic de diversité principal se situe au Dévonien supérieur (P2, fig. 2) et est dû surtout aux gnathostomes, en particulier aux placodermes (p3) et aux autres formes prédatrices (chondrichthyens, ostéichthyens) : c'est la « Predation Revolution » des vertébrés (PRV, fig. 2). A noter qu'il n'est pas impossible que ce pic néodévonien, centré sur le Frasnien, soit en partie dû à un effet d'artefact de préservation. On connaît en effet plusieurs Fossil-Lagerstätten d'âge frasnien (tels que les sites

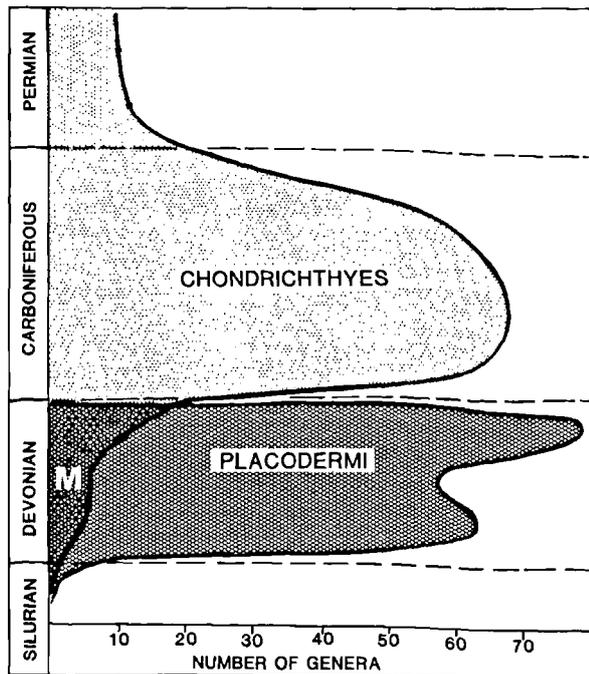


Fig. 3. — Relais écologique des placodermes par les chondrichthyens au passage Dévonien-Carbonifère, estimé en nombre de genres, d'après Long (1990). 'M' situe le chondrichthyen holocéphale *Melanodus loonesi* Darras et al. (2008) récolté dans le Givétien du Boulonnais.

Fig. 3. — Ecological turnover of placoderms and chondrichthyans at the Devonian-Carboniferous transition, evaluated in number of genera after Long (1990). 'M' locates the discovery of the holocephalan chondrichthyan *Melanodus loonesi* Darras et al. (2008) from the Givetian of the Boulonnais Inlier, northern France.

de Miguasha au Québec, de Gogo en Australie occidentale, de Wildungen en Allemagne) qui ont fourni plusieurs dizaines d'espèces de vertébrés chacun alors que la plupart des sites fossilifères à poissons sont habituellement beaucoup moins riches.

Les vertébrés ont subi deux extinctions importantes à la fin du Dévonien. La première, à la limite Frasnien-Famennien (env. - 375 Ma), a vu la disparition de tous les ostracodermes, mais pas de tous les agnathes puisque les myxines et les lamproies sont connues après le Dévonien jusqu'à l'Actuel. La seconde, à la limite Dévonien-Carbonifère (env. - 360 Ma), a vu la disparition des placodermes (fig. 2). Ces deux extinctions, dont la première est la plus importante, font suite chacune à un épisode anoxique de l'océan mondial, l'événement Kellwasser et l'événement Hangenberg respectivement (Walliser, 1996). Les causes de ces extinctions sont encore sujettes à discussion. La série de phénomènes d'origine tectonique est avérée : fermeture finale de l'océan Iapetus* vers le nord, orogénèses svalbardienne et acado-ligérienne, dépôt des Vieux Grès Rouges, remplacement des faciès carbonatés parfois récifaux par des faciès détritiques, modification climatique, variation du niveau marin, etc. (Averbuch et al., 2005). Par contre la participation d'une chute d'astéroïde à cette série d'événements est encore controversée (Lethiers, 1998).

Établies à partir d'un recensement du nombre de familles qui mériterait d'être mis à jour (Long, 1993), ces tendances générales de l'évolution de la biodiversité ichthyenne* au Paléozoïque inférieur et moyen sont malgré tout corroborées par quelques bilans réalisés plus récemment sur les placodermes (Carr, 1995 au niveau générique), sur les Pteraspidomorphi (Novitskaya, 2007, 2008 aux niveaux spécifique et générique) et sur l'ensemble des taxons (Klug et al., sous presse, au niveau générique). Par contre, le bilan qui vient d'être réalisé pour le Silurien-Dévonien des blocs paléocentaux chinois (Chine du Nord, Chine du Sud, Tarim, ... : Zhao & Zhu, 2007) montre un patron de répartition différent du schéma général de Long (1993 ; fig. 2). Zhao & Zhu (2007) observent un pic principal de diversité au Dévonien inférieur, avec deux pics secondaires au Silurien inférieur et au Dévonien moyen. Le pic principal est dû surtout aux galéaspides (voir la fig. 1), un groupe d'ostracodermes endémiques aux blocs chinois, et aux placodermes, qui est le groupe de vertébrés dévoniens le plus répandu. Je suggère que ce pic d'âge éodévoniens, inhabituel, est en partie dû à un artefact de prospection et de récolte. C'est en effet dans les séries d'âge éodévoniens de Chine du Sud en particulier (dont le Yunnan) qu'ont été découverts ces dernières années un certain nombre de taxons basaux d'ostéichthyens (actinoptérygiens ou sarcoptérygiens). La recherche du « plus vieux fossile », en particulier du plus vieux sarcoptérygien, serait un moteur puissant incitant à prospecter préférentiellement ces séries.

À l'issue des extinctions fini-dévoniennes, le passage du Dévonien au Carbonifère fut un tournant majeur dans l'histoire des vertébrés aquatiques. Il a vu notamment l'extinction des derniers placodermes et la radiation adaptative des chondrichthyens (fig. 2). Long (1990) a proposé que les seconds ont remplacé les premiers, au moins en partie. Les placodermes du Famennien incluaient un certain nombre d'espèces benthiques* durophages (à denture broyeuse) tels que les ptyctodontes, les mylostomatides, les phyllolépides. C'est aussi à ce moment que certains auteurs pensent que les dipneustes (un groupe de sarcoptérygiens), eux aussi durophages, sont passés de milieux marins à des milieux continentaux (fluviatiles, lacustres). Il paraît donc vraisemblable que certains chondrichthyens aient occupé les niches écologiques marines laissées vacantes par la disparition des placodermes (par extinction) et des dipneustes (par déplacement écologique) ou aient concurrencé ces organismes en étant plus efficaces dans l'occupation des niches benthiques (fig. 3 ; Long, 1990). L'apparition des chondrichthyens holocéphales durophages (anciennement dénommés « bradyodontes ») au cours du Dévonien vient d'être confirmée par la découverte de ce qui semble être leur plus ancien représentant connu dans le Givétien* du Boulonnais (*Melanodus loonesi* Darras et al., 2008 ; M sur fig. 3).

III. — UNE PLETHORE DE POISSONS CUIRASSES

1) Cambrien

Le plus ancien « vertébré » reconnu aujourd'hui est en fait un chordé basal dont les relations phylogénétiques ne sont pas définitivement établies : *Mylokunmingia fengjiaoa* (syn. *Haikouichthys ercaicunensis*) des schistes de Maotianshan, Cambrien inférieur du Fossil-Lagerstätte de Chengjiang, au

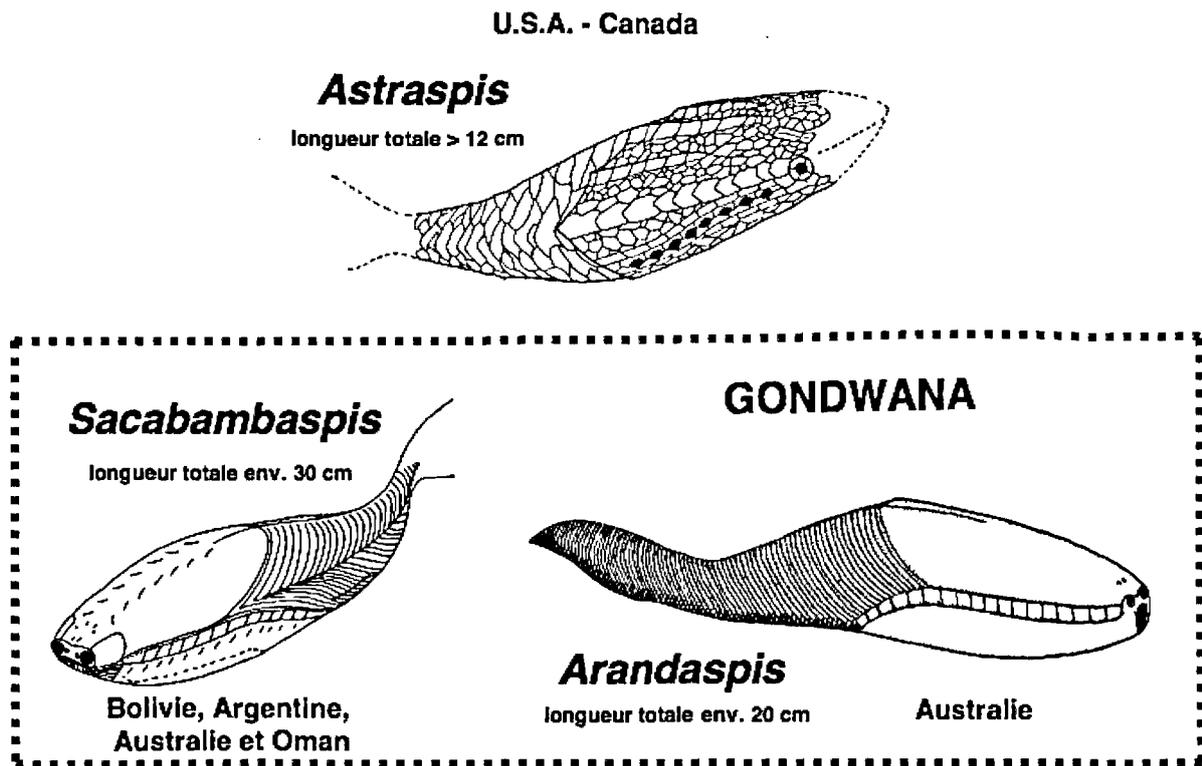


Fig. 4. — Reconstitutions de quelques vertébrés agnathes du groupe des Pteraspidomorphi de l'Ordovicien d'après Sansom *et al.* (2001, fig. 10.1-10.2).

Fig. 4. — Reconstructions of some Ordovician pteraspidomorphs (agnathan vertebrates) after Sansom *et al.* (2001, fig. 10.1-10.2).

Yunnan, en Chine du Sud (Shu *et al.*, 1999, 2003 ; Janvier, 2003) (fig. 1). L'animal semble posséder une tête avec deux yeux, une série d'empreintes interprétées comme des poches branchiales latérales paires et une série de structures internes médianes interprétées comme des arcuralia (vertèbres), ce qui en ferait un vertébré *s.s.* Cependant il ne présente pas de squelette externe ossifié, ce qui en fait une forme basale (fig. 1). Cette apparition des vertébrés dans une série marine fait partie de la biodiversification cambrienne caractérisée par l'apparition des biominéralisations (calcaire, siliceuse, phosphatée); celle-ci est souvent appelée « explosion cambrienne » pour son caractère apparemment subit à l'échelle géologique et se situe dans le prolongement de la radiation des métazoaires (animaux) d'âge fin-néoprotérozoïque à cambrien (voir par exemple *in* Yang *et al.*, 2007). Dans l'état actuel de nos connaissances, on ne peut que s'étonner qu'assez peu de vertébrés cambriens aient été récoltés et, surtout, qu'il s'agisse de formes pas encore ossifiées.

2) Ordovicien

Les premières formes à carapace osseuse externe (exosquelette) ou euvertébrés (fig. 1) datent de l'Ordovicien et sont surtout connues par des espèces pluridécimétriques du groupe des Pteraspidomorphi : ce sont des agnathes, sans nageoires paires, présentant une rangée oblique d'ouvertures branchiales externes de chaque côté de leur carapace (fig. 4).

Les genres les plus connus sont *Astraspis* et *Eriptychius* d'Amérique du Nord, *Arandaspis* et *Sacabambaspis* du Gondwana. Néanmoins de nombreuses autres formes ont été récoltées dans l'Ordovicien depuis la fin du XX^{ème} siècle, en particulier sous la forme de microrestes isolés qui ont été attribués soit à des agnathes (ptéraspidomorphes, thélodontes) soit à des gnathostomes (chondrichthyens, acanthodiens, placodermes ...). En dehors de quelques formes énigmatiques de l'extrême sommet du Cambrien et de l'Ordovicien inférieur (telle qu'*Anatolepis*), l'ensemble des taxons ordoviciens a été regroupé en deux ensembles biogéographiques et biostratigraphiques : le « Gondwana Endemic Assemblage » (GEA) de l'Ordovicien moyen, caractérisé entre autres par ses arandaspides (fig. 4), et le « Laurentia-Baltica-Siberia Assemblage » de l'Ordovicien supérieur, avec en particulier *Astraspis* et *Eriptychius* (fig. 4). Cette répartition correspondrait à trois épisodes de diversification, le 1^{er} au sommet de l'Ordovicien inférieur pour le GEA, les deux suivants à la base et au sommet de l'Ordovicien supérieur pour le LBSA. Le 3^e épisode, d'âge hirnantien, met en doute l'existence d'une extinction fini-ordovicienne des vertébrés, contrairement à l'ensemble des « invertébrés » (références *in* Blicek & Turner, 2003 ; Turner *et al.*, 2004). Quelques études paléocologiques ont été menées sur des sites nord- et sud-américains. Ainsi, les gisements des Grès de Harding du Colorado (Sandbien*, ex-Caradoc ; à *Astraspis*, *Eriptychius* *et al.*) sont interprétés comme des dépôts marins peu profonds dans la zone de transition entre la pleine mer et la côte (Alluee & Holland,

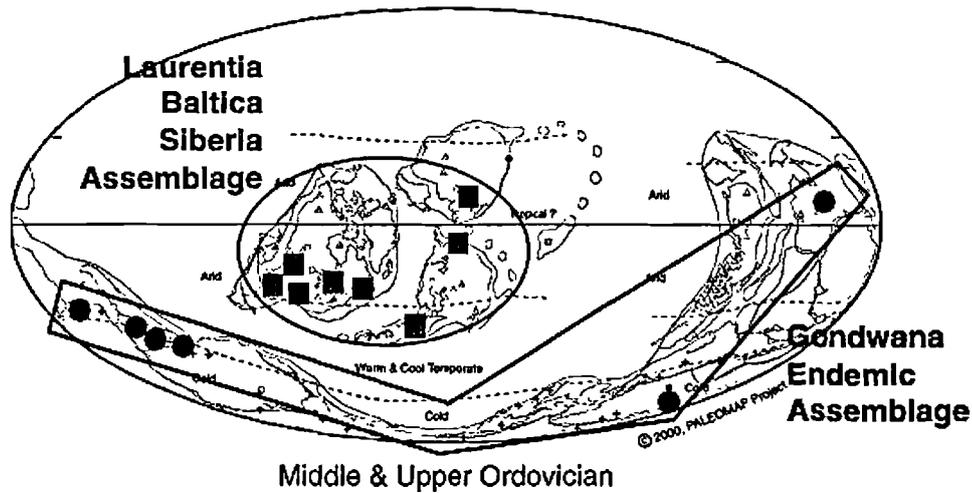


Fig. 5. — Cadre paléoclimatique des vertébrés ordoviciens. Répartition des assemblages de vertébrés d'après Blicek & Turner (2003). Indicateurs de climats à l'Ordovicien moyen et supérieur d'après Scotese (2002).

Fig. 5. — Palaeoclimatic context of Ordovician vertebrates. Distribution of vertebrate assemblages after Blicek & Turner (2003). Middle and Late Ordovician climatic indicators after Scotese (2002).

2005). Ceux de la Formation Anzaldo de Bolivie (Darriwilien*, ex-Llanvirn ; à *Sacabambaspis*, lingulides et nombreuses traces fossiles) sont interprétés comme des dépôts marins très peu profonds (Davies *et al.*, 2007 ; Davies & Sansom, sous presse). Autrement dit, il n'y a plus aucune raison de penser que les premiers vertébrés étaient dulcicoles : les plus anciennes espèces du Cambrien et de l'Ordovicien étaient marines. L'analyse de la répartition des vertébrés ordoviciens montre que le GEA, distribué sur tout le pourtour du Gondwana, était situé dans des zones paléoclimatiques chaudes à tempérées tandis que le LBSA, distribué sur les masses paléoc Continentales Laurentia*, Baltica* et Siberia, était situé dans les zones chaudes de part et d'autre de l'équateur (fig. 5).

3) Silurien

Au Silurien, les vertébrés réalisent leur première vraie radiation adaptative en occupant toutes les niches possibles des plates-formes marines. Ce sont les formes agnathes qui prédominent (Heterostraci – parmi les Pteraspido-morphi, Osteostraci, Anaspida, Thelodonti, Galeaspida ...), mais les gnathostomes sont également diversifiés (Placodermi, Chondrichthyes, Acanthodii, Osteichthyes). La plupart des espèces sont nectoniques, soit nectobenthiques (démersales) soit de pleine eau (« pélagiques »). Cette diversification peut être baptisée de « Nekton Revolution des vertébrés » par comparaison avec la « Nekton Revolution » qui vient d'être définie par Klug *et al.* (sous presse) et qui fait suite à la « Plankton Revolution » responsable du « Great Ordovician Biodiversification Event » (Servais *et al.*, 2009). Ainsi, sur la plate-forme marine paléobalte au Silurien, des assemblages variés de vertébrés ont été récoltés depuis les environnements lagunaires (lagunomarin) jusqu'aux environnements de la plate-forme externe (Märss & Ejnasto, 1978 ; Bassett *et al.*, 1989 ; Schultze, 1999). Ces assemblages varient en composition taxonomique tant dans l'espace (d'un faciès à

l'autre) que dans le temps (entre le Wenlock* et le Pridoli*) ; ce sont les thélodontes qui sont les plus abondants dans la plupart des cas sauf pour les environnements côtiers et de plate-forme interne du Pridoli où ce sont les acanthodiens (Märss & Ejnasto, 1978). Les vertébrés siluriens sont suffisamment abondants et variés pour qu'une échelle biostratigraphique fondée sur des thélodontes et des acanthodiens ait été définie : elle comporte 13 biozones pour l'ensemble du Silurien, calées sur la biozotation standard des conodontes (Märss *et al.*, 1995 ; Märss, 2000). Plusieurs assemblages régionaux de vertébrés siluriens ont été définis et permettent de caractériser plusieurs provinces fauniques (fig. 6 ; Blicek & Janvier, 1999). Celles-ci sont réparties majoritairement dans les eaux chaudes de part et d'autre de l'équateur (fig. 7).

4) Dévonien

La situation est beaucoup plus compliquée au Dévonien, période au cours de laquelle se poursuit la diversification des vertébrés aquatiques. Les gnathostomes, et plus particulièrement les placodermes et les ostéichthyens, deviennent progressivement plus nombreux que les agnathes (fig. 2). C'est l'« âge des poissons », en fait celui des poissons cuirassés (placodermes) connus par plus de mille espèces (Carr, 1995 en ayant déjà répertorié près de 720). La biodiversité des vertébrés dévoniens est telle que plusieurs échelles biostratigraphiques ont été fondées sur divers groupes : hétérostracés (notamment les ptéraspidés), thélodontes, acanthodiens, placodermes, chondrichthyens (réf. in Blicek & Turner, 2000). La difficulté majeure qui est rencontrée ici est celle de la corrélation de ces échelles à l'échelle standard des conodontes du Dévonien parce que la plupart d'entre elles ont été établies à partir des riches assemblages de vertébrés récoltés dans les faciès du type des Vieux Grès Rouges (VGR), habituellement dépourvus des bio-indicateurs marins courants (conodontes, ostracodes, brachiopodes, trilobites, etc.).

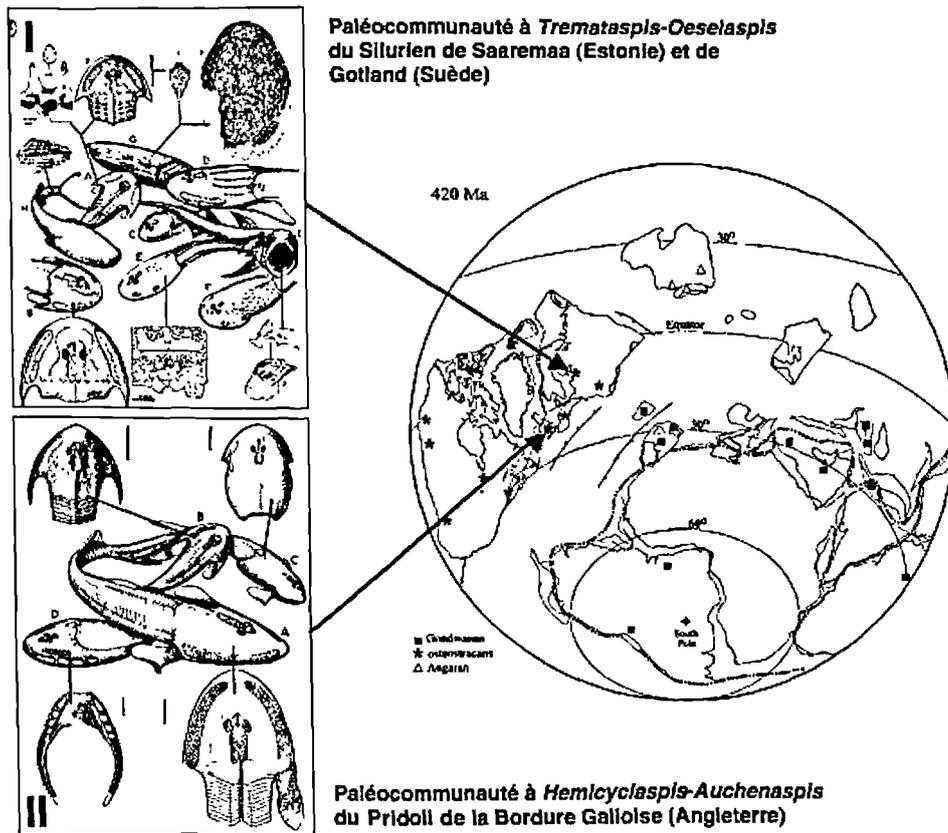


Fig. 6. — Reconstitutions de deux assemblages de vertébrés siluriens d'après Blicek & Janvier (1999, fig. 9.3 et 9.7) sur la reconstitution paléogéographique de Cocks & Torsvik (2002, fig. 8).

Fig. 6. — Reconstruction of two Silurian vertebrate assemblages after Blicek & Janvier (1999, fig. 9.3 et 9.7) on the palaeogeographic reconstruction of Cocks & Torsvik (2002, fig. 8).

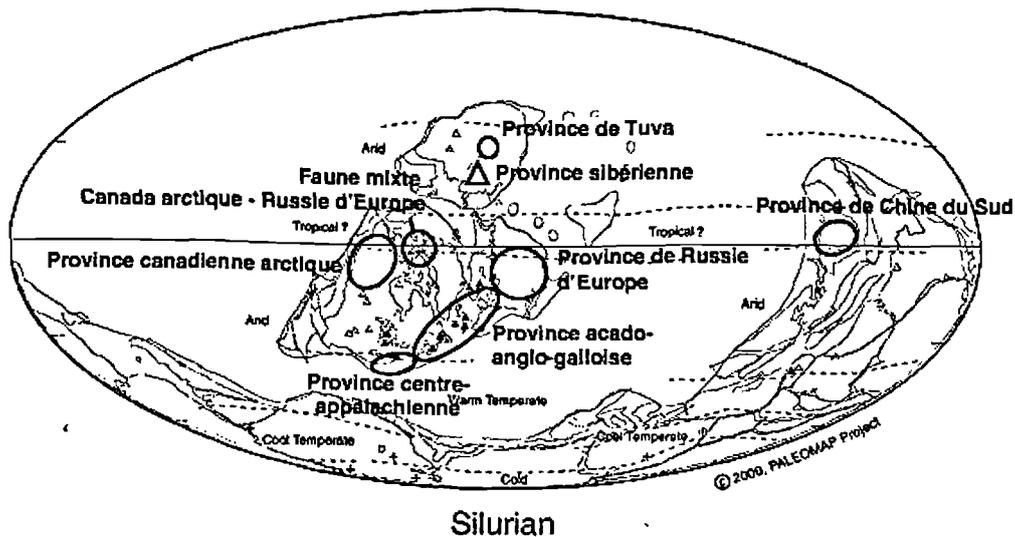


Fig. 7. — Cadre paléoclimatique des vertébrés siluriens. Répartition des provinces à vertébrés agnathes d'après Blicek & Janvier (1999). Indicateurs de climat au Silurien d'après Scotese (2002).

Fig. 7. — Palaeoclimatic context of Silurian vertebrates. Distribution of agnathan vertebrate provinces after Blicek & Janvier (1999). Silurian climatic indicators after Scotese (2002).

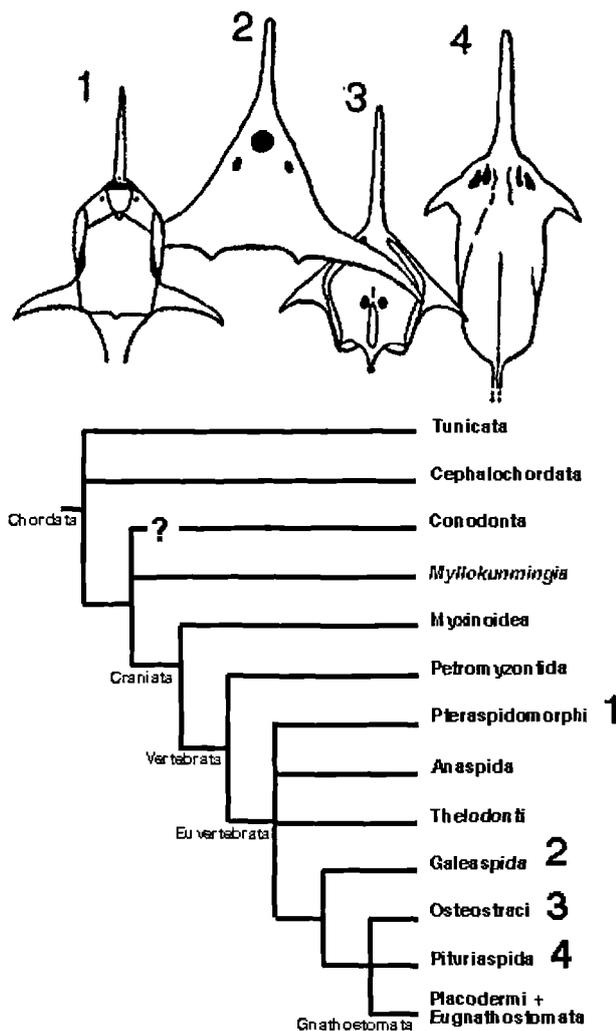


Fig. 8. — Convergence au cours de l'évolution des vertébrés des Vieux Grès Rouges : le cas des boucliers céphaliques d'ostracodermes du Dévonien. Légende : 1- *Doryaspis*, un ptéraspidomorphe hétérostracé ; 2- *Asiaspis*, un galéaspide ; 3- *Boreaspis*, un ostéostracé ; 4- *Pituriaspis*, un pituriaspide (sans échelle ; d'après Janvier, 1996, fig. 7.10G). Ces quatre taxons sont situés sur le cladogramme de la Figure 1.

Fig. 8. — Convergent evolution among Old Red Sandstone vertebrates as illustrated by head shields of Devonian ostracoderms. Captions : 1- the heterostracan pteraspidomorph *Doryaspis*, 2- the galeaspid *Asiaspis*, 3- the osteostracan *Boreaspis*, 4- the pituriaspid *Pituriaspis* (not to scale ; after Janvier, 1996, fig. 7.10G). All four taxa are situated on the cladogram of Figure 1.

Au Dévonien, de nombreuses niches écologiques différentes ont été occupées, depuis les environnements continentaux jusqu'aux environnements les plus distaux des plates-formes marines. Des adaptations morphologiques très différentes ont été réalisées par des espèces vivant près du fond (nectobenthiques), en pleine eau (nectoniques) ou près de la surface (épinctoniques*) (Janvier, 1996). Certaines espèces benthiques (fouisseuses ?) étaient aveugles, d'autres ont développé des superstructures osseuses épineuses en réponse vraisemblablement à leur environnement aquatique agité (fig. 8). Ces espèces-là sont endémiques à une région, une plate-forme marine ou une marge continentale et

constituent autant de bons indicateurs paléocentaux, utilisés dans les reconstitutions paléogéographiques (Young, 2003). D'autres par contre étaient des espèces dites « pélagiques », capables de déplacements transocéaniques, et elles sont récoltées dans les roches sédimentaires de plusieurs paléomasses continentales, ce qui fait d'elles d'excellents indicateurs biostratigraphiques. C'est le cas par exemple de certains thélodontes turiniides et de certains chondrichthyens phoeodontides des faciès carbonatés du Dévonien moyen et supérieur (voir ci-dessus ; Blicek & Turner, 2000). Tout ceci a contribué au développement d'assemblages très divers, présentant un fort taux d'endémisme au Dévonien inférieur, en relation avec une disposition encore éclatée des masses continentales de l'époque (fig. 9). Cet endémisme est réputé avoir diminué au cours du Dévonien moyen puis supérieur, ce qui est à mettre en relation avec une répartition plus compacte des paléocentaux, dans une configuration de type « pré-Pangée* ». Les assemblages du Dévonien inférieur permettent de définir des provinces fauniques situées pour l'essentiel dans les zones chaudes de l'époque, sauf celle d'Amérique du Sud qui correspond à la province malvinokaffre des brachiopodes, en zone tempérée froide (fig. 10 ; réf. in Blicek & Janvier, 1999).

Au cours du Dévonien moyen, comme il a déjà été dit, les agnathes commencent à périlcliter tandis que les gnathostomes continuent de se diversifier (fig. 2). On rencontre notamment de moins en moins d'ostracodermes et de plus en plus de placodermes et de sarcoptérygiens dans les assemblages de vertébrés de cette période. Comme aux périodes précédentes, les assemblages des Vieux Grès Rouges (par exemple en Ecosse et à l'est de la Baltique) diffèrent de ceux des plates-formes marines carbonatées (par exemple le Boulonnais ; fig. 11 : A). La même tendance se poursuit au Dévonien supérieur au cours duquel les masses paléocentales adoptent une configuration plus compacte, de type « pré-Pangée », après la fermeture des paléocéans Lapetus et Rhétique*. C'est dans ce contexte du Dévonien supérieur que sont apparus les tétrapodes, dérivés d'un groupe de sarcoptérygiens particulier, les pandérichthyides, connus dans le Frasnien du nord et de l'est du Canada et des Pays Baltes. Les premiers tétrapodes sont désormais considérés comme ayant été aquatiques (par exemple *Ichthyostega* récolté au Groenland et en Belgique). Ils sont actuellement connus dans une douzaine de localités différentes de plusieurs paléomasses continentales : Laureuropa*, Chine du Nord, Gondwana Est (d'anciennes mentions dans des sites du Brésil et du Kazakhstan se sont avérées soit fausses soit non confirmées). Ces localités sont d'âge frasnien et famennien. Elles correspondent à des environnements allant du continental (fluvial, lacustre) au marin proximal (côtier) en passant par des environnements intermédiaires (de plaine alluviale ou estuarien) (Clack, 2002 ; Clément *et al.*, 2004 ; Blicek *et al.*, 2007). La répartition quasi-mondiale de ces tétrapodes néodévoniens est un argument en faveur d'une distribution compacte des masses continentales de l'époque (fig. 11 ; Scotese, 2002 ; Blakey, 2005). Dans l'état actuel des connaissances, ces tétrapodes néodévoniens sont concentrés sur une faible portion du globe terrestre dans les zones chaudes de part et d'autre de l'équateur (fig. 11). Néanmoins de nombreuses régions n'ont pas encore été prospectées et des collections de musées et d'universités n'ont pas encore été révisées. On peut citer le cas exemplaire de la découverte de l'ichthyostégide du Famennien de Belgique (Clément *et al.*, 2004), originellement déterminé comme un poisson (Lohest, 1888b), tandis que la première mention d'un tétrapode

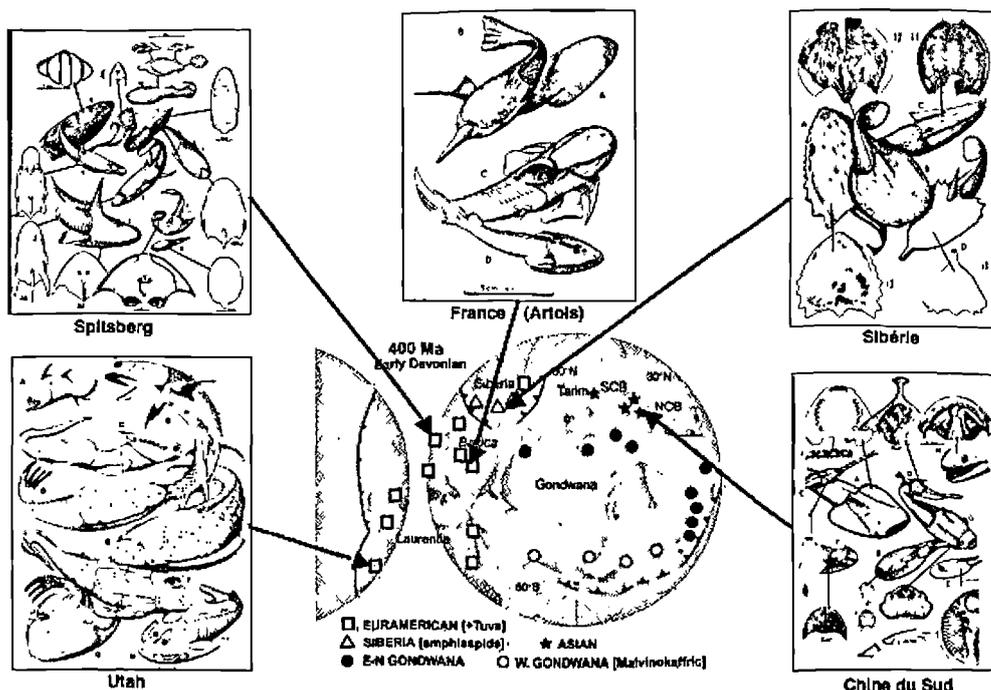


Fig. 9. — Reconstitutions de quelques assemblages de vertébrés du Dévonien inférieur d'après Blicek & Janvier (1989, fig. 12 ; 1999, fig. 9.8, 9.11 et 9.13) et Elliott *et al.* (1999, fig. 1), sur la reconstitution paléogéographique de Li & Powell (2001, d'après Young, 2003, fig. 2) illustrant l'endémisme des vertébrés du Dévonien inférieur (provinces paléobiogéographiques *sensu* Young, 2003).

Fig. 9. — Reconstruction of some Early Devonian vertebrate assemblages after Blicek & Janvier (1989, fig. 12 ; 1999, fig. 9.8, 9.11 and 9.13) and Elliott *et al.* (1999, fig. 1), on Li & Powell's (2001) palaeogeographic reconstruction (after Young, 2003, fig. 2), illustrating the Early Devonian vertebrate endemism (palaeobiogeographic provinces of Young, 2003).

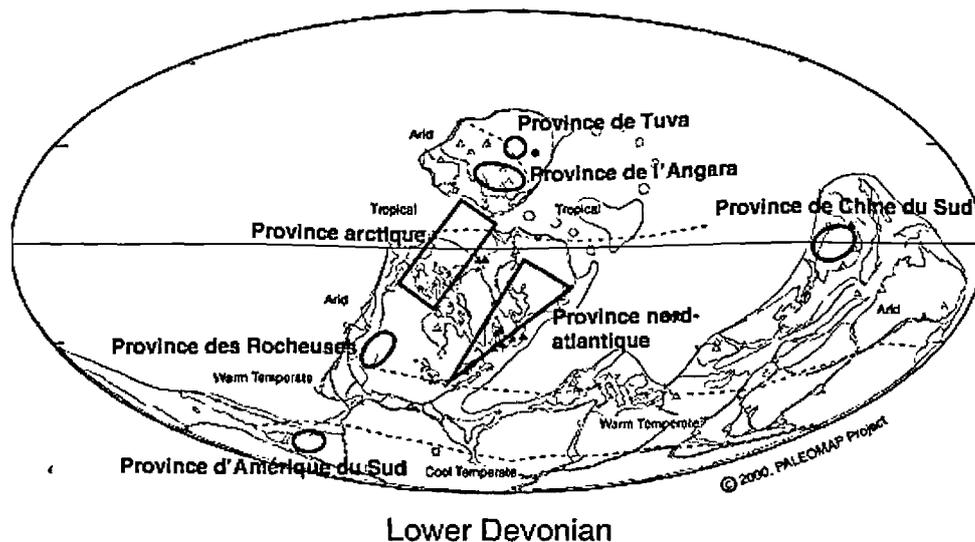


Fig. 10. — Cadre paléoclimatique des vertébrés du Dévonien inférieur. Répartition des provinces à vertébrés agnathes d'après Blicek & Janvier (1999). Indicateurs de climat au Dévonien inférieur d'après Scotese (2002).

Fig. 10. — Palaeoclimatic context of Early Devonian vertebrates. Distribution of agnathan vertebrate provinces after Blicek & Janvier (1999). Early Devonian climatic indicators after Scotese (2002).

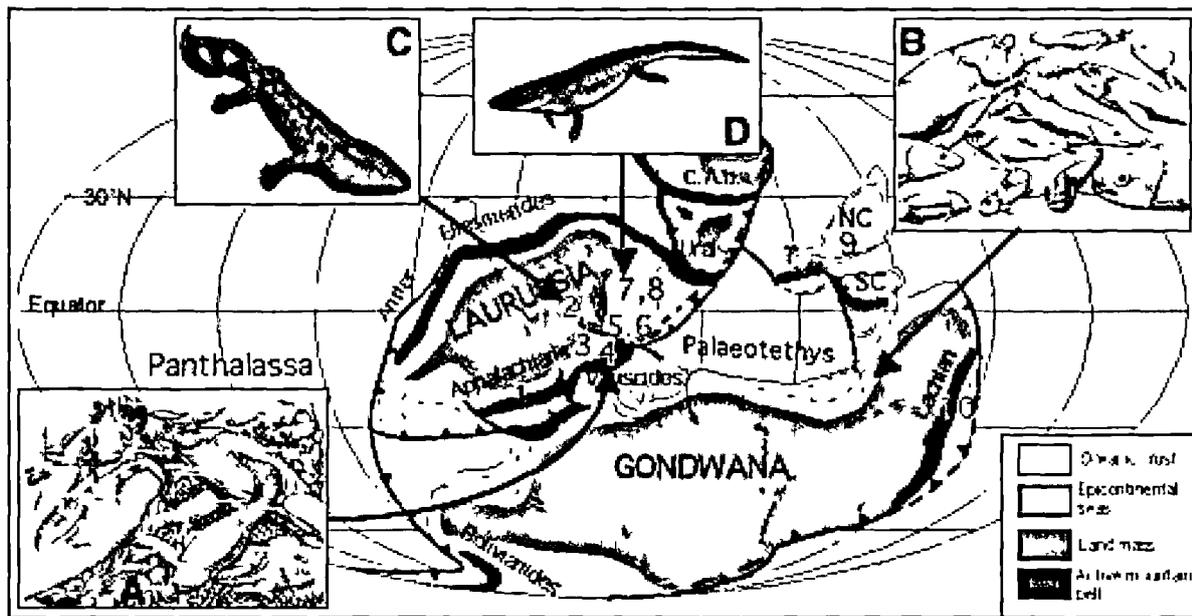


Fig. 11. — Reconstitutions de deux assemblages de vertébrés marins en contexte récifal, l'un du Dévonien moyen (A- Givétien du Boulonnais, carrière du Griset, d'après Lelièvre *et al.*, 1988, fig. 9), l'autre du Dévonien supérieur (B- Frasnien de Gogo, Australie occidentale, d'après Janvier, 1996, fig. 1.12), et répartition des sites à tétrapodes du Dévonien supérieur sur la reconstitution paléocontinentale d'Averbuch *et al.* (2005) pour le Frasnien-Famennien. Autres légendes: C- reconstitution d'*Acanthostega*, D- reconstitution de *Tulerpeton*, 1- Pennsylvanie, 2- Groenland oriental, 3- Ecosse, 4- Belgique, 5-6- Lettonie et Russie proche, 7-8- Russie, 9- Chine du Nord, 10- Australie. Abréviations : C.A.b.- ceinture d'Asie centrale ; NC- Chine du Nord ; SC- Chine du Sud ; T- Tarim (modifié d'après Blicek *et al.*, 2007, fig. 3).

Fig. 11. — Reconstruction of two marine vertebrate assemblages in reefal environment, one for the Middle Devonian (A- Givetian, Boulonnais - N. France, Le Griset quarry, after Lelièvre *et al.*, 1988, fig. 9), one for the Late Devonian (B- Frasnian, Gogo, Western Australia, after Janvier, 1996, fig. 1.12), with distribution of the Late Devonian tetrapod-bearing localities on Averbuch *et al.*'s (2005) Frasnian-Famennian palaeocontinental reconstruction. Other captions : C- reconstruction of *Acanthostega*, D- reconstruction of *Tulerpeton*, 1- Pennsylvania, 2- Eastern Greenland, 3- Scotland, 4- Belgium, 5-6- Latvia and nearby Russia, 7-8- Russia, 9- North China, 10- Australia. Abbreviations : C.A.b.- Central Asian belt ; NC- North China ; SC- South China ; T- Tarim (modified after Blicek *et al.*, 2007, fig. 3).

dévonien en Belgique (Lohest, 1888a) s'est révélée être celle d'un dipneuste (Clément & Boisvert, 2006) !

IV. — LE CAS PARTICULIER DES ENVIRONNEMENTS DES VIEUX GRÈS ROUGES

Il n'est pas question ici de traiter *in extenso* le problème complexe de l'interprétation des paléoenvironnements de dépôt des Vieux Grès Rouges et de vie des vertébrés caractéristiques de ces dépôts. De nombreux ouvrages y ont été consacrés (par exemple Friend & Williams, 2000 ; voir aussi Blicek, 1985). Il ne sera question ici que d'une courte revue historique de la question, suivie de l'étude de deux cas récents d'analyse paléocéologique de sites du Dévonien inférieur des massifs ardenno-rhénans. La question du milieu de vie des vertébrés (poissons) dévoniens s'est posée dès leur découverte en Europe du Nord (Ecosse, Est baltique) et ils ont été supposés dulcicoles (Sedgwick & Murchison, 1835 ; Kutorga, 1835). Les premières revues des localités à vertébrés des Vieux Grès Rouges (VGR) ont également attribué ces sites à des dépôts d'eau douce (Woodward, 1891 ; Romer & Grove, 1935). Au cours de la deuxième moitié du XX^e siècle, la situation est devenue plus confuse. Certains auteurs, se fondant sur quelques analyses géochimiques des poissons des VGR, ont maintenu l'hypothèse dulcicole pour les sites à hétérostracés du Dévonien de Podolie (Ukraine), du Pays-de-

Galles et de Lettonie (Schmitz *et al.*, 1991). Pour d'autres, les données géochimiques, sédimentologiques ou paléontologiques plaident en faveur d'environnements au moins en partie marins (Dasch & Campbell, 1970 ; Bridge & Droser, 1985 ; Lelièvre *et al.*, 1988 ; Marshall & Astin, 1996 ; Marshall *et al.*, 1996 ; Knox & Gordon, 1999). Enfin, pour un troisième ensemble d'auteurs, la situation est plus complexe : marins à l'Ordovicien et au Silurien, les environnements des vertébrés étaient plus variés au Dévonien (de marins à dulcicoles : Gross, 1950 ; Denison, 1956 ; White, 1958 ; Goujet, 1984 ; Blicek, 1985 ; Schultze & Cloutier, 1996 ; Lelièvre, 2002). Schultze (1999), passant en revue le registre fossile des zones marines intertidales, invite à la prudence : « One should be careful in using fishes as indicators of a particular paleoenvironment ... In contrast to rocky shores, coastal areas with a soft bottom are well documented in the fossil record », ce qui introduit un biais dans l'évaluation des environnements d'origine des poissons paléozoïques. Ce qui semble émerger aujourd'hui peut être résumé en trois points :

- la situation est contrastée ;
- différentes techniques (micropaléontologie, stratigraphie séquentielle et paléocéologie, géochimie, analyses d'assemblages) donnent des résultats différents ;
- très probablement, dans les VGR dévoniens et les dépôts siliciclastiques contemporains, une grande diversité d'environnements a existé pour les hétérostracés et autres vertébrés inférieurs.

Cette question ne peut être abordée sérieusement qu'à partir d'études paléo-environnementales et paléo-synécologiques de localités précises. C'est ce qui a été réalisé pour certaines des localités d'âge ordovicien et silurien (voir ci-dessus). La conclusion qui s'impose aujourd'hui est : (1) que les premiers vertébrés connus proviennent d'environnements marins côtiers, et (2) qu'ils ont colonisé tous les environnements possibles des plates-formes marines au Silurien. Le problème est compliqué au Dévonien (parfois dès le Silurien dans certaines régions) par la mise en place des Vieux Grès Rouges, des dépôts majoritairement siliciclastiques, post- et tardi-orogéniques, dans des contextes climatiques chauds et rubéfiants (voir par exemple in Friend & Williams, 2000). Ces dépôts sont en général dépourvus des indicateurs marins habituels, ce qui fut une raison pour les interpréter comme des dépôts continentaux au sens large (intermédiaires, dulcicoles, terrestres ; cf. in Blicek, 1985). Deux études menées récemment sur des sites éodévoniens d'Ardenne et du Massif Schisteux Rhénan viennent confirmer le fait que les VGR correspondent en règle générale à toute une gamme d'environnements variés, du marin au terrestre. Dans le cas de la coupe de Tihange (Huy) en Belgique, qui a livré des restes très fragmentés de vertébrés (des hétérostracés) et d'arthropodes (Thirion & Blicek, sous presse), Goemaere *et al.* (2006) interprètent la Formation de Marteau (FM, Lochkovien*) comme « indicative of a mature fluvial plain » et la Formation du Bois d'Ausse (FBA, Lochkovien-Praguien*) comme « predominant shoreline environment of tidal type alternating with coastal plain deposits », ce qui indique un changement progressif depuis un contexte continental (FM) à un environnement plus marin (FBA). Dans le cas de la carrière d'Alken a/Mosel en Allemagne, Wehrmann *et al.* (2005) interprètent la Formation de Nellenköpfchen (sommet de l'Emsien * inférieur), qui a livré des fossiles à la fois terrestres et marins (dont des vertébrés : hétérostracés, placodermes et sarcoptérygiens), comme probablement « a high energy marine-to-brackish coastal sedimentary depositional environment ... with intertidal conditions », autrement dit un environnement de transition terre/mer localisé en bordure d'un possible archipel (île) de l'Hunsrück.

V. — CONCLUSIONS

On peut résumer les étapes macro-écologiques de l'évolution des vertébrés du Paléozoïque inférieur et moyen (Cambrien à Dévonien) de la façon suivante :

- origine des vertébrés au Cambrien (voire avant) ;
- existence des premières espèces biominéralisées au moins à l'Ordovicien : elles sont démersales (nectobenthiques) ;
- lacune de Talimaa d'environ 3 Ma au Rhuddanien (base du Silurien) ;
- radiation adaptative au Silurien où les espèces sont à la fois démersales et vraiment nectoniques, dominées par les agnathes : c'est la « Nekton Revolution » des vertébrés ;
- radiation adaptative au Dévonien, mais avec une domination progressive des gnathostomes : c'est la « Predation Revolution » des vertébrés ;
- extinctions des « poissons cuirassés » aux limites Frasnien-Famennien (ostracodermes) et Dévonien-Carbonifère (placodermes).

Les relations phylogénétiques des vertébrés basaux ne sont pas encore fixées, mais plusieurs étapes sont définies,

avec, dans l'ordre, l'apparition du crâne, des tissus biominéralisés (émail ou émailloïde, dentine, os), des mâchoires, des dents, etc. Ces vertébrés sont des indicateurs biostratigraphiques utiles principalement dans les séries marines du Silurien et du Dévonien. Ce sont de bons marqueurs des marges paléoc Continentales (« continental » *sensu* Rosen, 1974). Ils occupèrent un spectre large d'environnements : marin proximal / restreint à l'Ordovicien, tout au long des plates-formes épicontinentales marines au Silurien, de dulcicole à marin profond au Dévonien (avec une mention spéciale pour les environnements des Vieux Grès Rouges). D'après les analyses paléocécologiques des coupes de Tihange (Belgique : Lochkovien-Praguien) et d'Alken a/Mosel (Allemagne : Emsien inférieur), la proposition de Schultze (1999) selon laquelle les aires marines côtières, y compris la zone intertidale, sur des fonds meubles, seraient les plus riches pour la diversité et/ou les meilleures pour la conservation des poissons au Dévonien, semble confirmée : environnement continental à plus marin à Tihange, environnement côtier marin à saumâtre avec de l'intertidal à Alken. Pour finir, rappelons que les vertébrés ont subi les deux extinctions de la fin du Dévonien (les ostracodermes à la crise Frasnien-Famennien, les placodermes à la limite Dévonien-Carbonifère), avec remplacement écologique par les chondrichthyens et les ostéichthyens. Parmi ces derniers, au sein des sarcoptérygiens, les tétrapodes apparaissent au Frasnien et se développent au Famennien, mais ce n'est qu'après la « lacune de Romer » de quelques 15 Ma au début du Carbonifère que sont connus les premiers tétrapodes vraiment continentaux (terrestres, dulcicoles : Clack, 2002 ; Steyer, 2009).

Remerciements. — Cet article des *Annales* est la transcription d'une conférence qui a été donnée dans trois contextes différents : d'abord le 1^{er} octobre 2008 à Francfort s/Main en Allemagne pour la réunion finale du PICG 499 (20th International Senckenberg Conference & 2nd Geinitz Conference « From Gondwana and Laurussia to Pangaea: Dynamics of Oceans and Supercontinents »), ensuite le 10 février 2009 à Bruxelles en Belgique pour la réunion extraordinaire de l'European Association of Vertebrate Palaeontologists « Tribute to Charles Darwin and Bernissart Iguanodonts: New perspectives on Vertebrate Evolution and Early Cretaceous Ecosystems », enfin le 18 mars 2009 pour la réunion de la Société Géologique du Nord à la Maison Régionale de l'Environnement et des Solidarités (MRES) à Lille. Elle était placée sous le sceau de deux événements mondiaux : l'Année Internationale de la Planète Terre de l'ONU (2007-2009) et l'Année Darwin (2009). Une série d'anniversaires était célébrée à cette occasion : le bicentenaire de la naissance de Charles Darwin (12 février 1809 – 19 avril 1882), le cent-cinquantième de la publication de son œuvre maîtresse « On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life », le bicentenaire de la publication de l'ouvrage de Lamarck « Philosophie Zoologique » (Jean-Baptiste de Lamarck : 1^{er} août 1744 – 18 décembre 1829) et le centenaire de la découverte de la faune des Schistes de Burgess par Charles Walcott (31 mars 1850 – 9 février 1927). Je tiens à remercier chaleureusement les organisateurs des trois réunions mentionnées ci-dessus, qui m'ont invité à donner cette conférence et à mettre en ordre un certain nombre de données et d'idées que j'ai accumulées sur les vertébrés inférieurs : Peter Königshof (Senckenberg Naturmuseum et PICG 499, Frankfurt a/Main, Allemagne), Pascal Godefroit et Pierre Bultynck (Bruxelles, Belgique) et Francis Amedro (Société Géologique du Nord, Villeneuve d'Ascq). Il s'agit d'une contribution aux PICG 491 (Middle Palaeozoic Vertebrate-Biogeography, Palaeogeography and Climate), 499 (Devonian land-sea interaction: evolution of ecosystems and climate) et 503 (Ordovician Palaeogeography and Palaeoclimate). Enfin je remercie D. Brice (S. G. N.) pour ses critiques constructives sur le « manuscrit ».

BIBLIOGRAPHIE

- ALLULEE J.L. & HOLLAND S.M. (2005). — The sequence stratigraphic and environmental context of primitive vertebrates: Harding Sandstone, Upper Ordovician, Colorado, USA. *Palaios*, 20 (6) : 518-533.
- AVERBUCH O., TRIBOVILLARD N., DEVLEESCHOUWER X., RIQUIER L., MISTIAEN B. & VAN VLIET-LANOË B. (2005). — Mountain building-enhanced continental weathering and organic carbon burial as major causes for climatic cooling at the Frasnian-Famennian boundary (c. 376 Ma)? *Terra Nova*, 17 (1) : 33-42.
- BASSETT M.G., KALJO D. & TELLER L. (1989). — The Baltic region. In HOLLAND C.H. & BASSETT M.G., eds, A Global Standard for the Silurian System. *National Museum of Wales, Geological Series*, n° 9 : 158-170.
- BLAKEY R. (2005). — Plate Tectonics and Continental Drift : Regional Paleogeographic Views of Earth History. « Paleogeographic Globes » : 14 maps. World Wide Web address : <http://jan.ucc.nau.edu/~rcb7/RCB.html> ; Northern Arizona University [updated 2009].
- BLIECK A. (1985). — Paléoenvironnements des Hétérostracés, Vertébrés agnathes ordoviciens à dévoniens. In FISCHER J.-C., organ., Journées d'étude sur les indicateurs paléobiologiques de milieux (Paris, 26-27 mars 1984). *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle*, 4e série, 7, C (2) : 143-155.
- BLIECK A. (2008). — Paléozoïque. *Encyclopaedia Universalis, Corpus*, 18 : 144-156.
- BLIECK A., CLEMENT G., BLOM H., LELIEVRE H., LUKSEVICS E., STREEL M., THOREZ M. & YOUNG G.C. (2007). — The biostratigraphical and palaeogeographical framework of the earliest diversification of tetrapods (Late Devonian). In BECKER R.T. & KIRCHGASSER W.T., eds, Devonian Events and Correlations. *Geological Society, London, Special Publication*, 278 : 219-235.
- BLIECK A. & JANVIER P. (1989). — Vertébrés Agnathes du Dévonien inférieur de l'Artois (Pas-de-Calais, France): implications biostratigraphiques. *Annales de Paléontologie (Vertébrés-Invertébrés)*, 75 (3) : 125-167.
- BLIECK A. & JANVIER P. (1999). — Silurian-Devonian vertebrate dominated communities, with particular reference to agnathans. In BOUCOT A.J. & LAWSON J.D., eds, *Paleocommunities: a case study from the Silurian and Lower Devonian*. World and Regional Geological Series, 11, Cambridge University Press, chapter 9 : 79-105.
- BLIECK A. & TURNER S. (2000). — IGCP 328 : Palaeozoic Microvertebrates final scientific report — Introduction. In BLIECK A. & TURNER S., eds, Palaeozoic Vertebrate Biochronology and Global Marine / Non-marine Correlation - Final report of IGCP 328 (1991-1996). *Courier Forschungs-Institut Senckenberg*, 223 : 1-67.
- BLIECK A. & TURNER S. (2003). — Global Ordovician vertebrate biogeography. In SERVAIS T., ALVARO J.J. & BLIECK A., eds, Early Palaeozoic Palaeo(bio)geographies of Western Europe and North Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 195 (1-2) : 37-54.
- BRIDGE J.S. & DROSER M.L. (1985). — Unusual marginal-marine lithofacies from the Upper Devonian Catskill clastic wedge. *Geological Society of America, Special Paper*, 201 : 143-161.
- CARR R.K. (1995). — Placoderm diversity and evolution. In ARSENAULT M., LELIEVRE H. & JANVIER P., eds, VIIIth International Symposium: Studies on Early Vertebrates (Mighasha, Québec, 1991). *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle*, 4e série, 17, C (1-4) : 85-125.
- CLACK J.A. (2002). — *Gaining Ground : The Origin and Evolution of Tetrapods*. Indiana University Press, Bloomington & Indianapolis : IX + 369 p.
- CLEMENT G., AHLBERG P.E., BLIECK A., BLOM H., CLACK J.A., POTY E., THOREZ J. & JANVIER P. (2004). — Devonian tetrapod from western Europe. *Nature*, 427 (6973) : 412-413.
- CLEMENT G. & BOISVERT C. (2006). — Lohest' true and false 'Devonian amphibians': evidence for the rhynchodipterid lungfish *Soederberghia* in the Famennian of Belgium. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 26 (2) : 276-283.
- COCKS L.R.M. & TORSVIK T.H. (2002). — Earth geography from 500 to 400 million years ago: a faunal and palaeomagnetic review. *Journal of the Geological Society, London*, 159 (6) : 631-644.
- DARRAS L., DERYCKE C., BLIECK A. & VACHARD D. (2008). — The oldest holocephalan (Chondrichthyes) from the Middle Devonian of the Boulonnais (Pas-de-Calais, France). *Comptes Rendus Palevol*, 7 (5) : 297-304.
- DASCH E.J. & CAMPBELL K.S.W. (1970). — Strontium-isotope evidence for marine or freshwater origin of fossil Dipnoans and Arthroires. *Nature*, 227 (5263): 1159.
- DAVIES N.S. & SANSOM I.J. (sous presse). — Ordovician vertebrate habitats: a Gondwanan perspective. *Palaios*.
- DAVIES N.S., SANSOM I.J., ALBANESI G.L. & CESPEDES R. (2007). — Ichnology, palaeoecology and taphonomy of a Gondwana early vertebrate habitat: Insights from the Ordovician Anzaldo Formation, Bolivia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 249 (1-2) : 18-35.
- DENISON R.H. (1956). — A review of the habitat of the earliest vertebrates. *Fieldiana: Geology*, 11 (8) : 359-457.
- DONOGHUE P.C.J., FOREY P.L. & ALDRIDGE R.J. (2000). — Conodont affinity and chordate phylogeny. *Biological Reviews*, 75 : 191-251.
- ELLIOTT D.K., REED R.C. & JOHNSON H.G. (1999). — The Devonian vertebrates of Utah. In GILLETTE D.D., ed., Vertebrate palaeontology in Utah. *Utah Geological Survey, Miscellaneous Publications*, 99-1 : 1-12.
- FOUCAULT A. & RAOULT J.-F. (1980). — *Dictionnaire de Géologie*. Collection « Guides géologiques régionaux », Masson édit., Paris : 336 p.
- FRIEND P.F. & WILLIAMS B.P.J. eds (2000). — New Perspectives on the Old Red Sandstone. *Geological Society, London, Special Publication*, 180 : 623 p.
- GOEMAERE E., GEENINCKX S. & VANBRABANT Y. (2006). — Les coupes de Tihange et de Huy : étude paléoenvironnementale des formations de Marteau et de Bois d'Ausse (Dévonien inférieur) au bord nord du Synclinorium de Dinant, Belgique. In *Géologie de l'Ardenne occidentale* (Givet, 4-6 mai 2006). *Géologie de la France*, 2006 (1-2) : 35-39.
- GOUJET D. (1984). — Les Poissons Placodermes du Spitsberg : Arthroires Dolichothoraci de la Formation de Wood Bay (Dévonien inférieur). *Cahiers de Paléontologie (Vertébrés)*, CNRS édit., Paris : 284 p.
- GROSS W. (1950). — Die paläontologische und stratigraphische Bedeutung der Wirbeltier-faunen des Old Reds und der marinen Altpaläozoischen Schichten. *Abhandlungen der deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Jahrgang 1949, Nr. 1* : 1-130.

- JANVIER P. (1996). — *Early Vertebrates*. Oxford Monographs on Geology and Geophysics, 33, Oxford Science Publications: 393 p.
- JANVIER P. (2003). — Vertebrate characters and the Cambrian vertebrates. In NÉRAUDEAU D., ed., Les chemins de l'évolution: sur les pas de Steven Jay Gould. Numéro thématique. *Comptes Rendus Palevol*, 2 (6-7) : 523-531.
- JANVIER P. (2009). — Les premiers Vertébrés et les premières étapes de l'évolution du crâne. In COPPENS Y., PADIAN K., DE RICQLÈS A. & TAQUET P., eds, Histoire évolutive de la vie. *Comptes Rendus Palevol*, 8 (2-3) : 209-219.
- KEMP A. & NICOLL R.S. (1996). — A histochemical analysis of biological residues in conodont elements. In TURNER S. & BLIECK A., eds, Gross Symposium, Volume 1. *Modern Geology*, Special Issue, 20 (3-4) : 287-302 [republié in TURNER S. & BLIECK A., eds, Gross Symposium, Volume 2. *Modern Geology*, Special Issue, 21 (1-2) : 197-213 avec 2 planches couleurs (1997)].
- KLUG C., KRÖGER B., KIESSLING W., MULLINS G.L., SERVAIS T., FRYDA J., KORN D. & TURNER S. (sous presse). — The Devonian Nekton Revolution. *Lethaia*.
- KNOX L.W. & GORDON E.A. (1999). — Ostracodes as indicators of brackish water environments in the Catskill Magnafacies (Devonian) of New York State. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 148 : 9-22.
- KUTORGA S. (1835). — *Beitrag zur Geognosie und Paläontologie Dorpats und seiner nächsten Umgebungen*. St. Petersburg : 45 p.
- LELIEVRE H. (2002). — *Phylogénie des Brachythoraci (Vertebrata, Placodermi) et ajustement de la phylogénie à la stratigraphie – Les sites du Dévonien terminal, la caractérisation de leur milieu de dépôt par analyse de similitude de leur ichthyofaune*. Habilitation à Diriger des Recherches, Sciences Naturelles, Université des Sciences et Technologies de Lille, Villeneuve d'Ascq (12 décembre 2002) : 191 + XXVII p. [inédit].
- LELIEVRE H., GOUJET D., BLIECK A. & JANVIER P. (1988). — Poissons du Dévonien du Boulonnais (France). In BRICE D., ed., Le Dévonien de Ferques, Bas-Boulonnais (N. France) : Paléontologie – Sédimentologie – Stratigraphie – Tectonique. *Biostratigraphie du Paléozoïque*, 7 : 503-522.
- LETHIERS F. (1998). — *Evolution de la biosphère et événements géologiques*. Gordon & Breach, Amsterdam : 321 pp.
- LI Z.-X. & POWELL C.Mc A. (2001). — An outline of the palaeogeographic evolution of the Australasian region since the beginning of the Neoproterozoic. *Earth-Science Reviews*, 53 (3-4) : 237-277.
- LOHEST M. (1888a). — Découverte du plus ancien amphibien connu et de quelques fossiles remarquables dans le Famennien supérieur de Modave. *Annales de la Société géologique de Belgique*, XV [1887-1888], *Bulletin* : CXX – CXXVII.
- LOHEST M. (1888b). — Recherches sur les poissons des terrains paléozoïques de Belgique. Poissons des psammites du Condroz, Famennien supérieur. *Annales de la Société géologique de Belgique*, XV [1887-1888], *Mémoire* : 112-203.
- LONG J.A. (1990). — Fishes. In McNAMARA K.J., ed., *Evolutionary Trends*. Belhaven Press, London, chapter 11 : 255-278.
- LONG J.A. (1993). — Early-Middle Palaeozoic vertebrate extinction events. In LONG J.A., ed., *Palaeozoic vertebrate biostratigraphy and biogeography*. Belhaven Press, London, chapter 3 : 54-63.
- MARSHALL J.E.A. & ASTIN T.R. (1996). — An ecological control on the distribution of the Devonian fish *Asterolepis*. *Newsletter on Stratigraphy*, 33 (3) : 133-144.
- MARSHALL J.E.A., ROGERS D.A. & WHITELEY M.J. (1996). — Devonian marine incursions into the Orcadian Basin, Scotland. *Journal of the Geological Society of London*, 153 : 451-466.
- MÄRSS T. (2000). — Silurian vertebrate studies during 1990-1997. In BLIECK A. & TURNER S., eds, Palaeozoic Vertebrate Biochronology and Global Marine / Non-marine Correlation - Final report of IGCP 328 (1991-1996). *Courier Forschungs-Institut Senckenberg*, 223 : 81-90.
- MÄRSS T. & EJNASTO R. (1978). — Raspređenje vertebrata v raznofacial'nyh otlojenijach silura severnoj pribaltiki [Distribution of vertebrates in deposits of various facies in the North Baltic Silurian]. *Eesti NSV Teaduste Akadeemia Toimetised*, 27, K. *Geologia*, 1 : 16-22 [En Russe ; résumé en Français].
- MÄRSS T., FREDHOLM D., TALIMAA V., TURNER S., JEPSSON L. & NOWLAN G. (1995). — Silurian vertebrate biozonal scheme. In LELIÈVRE H., WENZ S., BLIECK A. & CLOUTIER R., eds, Premiers Vertébrés et Vertébrés Inférieurs (VIIIe Congrès International, Paris, 4-9 septembre 1995). *Geobios, Mémoire Spécial*, 19 : 369-372.
- NOVITSKAYA L.I. (2007). — Evolution of generic and species diversity in agnathans (Heterostraci: Orders Cyathaspidiformes, Pteraspisidiformes). *Paleontological Journal*, 41 (3) : 268-280 [original Russian text: *Paleontologicheskii Zhurnal*, 2007 (3) : 33-46].
- NOVITSKAYA L.I. (2008). — Evolution of taxonomic diversity in amphiaspids (Agnatha, Heterostraci: Amphiaspidiformes) and the causes of extinction in ecologically favorable conditions. *Paleontological Journal*, 42 (2) : 181-191 [original Russian text: *Paleontologicheskii Zhurnal*, 2008 (2) : 75-85].
- PANDER C.H. (1856). — *Monographie der fossilen Fische des silurischen Systems der russisch-baltischen Gouvernements*. Kaiserliche Akademie der Wissenschaften, St. Petersburg : X + 91 p.
- RITCHIE A. & GILBERT-TOMLINSON J. (1977). — First Ordovician vertebrates from the Southern Hemisphere. *Alcheringa*, 1 : 351-368.
- ROMER A.S. & GROVE B.H. (1935). — Environment of the early vertebrates. *American Midland Naturalist*, 16 (6) : 805-856.
- ROSEN D.E. (1974). — Phylogeny and zoogeography of salmoniform fishes, and relationships of *Lepidogalaxias salamandroides*. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 153 (2) : 265-325.
- SANSOM I.J., SMITH M.M. & SMITH M.P. (2001). — The Ordovician radiation of vertebrates. In AHLBERG P.E., ed., *Major Events in Early Vertebrate Evolution – Palaeontology, phylogeny, genetics and development*. Systematics Association Special Volume Series, 61, chapter 10 : 156-171.
- SCHMITZ B., ÅBERG G., WERDELIN L., FOREY P. & BENDIX-ALMGREEN S.E. (1991). — ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, Na, F, Sr and La in skeletal fish debris as a measure of the paleosalinity of fossil-fish habitats. *Geological Society of America Bulletin*, 103 (6) : 786-794.
- SCHULTZE H.-P. (1996). — Conodont histology: an indicator of vertebrate relationship? In TURNER S. & BLIECK A., eds, Gross Symposium, Volume 2. *Modern Geology*, Special Issue, 20 (3-4) : 275-285.
- SCHULTZE H.-P. (1999). — The fossil record of the intertidal zone. In HORN M.H., MARTIN K.L.M. & CHOTKOWSKI M.A., eds, *Intertidal fishes: life in two worlds*. Academic Press, San Diego & London, chapter 17 : 373-392.

- SCHULTZE H.-P. & CLOUTIER R. (1996). — Comparison of the Escuminac Formation ichthyofauna with other late Givetian/early Frasnian ichthyofaunas. In SCHULTZE H.-P. & CLOUTIER R., eds, *Devonian fishes and plants of Miguasha, Quebec, Canada*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München : 348-368.
- SCOTSESE C.R. (2002). — PALEOMAP Project : Plate tectonic maps and continental drift animations. World Wide Web address : <http://www.scotese.com> ; Arlington, Texas [dated 1998-2002, updated 2003].
- SEDGWICK A. & MURCHISON R.I. (1835). — On the structure and relations of the deposits contained between the Primary Rocks and The Oolitic Series in the North of Scotland. *Transactions of the Geological Society of London*, 2nd series, vol. III, part I, article IV : 125-160.
- SERVAIS T., HARPER D.A.T., LI Jun, MÜNNECKE A., OWEN A.W. & SHEEHAN P.M. (2009). — Understanding the Great Ordovician Biodiversification Event (GOBE): Influences of paleogeography, paleoclimate, or paleoecology? *Geological Society of America Today*, 19 (4-5) : 4-10.
- SHU D.-G., CONWAY MORRIS S., HAN J., ZHANG Z.-F., YASUI K., JANVIER P., CHEN L., ZHANG X.-L., LIU J.-N., LI Y. & LIU H.-Q. (2003). — Head and backbone of the Early Cambrian vertebrate *Haikouichthys*. *Nature*, 421 (6922) : 526-529.
- SHU D.-G., LUO H.-L., CONWAY MORRIS S., ZHANG X.-L., HU S.-X., CHEN L., HAN J., ZHU M., LI Y. & CHEN L.-Z. (1999). — Lower Cambrian vertebrates from South China. *Nature*, 402 (6757) : 42-46.
- SMITH M.M., SANSOM I.J. & SMITH M.P. (1996). — 'Teeth' before armour: the earliest vertebrate mineralized tissues. In TURNER S. & BLIECK A., eds, *Gross Symposium, Volume I. Modern Geology, Special Issue*, 20 (3-4) : 303-319.
- STEYER S. (2009). — *La Terre avant les dinosaures*. Illustré par A. BENETEAU. Belin / Pour La Science, Paris : 205 p.
- TAQUET P., GOUJET D. & JANVIER P. (2006). — Pirmieji keistu stuburiniu radiniai Livonijoje [First discoveries of strange vertebrates in Livonia]. In INHIGEO Symposium in Vilnius (Lithuania, 28 July-1 August 2006). *Geologijos Akiraciai – Geologijos mokslo istorija*, 2006 (4) : 58-60 [En Lithuanien; résumé en Anglais].
- THIRION F. & BLIECK A. (sous presse). — Les restes de Vertébrés et d'Arthropodes des Formations de Marteau et du Bois d'Ausse (Dévonien inférieur) des coupes de Tihange et de Huy (Belgique). In GOEMAERE E., GEENINCKX S., THIRION F. & BLIECK A., Les Formations de Marteau et du Bois d'Ausse (Dévonien inférieur) au bord nord du Synclinorium de Dinant : les coupes de Huy, de Tihange et de Fond d'Oxhe. *Memoir of the Geological Survey of Belgium*.
- TURNER S., BLIECK A. & NOWLAN G. S. (2004). — Vertebrates (Agnathans and Gnathostomes). In WEBBY B.D., PARIS F., DROSER M.L. & PERCIVAL I.G., eds, *The Great Ordovician Biodiversification Event*. Columbia University Press, New York, chapter 30 : 327-335 + 395-466.
- TURNER S., BURROW C.J., SCHULTZE H.-P., BLIECK A., REIF W.-E.†, REXROAD C.B., BULTYNCK P. & NOWLAN G.S. (sous presse). — False teeth: conodont-vertebrate phylogenetic relationships revisited. *Geodiversitas*.
- WALLISER O.H. ed. (1996). — *Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic – Results of the International Interdisciplinary Cooperation in the IGCP-Project 216 « Global Biological Events in Earth History »*. Springer, Berlin & Heidelberg : 333 p.
- WEHRMANN A., HERTWECK G., BROCKE R., JANSEN U., KÖNIGSHOF P., PŁODOWSKI G., SCHINDLER E., WILDE V., BLIECK A. & SCHULTKA S. (2005). — Palaeoenvironment of an Early Devonian land-sea transition: a case study from the southern margin of the Old Red Continent (Mosel valley, Germany). *Palaios*, 20 (2) : 101-120.
- WHITE E.I. (1958). — Original Environment of the Craniates. In WESTOLL T.S., ed., *Studies on Fossil Vertebrates, presented to D.M.S. Watson*. Athlone Press, London, XI : 212-234.
- WOODWARD A.S. (1891). — *Catalogue of the fossil fishes in the British Museum (Natural History). Part II: Elasmobranchii (Acanthodii), Holocephali, Ichthyodorulites, Ostracodermi, Dipnoi, and Teleostomi (Crossopterygii)*. London, 567 p.
- YANG Qun, MA Junye, SUN Xiao-yan & CONG Pei-yun (2007). — Phylochronology of early metazoans: combined evidence from molecular and fossil data. In RONG Jia-yu & SOMERVILLE I., eds, *Originations and radiations of biota in China (Part II)*. *Geological Journal*, 42 (3-4) : 281-295.
- YOUNG G.C. (2003). — North Gondwana mid-Palaeozoic connections with Euramerica and Asia: Devonian vertebrate evidence. In KÖNIGSHOF P. & SCHINDLER E., eds, *Mid-Palaeozoic Bio- and Geodynamics: The North Gondwana – Laurussia interaction (Frankfurt a.M., 11-21 May 2001)*. *Courier Forschungs-Institut Senckenberg*, 242 : 169-185.
- ZHAO Wen-jin & ZHU Min (2007). — Diversification and faunal shift of Siluro-Devonian vertebrates of China. In RONG Jia-yu & SOMERVILLE I., eds, *Originations and radiations of biota in China (Part II)*. *Geological Journal*, 42 (3-4) : 351-369.

ANNEXE : GLOSSAIRE

Définitions de quelques termes avec lesquels tous les lecteurs des *Annales* ne sont peut-être pas familiers (sur suggestion du comité éditorial des *Annales*).

Stratigraphie

La liste actualisée des nouvelles subdivisions internationales du Cambrien au Dévonien est la suivante, de la plus ancienne à la plus récente (voir le site Web de la Commission Internationale de Stratigraphie : <http://stratigraphy.science.purdue.edu/gssp/>, et Blicek, 2008 ; les subdivisions du Cambrien sont en cours de définition) :

Cambrien / Terreneuvien : Fortunien, Etage 2
Cambrien / Série 2 : Etages 3 et 4
Cambrien / Série 3 : Etage 5, Drumien, Guzhangien
Cambrien / Furongien : Paibien, Etages 9 et 10
Ordovicien inférieur : Trémadocien, Floïen
Ordovicien moyen : Dapingien, Darriwilien
Ordovicien supérieur : Sandbien, Katien, Hirnantien
Silurien / Llandovery : Rhuddanien, Aeronien, Télychien
Silurien / Wenlock : Sheinwoodien, Homérien
Silurien / Ludlow : Gorstien, Ludfordien
Silurien / Pridoli (pas de nom d'étage désigné)
Dévonien inférieur : Lochkovien, Praguien, Emsien
Dévonien moyen : Eifélien, Givétien
Dévonien supérieur : Frasnien, Famennien.

Biologie – écologie

Les quelques définitions données ci-dessous sont issues de sites Web (Le Trésor de la Langue Française Informatisée : <http://atilf.atilf.fr/tlf.htm> ; Dictionnaire Français : <http://dictionnaire.reverso.net/francais-definition/> ; Wikipedia : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Accueil>) :

Benthique (benthonique) : (adj.) qui est dans le benthos ou est en rapport avec lui.
Benthos : (subst.) ensemble des êtres, fixes ou mobiles, vivant et se développant sur les substrats durs ou meubles des fonds des mers et des nappes d'eau douce.
Démersal : (adj.) qui ne flotte pas, qui vit sur le fond des eaux.
Epinectonique : (adj.) parfois utilisé pour des organismes nectoniques vivant (se nourrissant) près de la surface.
Ichtyen : (adj.) qui est relatif au poisson.
Nectobenthique : (adj.) relatif à la faune sous-marine nageant au fond des mers.
Nectonique : (adj.) qui nage librement et se distribue au sein de la masse d'eau (s'oppose ainsi à planctonique).
Pélagique : (adj.) qui vit, se trouve en pleine mer (par opposition à benthique).
Trophique : (adj.) se rapporte à tout ce qui est relatif à la nutrition d'un tissu vivant ou d'un organe ; par extension et par exemple, une relation trophique est le lien qui unit le prédateur et sa proie dans un écosystème.

Paléogéographie

Les quelques définitions données ci-dessous sont issues du Dictionnaire de Géologie (Foucault & Raoult, 1980) et du site Web Wikipedia (*ibid.*) :

Euramerica (aussi connu sous le nom de Laurussia ou Continent des Vieux Grès Rouges) : (n. propre) paléocontinent formé au Dévonien comme résultat de la collision des cratons Laurentia, Baltica et Avalonia (orogénèse calédonienne *s.l.*) ; il comprenait les actuelles Amérique du Nord et Europe du Nord et de l'Est.

Iapetus : (n. propre) l'un des océans du Paléozoïque, du Cambrien au Silurien (voir Scotese, 2002 ; Blakey, 2005).

Laureuropa : (n. propre) désigne une des paléomasses continentales issues des orogénèses du Paléozoïque inférieur ; centrée sur l'équateur, elle correspond (à peu près) aux termes de Continent des Vieux Grès Rouges, Laurussia, Euramerica (voir Scotese, 2002 ; Blakey, 2005).

pré-Pangée : (n. propre) désigne la configuration des paléomasses continentales pendant une partie du Dévonien, issue des orogénèses du Paléozoïque moyen ; cette configuration était relativement compacte avec un contact déjà avéré entre les masses septentrionales (dont le Continent des Vieux Grès Rouges) et méridionales (Gondwana) (voir Scotese, 2002 ; Blakey, 2005).

Rhéique : (n. propre) l'un des océans du Paléozoïque, du Silurien-Dévonien (voir Scotese, 2002 ; Blakey, 2005).

Vieux Grès Rouges (Vieux-grès-rouges) : (n. propre) Ensemble de conglomérats, d'arkoses et de grès, à teinte dominante rouge (climat de type désertique), continentaux et lagunaires, à faunes lacustres, déposés au cours du Dévonien sur un continent du Nord de l'Atlantique (Continent des Vieux Grès Rouges) réunissant le bouclier canadien, l'Irlande, l'Angleterre et le bouclier baltique (tiré de Foucault & Raoult, 1980; cette définition traditionnelle doit être corrigée : voir par exemple Blicek, 1985).

REVISION SYSTEMATIQUE DES RHYNCHONELLES (BRACHIOPODA) DEVONIENNES (EMSIEN – BASE DE L'EIFELIEN) DE FOURMIES EN AVESNOIS (N. DE LA FRANCE).

Systematic revision of Devonian (Emsian-Base Eifelian) rhynchonellid Brachiopoda from Fourmies in Avesnois (N. France)

par Denise BRICE(*)

(Planche I)

Résumé. — Quatre espèces de Rhynchonellida sont reconnues dans le cadre de la révision de deux espèces (*Uncinulus orbignyanus* et *U. pila*) décrites par Le Maître (1929) parmi les nombreuses espèces de brachiopodes et de constructeurs reconnues par cet auteur dans les « couches à *Spirifer cultrijugatus*, Emsien-base Eifélien » à Fourmies. La région est située dans le SW du Paléozoïque de l'Avesnois, prolongement occidental du synclinorium de Dinant de l'Ardenne. Après révision, les quatre espèces décrites sont attribuées à trois genres de Nucinulidae Sartenacr 2004 reconnus pour la première fois dans le Dévonien de l'Avesnois. Il s'agit de *Cuninulus* sp. aff. *melanopotamicus* Sartenacr, 2005, *C. concavus* Sartenacr 2005, *Lapinulus pila* (Schnur, 1851), *Palinulus* nov. sp. Une cinquième espèce : *Oligoptycherhynchus daleidensis* (Roemer, 1844) (Trigonirhynchiidae) trouvée dans la « grauwacke à *Spirifer arduennensis* » collectée à Fourmies par Le Maître (1929) est décrite et reconnue pour la première fois dans le Dévonien de l'Avesnois. Une biozonation des espèces de Nucinulidae décrites est impossible faute d'informations sur le niveau de prélèvement du matériel collecté par Le Maître dans les affleurements dévoniens de l'époque à Fourmies, excepté pour *Lapinulus pila* (p. p.) trouvé plus bas dans la série (section D, fig. 2, Le Maître, 1929). Les unités stratigraphiques actuelles correspondant aux « couches à *Spirifer cultrijugatus* » et « grauwacke à *Spirifer arduennensis* » utilisées par Le Maître (1929) sont précisées.

Abstract. — Four Rhynchonellida species are recognized in relation with the revision of two species (*Uncinulus orbignyanus* and *U. pila*) among a lot of brachiopod and constructed taxa recognized by Le Maître (1929) from the « couches à *Spirifer cultrijugatus*, Emsien-Base Eifélien » at Fourmies. This area is situated in the southwestern part of the Palaeozoic of the Avesnois, western part of the Dinant Synclinorium of the Ardenne. After revision, the four described species are assigned to three genera of the Nucinulidae Sartenacr, 2004 recognized for the first time in the Avesnois. They are: *Cuninulus* sp. aff. *melanopotamicus* Sartenacr, 2005, *C. concavus* Sartenacr 2005, *Lapinulus pila* (Schnur, 1851), *Palinulus* nov. sp. A fifth species: *Oligoptycherhynchus daleidensis* (Roemer, 1844) (Trigonirhynchiidae), from the « grauwacke à *Spirifer arduennensis* » collected at Fourmies by Le Maître (1929), is described and recognized for the first time in Devonian in Avesnois. A biozonation of the described species of Nucinulidae is not possible because there are no information concerning the stratigraphic level where the material has been collected by Le Maître in the outcrops at this time in Fourmies, except for *Lapinulus pila* (p. p.) found in lower part of the series (section D, fig. 2, Le Maître, 1929). The present stratigraphical expressions corresponding to the « couches à *Spirifer cultrijugatus* » and « grauwacke à *Spirifer arduennensis* » used by Le Maître (1929) are stated precisely.

I. — INTRODUCTION

Le matériel révisé, collecté vers 1928 à Fourmies en Avesnois (NE de la France) a été décrit par Le Maître (1929). Il concerne uniquement les brachiopodes Rhynchonellida que Le Maître (*op.cit.*) attribuait à deux espèces d'Uncinulidae : *Uncinulus orbignyanus* (Verneuil, 1850) et *U. pila* (Schnur, 1851), espèces traditionnellement rangées dans ce genre à cette époque. Ces rhynchonelles, avec de nombreux autres fossiles appartenant à plusieurs groupes, constituaient la faune des « schistes à *Spirifer cultrijugatus* » à Fourmies d'après Le Maître (*op. cit.*).

1) Localisation géographique et stratigraphique de la région de Fourmies en Avesnois

Géographiquement, la région de Fourmies, proche de la frontière belge, est située dans le NE de la France, dans le SW du Paléozoïque de l'Avesnois, extrémité occidentale de l'Ardenne qui, au sens de Gosselet (1888), appartient à l'ensemble Paléozoïque s'étendant de la Manche au Rhin. Le Paléozoïque de l'Avesnois correspond au prolongement occidental du synclinorium de Dinant qui s'ennoie sous la couverture secondaire du Bassin de Paris. La région de Fourmies se trouve à proximité de cette limite. La carte (fig. 1) illustre les structures du Paléozoïque de l'Avesnois et

(*) Laboratoire de Paléontologie stratigraphique. Faculté Libre des Sciences et Technologies & Institut Supérieur d'Agriculture, 48 Boulevard Vauban, 59046 LILLE CEDEX e-mail : d.brice@isa-lille.fr

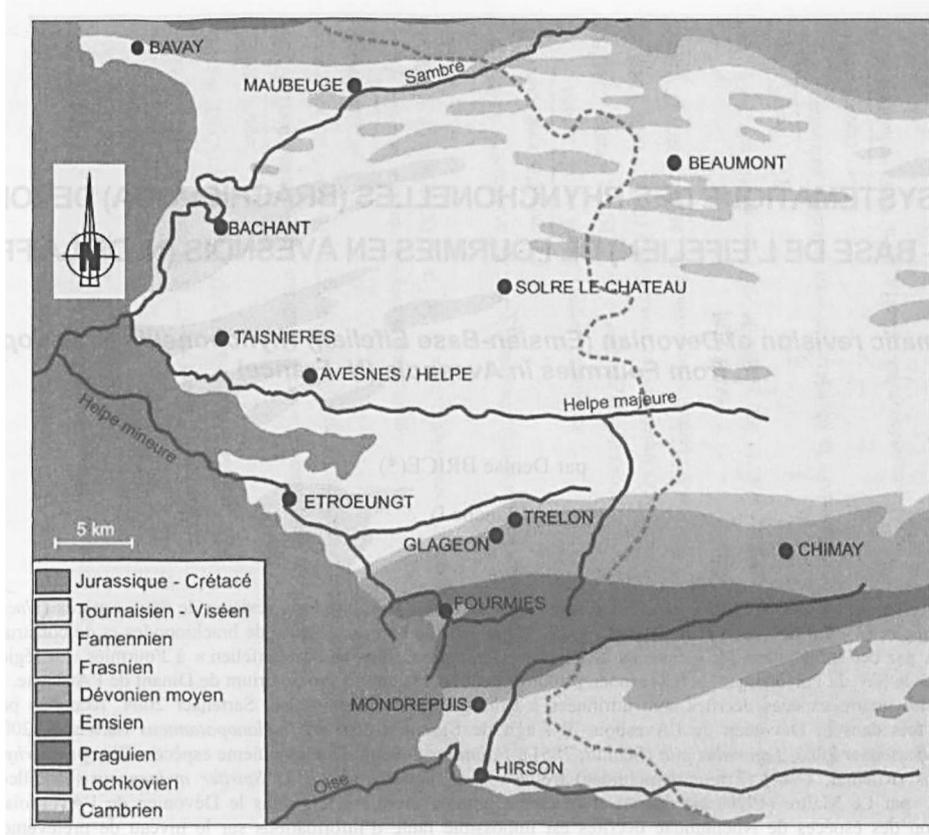


Fig. 1. — Carte schématique du paléozoïque de l'Avesnois et son contact avec le Bassin de Paris. Mistiaen *et al.* (2006, fig. 5), d'après un schéma établi par Waterlot *et al.* (1973, fig. 44) à partir des feuilles de la carte géologique à 1/50000 de Maubeuge (Waterlot *et al.*, 1967), d'Avesnes-sur-Helpe (Waterlot, 1969) et de Trélon (Waterlot *et al.*, 1970).

Fig. 1. — Schematic map of the Avesnois Paleozoic and its boundary with the "Bassin de Paris" Mistiaen *et al.* (2006, fig. 5) according to Waterlot *et al.* (1973, fig. 44) from 1/50000 geological maps: Maubeuge (Waterlot *et al.*, 1967), Avesnes-sur-Helpe (Waterlot, 1969), Trélon (Waterlot *et al.*, 1970).

donne le cadre géologique général de la région de Fourmies qui a livré le matériel décrit. A ce jour, il n'existe plus d'affleurement de terrains paléozoïques sur le territoire de la ville très urbanisé.

Les rhynchonelles attribuées dans ce travail aux Nucinulidés proviennent, d'après Le Maître (1929), des affleurements A à E (*op. cit.* fig. 2) visibles dans des tranchées creusées entre 1924 et 1928 pour l'installation d'une nouvelle usine à 500 m environ à l'Est de la gare SNCF de Fourmies. L'auteur donne les précisions suivantes sur la position stratigraphique des deux espèces qu'elle reconnaît : «*Uncinulus orbignyanus*» est présent dans la partie supérieure des affleurements de la coupe A (*op. cit.*, fig. 2-3), abondante, plus bas, dans les calcaires argileux alternant avec des schistes calcarifères de la coupe B (*op. cit.* fig. 2-4), tandis que «*U. orbignyanus* et *U. pila*» se rencontrent associés à un niveau inférieur dans «4 mètres de schistes calcarifères» de la coupe D (*op. cit.*, fig. 2-6).

2) Importance des Rhynchonellida parmi les brachiopodes dévoniens de Fourmies

Les rhynchonelles ne représentent qu'un très faible pourcentage des espèces de brachiopodes dévoniens (2/31) reconnues à Fourmies (*op. cit.*, p. 35-36). En fait, la plupart

des autres espèces de brachiopodes sont très peu représentés dans nos collections comparativement aux nombreux spécimens de rhynchonelles et de constructeurs.

3) Données paléontologiques nouvelles

La révision des Rhynchonellida de Fourmies fait suite aux travaux de Sartenaer (2004-2005) consacrés au genre *Uncinulus* Bayle, 1878 (Uncinulidae) et aux espèces attribuées au genre.

A partir de la révision des spécimens rangés dans le genre *Uncinulus* par Le Maître (1929), quatre espèces sont décrites attribuées à trois genres de la famille des Nucinulidae Sartenaer, 2004 érigés par Sartenaer (2005). Il s'agit de *Cucinulus* sp. aff. *melanopotamicus* Sartenaer, 2005, *C. concavus* Sartenaer 2005, *Lapinulus pila* (Schnur, 1851) et *Palinulus* nov. sp. La description de ces quatre espèces de Nucinulidae étend donc la distribution géographique de trois genres et trois espèces de cette famille au Dévonien de l'Avesnois, en outre elle montre la vaste distribution de *Palinulus* reconnu désormais d'une manière formelle au Maroc et en France (Avesnois).

Il s'y ajoute une cinquième espèce de rhynchonelle que j'ai découverte dans la «grauwacke à *Spirifer*

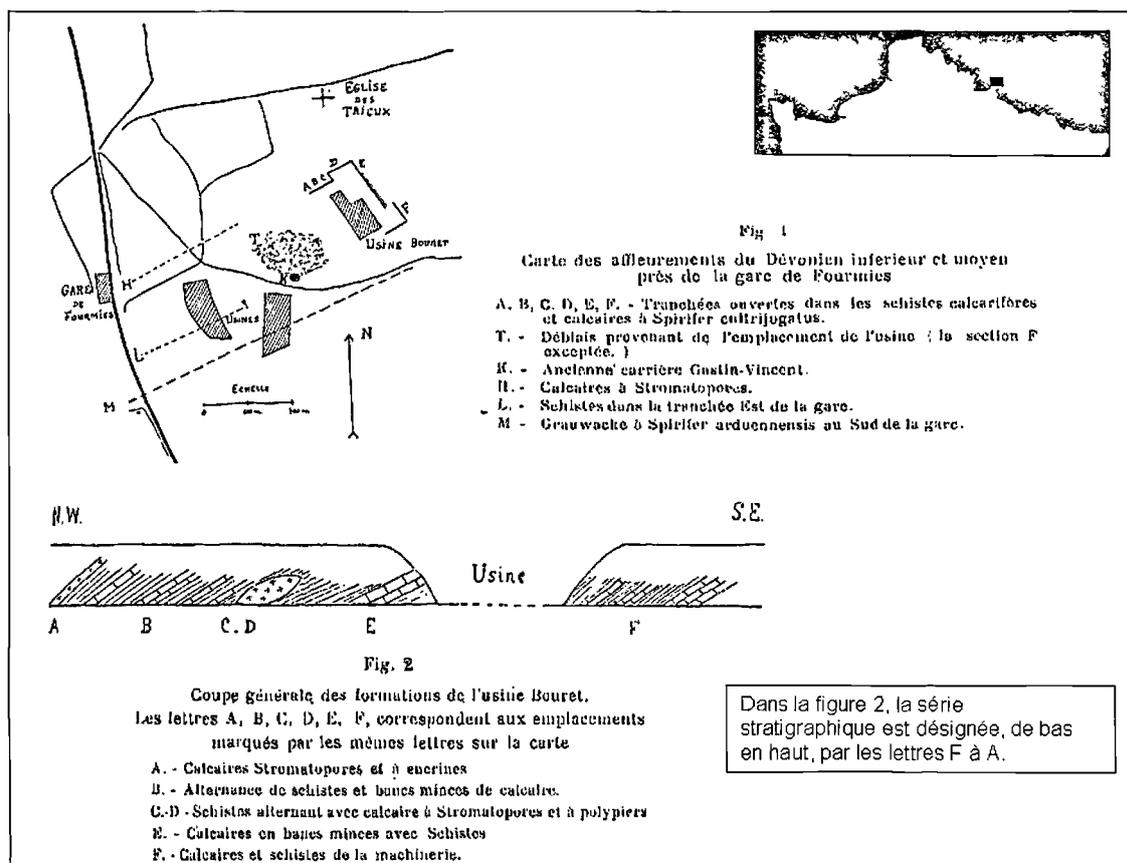


Fig. 2. — Localisation des affleurements à Fourmies; données reprises de Le Maître (1929, fig. 1 et 2, p. 28-29)

Fig. 1. — Location of outcrops at Fourmies according to Le Maître (1929, figs. 1-2, p. 28-29)

arduennensis » conservée dans nos collections, collectée au Sud de la gare de Fourmies (op. cit., fig. 2, point K) par Le Maître (1929). Il s'agit de *Oligoptycherhynchus daleidensis* (Roemer, 1844) (Trigonirhynchiidae), espèce décrite et reconnue pour la première fois dans le Dévonien de l'Avesnois.

Les types et figurés désignés par le sigle GFCL (Géologie Faculté Catholique de Lille) sont conservés dans les collections de la Faculté Libre des Sciences et Technologies, 41 rue du Port de Lille – France.

4) Données biostratigraphiques

D'après Sartenaer (2005, fig. 2), *Cuninulus melanopotamicus* et *C. concavus* sont connus dans l'Emsien supérieur et l'Eifelien inférieur du Bassin de Dinant (sommet de la Formation de Hierges, Formations de Saint Joseph et de l'Eau Noire) pour la première espèce et dans l'Eifel (couches de Heisdorf p. p. et de Lauch) pour la seconde espèce qui se maintient jusqu'au sommet de la Zone à *partitus*. *Lapinulus pila* est connu dans l'Emsien tardif du Grand-Duché de Luxembourg, le SW de l'Eifel et d'autres régions allemandes. Quant à *Oligoptycherhynchus daleidensis* (Roemer, 1844), sa distribution stratigraphique va du « Siegenien Moyen à l'Eifelien inférieur » en Allemagne et en Belgique (Sartenaer, 1970, p. 21) mais l'espèce est abondamment citée dans la

littérature en différentes régions du monde. Le matériel type de *Palinulus* provient de l'Emsien supérieur des plaines centrales du Dra (Anti-Atlas, Maroc présaharien).

Le manque de précision, dans nos collections, sur les niveaux de prélèvement des spécimens par rapport aux observations de terrain rappelées précédemment, rend impossible une biozonation de trois des Nuculinidae reconnues à Fourmies : *Cuninulus* sp. aff. *melanopotamicus* Sartenaer, 2005, *C. concavus* Sartenaer 2005 et *Palinulus* nov. sp, d'autant que l'auteur indique qu'une partie des spécimens a été récoltée dans les déblais. Par contre, l'apparition plus précoce à Fourmies de *Lapinulus pila* par rapport aux espèces de *Cuninulus* est en partie confirmée.

5) Equivalences stratigraphiques actuelles des « couches à *Spirifer cultrijugatus* » et « grauwacke à *Spirifer arduennensis* » utilisées par Le Maître (1929).

Le tableau de Le Maître (op. cit., p.44) montre les correspondances entre d'anciennes désignations et celles de Maillieux (1913a-b) en usage à son époque : « grauwacke à *Spirifer arduennensis* » (Emsien supérieur) et « Assise de Bure, Schistes calcareux à *Spirifer cultrijugatus* » (Couvinien). Sartenaer (2005, p. 27, 29 et fig. 2) rappelle ces anciennes désignations et celles en usage actuellement : Formations Saint Joseph et F. de l'Eau Noire (Bultynck et al.,

1991, p. 27, 29, fig. 2) d'âge Emsien supérieur-Eifelien inférieur correspondant aux zones à *patulus* et *partitus* p.p. dans la zonation des conodontes.

II. — SYSTEMATIQUE

Ordre RHYNCHONELLIDA Kuhn, 1949

Famille TRIGONIRHYNCHIIDAE Schmidt, 1965
Sous-Famille TRIGONIRHYNCHIIINAE Schmidt, In
Schmidt & McLaren, 1965

Genus *Oligoptycherhynchus* Sartenaer, 1970
Type species: *Terebratula hexatoma* Schnur, 1851

Oligoptycherhynchus daleidensis (Roemer, 1844)
Pl. I, fig. 47-51

1844 – *Terebratula daleidensis* C. F. Roemer, p. 65, pl. 1, fig. 7
1853 – *Terebratula daleidensis* C. F. Roemer; Schnur, pl., fig. 1
1970 – *Oligoptycherhynchus daleidensis* (Roemer); Sartenaer, p. 20-21.

Matériel : Trois moulages internes, deux de valves pédonculaires, une de valve dorsale provenant de la « grauwacke à *Spirifer arduennensis* » sensu Le Maître, 1929, (fig.- texte 2).

Discussion

Les moulages internes de valves pédonculaires (Pl. I, fig. 47-48, 51) comme celui de la valve dorsale (Pl. I, fig. 49-50) sont identiques à ceux des types figurés par Roemer par leur grande taille, l'importance du bourrelet dorsal et du sinus ventral, leur ornementation : 4/3 côtes médianes, l'absence de côtes pariétales, 7 côtes latérales sur la valve dorsale, un grand champ musculaire ventral orné de 4 stries radiaires, des traces de lames dentales ventrales divergentes vers le fond de la valve et la trace sur le bourrelet d'un septum médian s'étendant sur environ la moitié de la longueur de la valve.

Distribution géographique et stratigraphique

O. daleidensis est connu du « Siegenien » Moyen à l'Eifelien inférieur notamment en Ardenne (Allemagne, Belgique...cf. ante). A Fourmies, l'espèce provient de la « grauwacke à *Spirifer arduennensis* » d'âge Emsien supérieur, niveau inférieur à « l'Assise à *Spirifer cultrijugatus* » (Le Maître, *op. cit.* tabl. p. 44).

Famille NUCINULIDAE Sartenaer, 2004

Genus *Cuninulus* Sartenaer, 2005
Espèce-type : *Cuninulus melanopotamicus* Sartenaer, 2005

Cuninulus sp. aff. *melanopotamicus* Sartenaer, 2005
Pl. I, fig. 37-46

e. p. 1929 - *Uncinulus orbignyianus* - Le Maître, p. 35, 41, 61-62, 72-73, pl. 3, fig. 12 a-c.
v. aff. 2005 – *Cuninulus melanopotamicus* n. gen., n. sp. Sartenaer, p. 27-29, pl. 1, fig. 1-10 ; text-fig.1.

Matériel : Cinq spécimens, deux complets, deux incomplets et un moulage interne provenant de « l'Assise à *Spirifer cultrijugatus* » Le Maître, 1929 (fig.- texte 2).

Description

Les deux spécimens complets sont de petite taille, dorsibiconvexes, à contour sub-pentagonal, arrondi latéralement ; ils présentant leur plus grande largeur un peu en avant de la mi-longueur. Sinus et bourrelet débutent aux crochets, ils sont nettement définis et modérément développés alors que le bourrelet du spécimen incomplet GFCL 2974 est très développé. Le sinus porte une forte crête médiane qui s'étend du bec ventral à la commissure frontale, il lui correspond un profond sillon dorsal médian divisant le bourrelet en deux parties. La région frontale ventrale, très enfoncée, dessine avec les bords de la languette une sorte de « M » (Sartenaer, 2005) avec deux enfoncements de part et d'autre de la crête que Drot (1964) compare à des narines chez « *Uncinulus lodanensis* » (*op.cit.*, p. 150). Les flancs sont tronqués, géniculés à proximité des commissures latérales moyennement déprimées.

L'ornementation est composée de côtes radiaires débutant près des (ou aux) crochets, basses, plus larges que les sillons intercostaux, souvent bifurquées, les médianes et pariétales étant difficiles à séparer ; les latérales du spécimen GFCL 2971 et du moulage GFCL 2975 forment 2 faisceaux dorsaux et ventraux, ils sont absents sur le GFCL 2972. Sur la partie repliée des valves, les côtes s'aplatissent et portent de fines cannelures médianes, traces d'épines bordières.

Dimensions (Tabl. I)

Caractères internes. Le moule interne (Pl. I, fig. 39, GFCL 2975) est de petite taille. Il possède un angle apical voisin de 115°, un grand champ musculaire ventral, la trace d'un faisceau de côtes latérales (ventral et dorsal), des sinus et bourrelet nettement délimités et la trace d'un septum dorsal dans le sillon qui divise le bourrelet.

Discussion

Les spécimens de *Nucinulus orbignyianus* (Vemeuil, 1850) diffèrent des spécimens décrits par leur très petite taille, leur forme faiblement inéquivalve, parfois plus longue que large, et surtout par leur ornementation dépourvue de faisceaux de côtes et composée de côtes fines et nombreuses.

Les spécimens de Fourmies appartiennent par l'ensemble de leurs caractères au genre *Cuninulus* Sartenaer 2005. Spécifiquement ils sont plus proches par leur taille de *Cuninulus eifeliensis* (Biernat, 1954) que de *C. melanopotamicus* Sartenaer, 2005, toutefois, je les rattache avec réserve à cette dernière espèce plutôt qu'à l'espèce *eifeliensis*, attribuée avec doute au genre *Cuninulus* par Sartenaer (2005), en raison du peu de faisceaux de côtes latéraux sur les spécimens de Fourmies dont un qui en est dépourvu, alors que l'espèce polonaise possède « on each valve...(by) six radial folds » (Biernat, 1954, p. 149). L'attribution à *C. sp. aff. melanopotamicus* est justifiée par le

	L	l	e	aa°	cmp	cp	cl	L/l	e/l	e/L
2971*	11.4	14.6	9.8	114	27	4-5	20	0.78	0.67	0.86
2972*	9.6	11.5	8.7	111	18	4	17	0.83	0.76	0.91
2973*	-	16	-	115	(22)	(4)	-			
2974*	(14)	15.6	(15.3)	115	18	4				
Types				115-120	15-22	4-9	18-22	0.79-0.88	0.58-0.83	0.67-0.95

Tabl. I. — Mensurations des spécimens de *Cuninulus* sp. aff. *melanopotamicus*.

Abréviations. L = Longueur, l = largeur, e = épaisseur (en millimètres), aa° = angle apical en degrés, cmp = côtes médianes et pariétales, cp = côtes pariétales, cl = côtes latérales, ls = largeur du sinus. Les parenthèses indiquent des valeurs incertaines. Les indications en gras sont celles données par Sartenaer (2005). (GFCL = *)

peu de matériel de Fourmies et le petit nombre de types observés à Bruxelles insuffisant pour apprécier la variabilité de la taille de *melanopotamicus*.

Après révision, je rattache la plupart des spécimens « *Uncinulus orbignyianus* » de Le Maître (1929) à *Cuninulus concavus* Sartenaer, 2005 (voir discussion ci-après).

Distribution géographique et stratigraphique

Le matériel de Fourmies provient de « l'Assise à *Spirifer cultrijugatus* » (Le Maître, 1929). D'après Sartenaer (2005), *C. melanopotamicus* est présent uniquement sur la bordure sud du Bassin de Dinant, du sommet de l'Emsien à la base de l'Eifelien.

Cuninulus concavus Sartenaer, 2005
Pl. I, fig.1 à 19, fig. texte 3

e. p. 1929 – *Uncinulus pila*, *U. orbignyianus* ; Le Maître, p. 35, 41, 61, 72-73, pl. 3, fig. 9 (GFCL 482), fig. 10 (GFCL 483).
v. 2005 – *Cuninulus concavus* n. gen., n. sp. Sartenaer, p. 29-33, pl. 1, fig. 11-20 ; text-fig. 3-4.

Matériel : Quinze spécimens dont la moitié incomplets, un déformé, provenant de « l'Assise à *Spirifer cultrijugatus* » sensu Le Maître, 1929 (fig. - texte 2).

Description

Coquilles de taille moyenne exceptionnellement grande, plus larges que longues, fortement inéquivalves et dorsibiconvexes. Les sinus et bourrelet sont à développement variable, bien délimités, le premier par des bords arrondis, ils débutent aux (ou très près des) crochets. Le crochet ventral, courbé, cache le crochet dorsal. Le bourrelet dorsal, souvent élevé, est toujours divisé sur toute sa longueur par un sillon médian anguleux ou arrondi peu profond. Il lui correspond dans le sinus (pour 80% des spécimens) une crête médiane parfois insignifiante, peu marquée, de longueur très variable, qui parfois ne dépasse pas l'umbo ou qui s'interrompt à l'entrée de la languette ou juste avant la commissure antérieure. Le sommet de la coquille est toujours au front. Les flancs sont géniculés à proximité des commissures latérales moyennement déprimées.

Les valves sont couvertes de côtes radiaires débutant aux (ou très près des) crochets, régulières, faiblement convexes, plus larges que les sillons intercostaux, se divisant près des crochets, surtout dans la partie postérieure des valves. Sur la partie repliée des valves, les côtes s'aplatissent et portent de fines cannelures médianes, traces d'épines bordières. Les faisceaux de côtes sont rarement présents ou peu distincts.

Dimensions (Tabl. II) et comparaisons (Tabl. III)

Caractères internes. Les sections sériées de deux spécimens (GFCL 486-487, fig.- texte 3) montrent :

- dans la valve ventrale la présence de plaques deltidiales, l'absence de lames dentales et des cavités umbonales réduites ;

- dans la valve dorsale de larges cavités dentales, un important processus cardinal portant à sa partie supérieure de nombreuses et courtes lamelles, un septum dorsal noyé dans une importante callosité postérieure, des bases crurales à section arrondie très mal conservées.

Discussion

La comparaison entre les données de la population type fournies par l'auteur et les caractères des spécimens de Fourmies (tableaux II-III) nous conduit à les attribuer à *Cuninulus concavus* Sartenaer, 2005, malgré quelques différences dans la valeur de l'angle apical et les rapports e/l, e/L

Distribution géographique et stratigraphique

D'après Le Maître (1929), le matériel décrit a été récolté dans « l'Assise à *Spirifer cultrijugatus* » tandis que les types de *C. concavus* proviennent de l'Allemagne, couches de Heisdorf supérieures et de Lauch dans l'Eifel, datées de l'Emsien terminal et de la base de l'Eifelien. En ce qui concerne le matériel de Fourmies, faute d'information dans nos collections sur le niveau de prélèvement de cette espèce par rapport à l'espèce précédente, il n'est pas possible de donner la position relative de ces deux espèces à Fourmies.

	L	l	e	aa°	cmp	cp	cl	L/l	e/l	e/L
480*	13.5	16.8	12.8	117	18	(4)	19	0.80	0.76	0.95
481*	17.4	21.7	17.1	125	25	5-6	22	0.72	0.79	0.98
479*	13.2	18.3	15.4	119	(18)	(5)	21	0.72	0.84	1.16
484*	14	18.8	(14.4)	115	22-24	4-5	(22)	0.74	(0.77)	(1.03)
485*	13.4	17.2	13.7	119	(20)	(5)	(19)	0.78	0.80	1.02
486*	16.2	18.1	15.9	121	22	5-6	(18)	0.89	0.88	0.98
Types				115-128	15-22	3-5	16-22	0.77-0.92	0.79-0.88	0.58-0.93

Tabl. II. — Mensurations des spécimens de *Cuninulus concavus*. Abréviations (cf. ante).

	<i>Cuninulus concavus</i> Fourmies	<i>Cuninulus concavus</i> types
Présence de ride médiane dans le sinus	80%	59%
Ride médiane	Généralement très courte	Quand elle est présente, elle disparaît au front chez 30% des spécimens
Sillon médian sur le bourrelet	100%	100%
% de faisceaux de côtes sur les flancs	20%	17%
ls/l	63-79%; pour la moitié des spécimens ls/l = 63-71%	65-70%

Tabl. III. — Comparaisons entre les types de *Cuninulus concavus* et les *C. concavus* de Fourmies.

Genus *Lapinulus* Sartenaer, 2005

Type species: *Terebratula pila* Schnur, 1851

Lapinulus pila (Schnur, 1851)

Pl. I, fig. 20-29, fig. – texte 4

1851 - *Terebratula pila* n. sp. Schnur, p. 6

v. 1853 - *Terebratula pila* Schnur, p. 168, 187, pl. XXVI, fig. 1a-f.

e.p. 1929 - *Uncinulus pila* ; Le Maître, p. 35, 41, 61, 72-73, pl. 3, fig. 11, non fig. 10 = *C. concavus*.

v. 2005 - *Lapinulus pila* (Schnur, 1851) ; Sartenaer, p. 39-44, fig.-texte 7.

Matériel : Cinq spécimens incomplets et un moulage interne provenant de « l'Assise à *Spirifer cultrijugatus* » Le Maître, 1929 (fig. - texte 2).

Description

Coquilles de grande taille, inéquivalentes et dorsibiconvexes, sans faisceaux de côtes sur les flancs. Valve ventrale très faiblement convexe, presque plane. Sinus assez large sans limites nettes, débutant à courte distance du crochet, sans ride médiane. Bourrelet peu élevé divisé par un sillon médian peu profond. Côtes radiales nombreuses convexes séparées par des sillons intercostaux sensiblement de même largeur.

Dimensions (Tabl. IV)

Caractères internes. Le moulage interne (Pl. I fig. 28-29) montre un important champ musculaire ventral prolongé par une strie médiane dans le sinus, un repli anguleux des flancs ventraux en direction dorsale, un bourrelet dorsal peu élevé divisé postérieurement par un court sillon peu profond portant la trace d'un septum dorsal médian. Les sections sériées (fig.-texte 4), très semblables à celles du topotype MB B.1229

illustrées par Sartenaer (2005, fig. 7), montrent des plaques deltidiales bien développées, des lames dentales mal individualisées, des cavités umbonales quasi-inexistantes, une cavité delthyriale rectangulaire postérieurement, un septalium étroit, un processus cardinal court couvert de nombreuses lamelles, de fortes dents et un septum dorsal court.

Discussion

Les caractères externes et internes de ces rares spécimens (bien que mal conservés et incomplets), justifient leur attribution à *Lapinulus pila*.

Distribution géographique et stratigraphique

Sartenaer (2005, p. 39-40) rappelle les désignations successives du lectotype de *Lapinulus pila*. Il précise que l'espèce a été recueillie abondamment dans des niveaux datés de l'Emsien tardif en de nombreuses régions allemandes en dehors de la région type : SW « Eifelkalkmulden area » et mentionnée en de nombreuses autres régions du monde...D'après Le Maître (1929, p. 31-32), « *Uncinulus pila* » de Fourmies en Avesnois a été récolté dans « l'Assise à *Spirifer cultrijugatus* » associé à « *Uncinulus orbignyanus* » en dessous du niveau supérieur à « *Uncinulus orbignyanus* ».

Genre *Palinulus* Sartenaer, 2005

Type species: *Palinulus zairensis* Sartenaer, 2005

Palinulus nov. sp.

Pl. I, fig. 30-36, fig. - texte 5

e. p. 1929 - *Uncinulus pila*, *U. orbignyanus* ; Le Maître, p. 35, 41, 61, 72-73.

Matériel : Neuf spécimens, dont cinq écrasés et très incomplets rattachés avec réserve au genre. Le matériel provient de « l'Assise à *Spirifer cultrijugatus* » Le Maître, 1929 (fig. - texte 2).

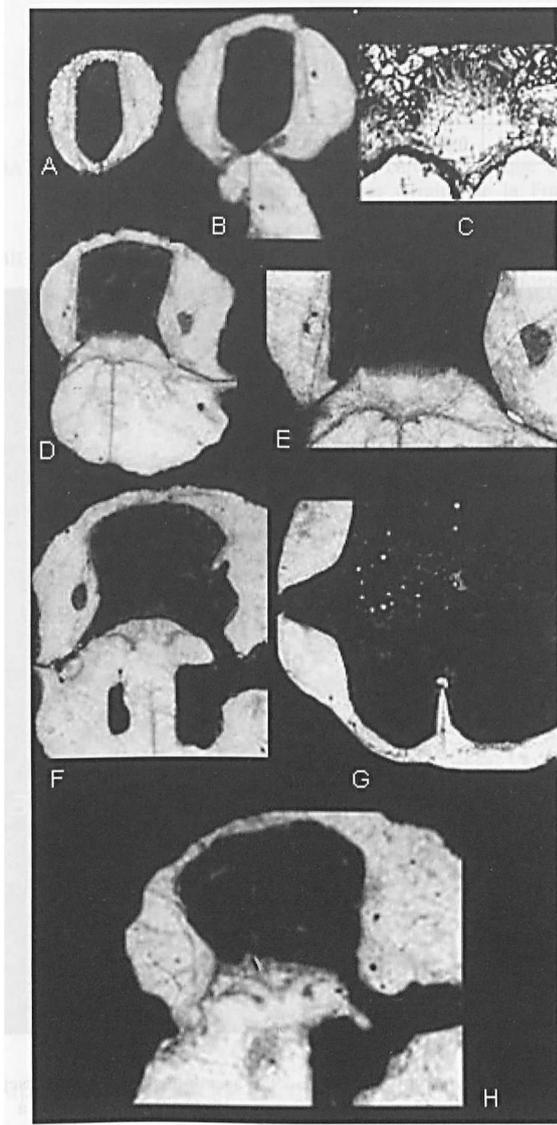


Fig. 3. — *Cuninulus concavus* Sartenaer, 2005. GFCL 487 : sections séries transverse (peels), A à 0.7 mm, x 10, B à 0.8 mm x 10, C à 1.15 mm x 30, D-E à 1.6 mm x 10 et x 20, F à 2.9 mm x 10, G à 3.2 mm x 10 et GFCL 486, H à 2.5 mm x 6, mesurées depuis l'extrémité postérieure de la coquille.

Fig. 3. — *Cuninulus concavus* Sartenaer, 2005. GFCL 487: transverse serial sections (peels). A at 0.7 mm, x 10, B at 0.8 mm x 10, C at 1.15 mm x 30, D-E at 1.6 mm x 10 and x 20, F at 2.9 mm x 10, G at 3.2 mm x 10 and GFCL 486, H at 2.5 mm x 6, from the posterior end of the shell, respectively.

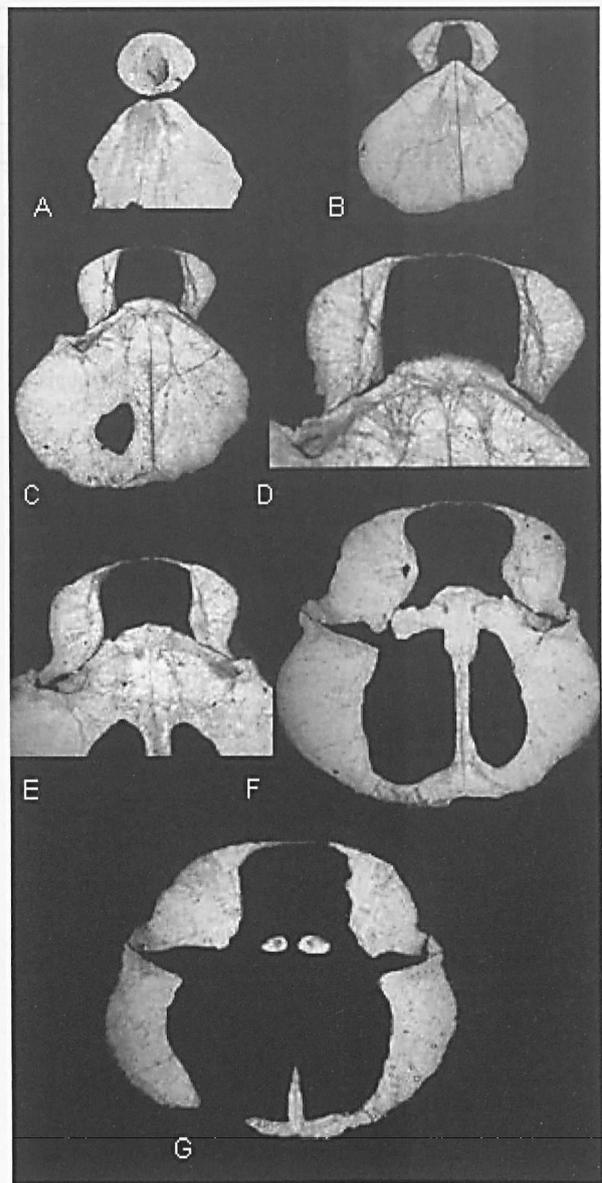


Fig. 4. — *Lapinulus pila* (Schnur, 1851). GFCL 2979 : sections séries transverse (peels), A à 0.2 mm, x 6, B à 0.25 mm x 6, C-D à 1.7 mm x 3 et x 6, E à 1.95 mm x 3, F à 2.5 mm x 3, G à 3.4 mm x 3, mesurées depuis l'extrémité postérieure de la coquille.

Fig. 4. — *Lapinulus pila* (Schnur, 1851). GFCL 2979: transverse serial sections (peels), A at 0.2 mm, x 6, B at 0.25 mm x 6, C-D at 1.7 mm x 3 and x 6, E at 1.95 mm x 3, F at 2.5 mm x 3, G at 3.4 mm x 3, from the posterior end of the shell, respectively.

	L	l	e	aa°	cmp	cp	cl	L/l	e/l	e/L
2976*	16.8	18.8	16.4	121	20-22	4-5	(19)	0.89	0.87	0.98
2977*	16.6	19.4	14.5	118	-	-	-	0.86	0.75	0.87
2978*	-	21.5	-	125	-	-	-	-	-	-
2979*	-	(20.8)	-	125	(23)	5	(20)	-	-	-
Types				115-120	18-25	5-7	20-28	0.86-0.98	0.68-0.97	0.97-1.07

Tabl. IV. — Mensurations des spécimens de *Lapinulus pila* (abréviations cf. ante).

	L	l	e	aa°	cmp	cp	cl	L/l	e/l	e/L
2981*	14.1	17	13.4	111	(20)	4	(19)	0.83	0.79	0.94
2982*	15	17.7	-	120	23	6	19	0.85	-	-
Types				111-121	18-26	3-7	19-25	0.90-1.04	0.59-0.84	0.58-0.91

Tabl. V. — Mesurations des spécimens de *Palinulus nov. sp.* (abréviations cf. *ante*).

Description

Coquilles de taille moyenne, sub-pentagonales arrondies en vue ventrale, faiblement dorsi-biconvexes, à sinus et bourrelet peu développés, à limites mal définies, débutant à des distances variables des crochets toujours en avant de l'umbo. Le sinus est souvent plus marqué que le bourrelet, il est dépourvu de crête médiane et se prolonge dans une languette rectangulaire peu élevée. Une amorce de sillon médian peu profond s'observe sur le bourrelet au niveau de l'umbo chez les spécimens les mieux conservés. Le sommet de la coquille est au front.

Les côtes radiaires qui couvrent les deux valves sont sensiblement de même largeur et difficiles à départager en côtes médianes, pariétales et latérales. Elles débutent aux (ou près des) crochets ou par divisions, les faisceaux de côtes sont absents.

Dimensions (Tabl. V)

Caractères internes. Les sections sériées d'un spécimen (GFCL 2982, fig.-texte 5) montrent :

- des plaques deltidiales bien développées, l'absence de lames dentales et de cavités umbonales, une vaste cavité dehyriale, un champ musculaire ventrale très imprimé ;
- un septalium de petite taille, un large processus cardinal couvert de nombreuses lamelles courtes, une forte callosité postérieure, des dents arrondies moyennement développées, un court septum dorsal.

Discussion

La comparaison entre les données de la population type fournies par Sartenaer et celles des spécimens de Fourmies nous conduit à les attribuer au genre *Palinulus* Sartenaer, 2005 malgré quelques différences dans la valeur du rapport L/l. Il s'agit certainement d'une nouvelle espèce impossible à définir à partir du matériel de Fourmies insuffisant et composé de spécimens souvent incomplets ou écrasés. Cette espèce diffère de l'espèce-type, par un développement dorsi-biconvexe moins accentué, un sinus ventral plus large, et par sa taille moins variable comparée aux exemplaires de *P. zairensis* que j'ai vus à Bruxelles dont certains sont grands, subpentagonaux et possèdent une valve ventrale plano-convexe presque dépourvue de sinus.

Distribution géographique et stratigraphique

L'espèce-type provient de l' « Assise d'El-Ansar » de la partie orientale des Plaines du Dra (Anti-Atlas marocain) d'âge Emsien tardif.

D'après Le Maître (1929), le matériel de Fourmies a été récolté dans « l'Assise à *Spirifer cultrijugatus* ».

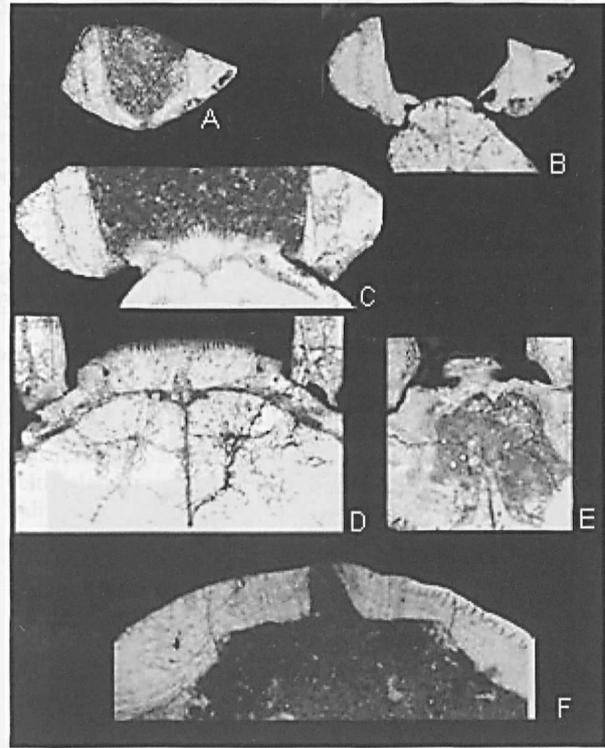


Fig. 5. — *Palinulus nov. sp.* GFCL 2982 : sections sériées transverses (peels), A à 0.1 mm, x 10, B à 0.2 mm x 10, C à 0.3 mm x 10, D à 1.2 mm x 10, E à 2.9 mm x 5, F à 4.2 mm, x 5, mesurées depuis l'extrémité postérieure de la coquille.

Fig. 5. — *Palinulus nov. sp.* GFCL 2982: transverse serial sections (peels), A at 0.1 mm, x 10, B at 0.2 mm x 10, C at 0.3 mm x 10, D at 1.2 mm, x 10, E at 2.9 mm x 5, F at 4.2 mm, x 5, from the posterior end of the shell, respectively.

Remerciements. — L'auteur exprime sa vive gratitude au Dr Adam Halamski de l'Académie des Sciences de Pologne à Varsovie pour sa lecture critique minutieuse du manuscrit et ses remarques constructives nous permettant d'améliorer sensiblement son contenu, aux membres du laboratoire Dr Bruno Mistiaen pour sa relecture du manuscrit et Pascal Deville pour son aide dans la préparation des illustrations.

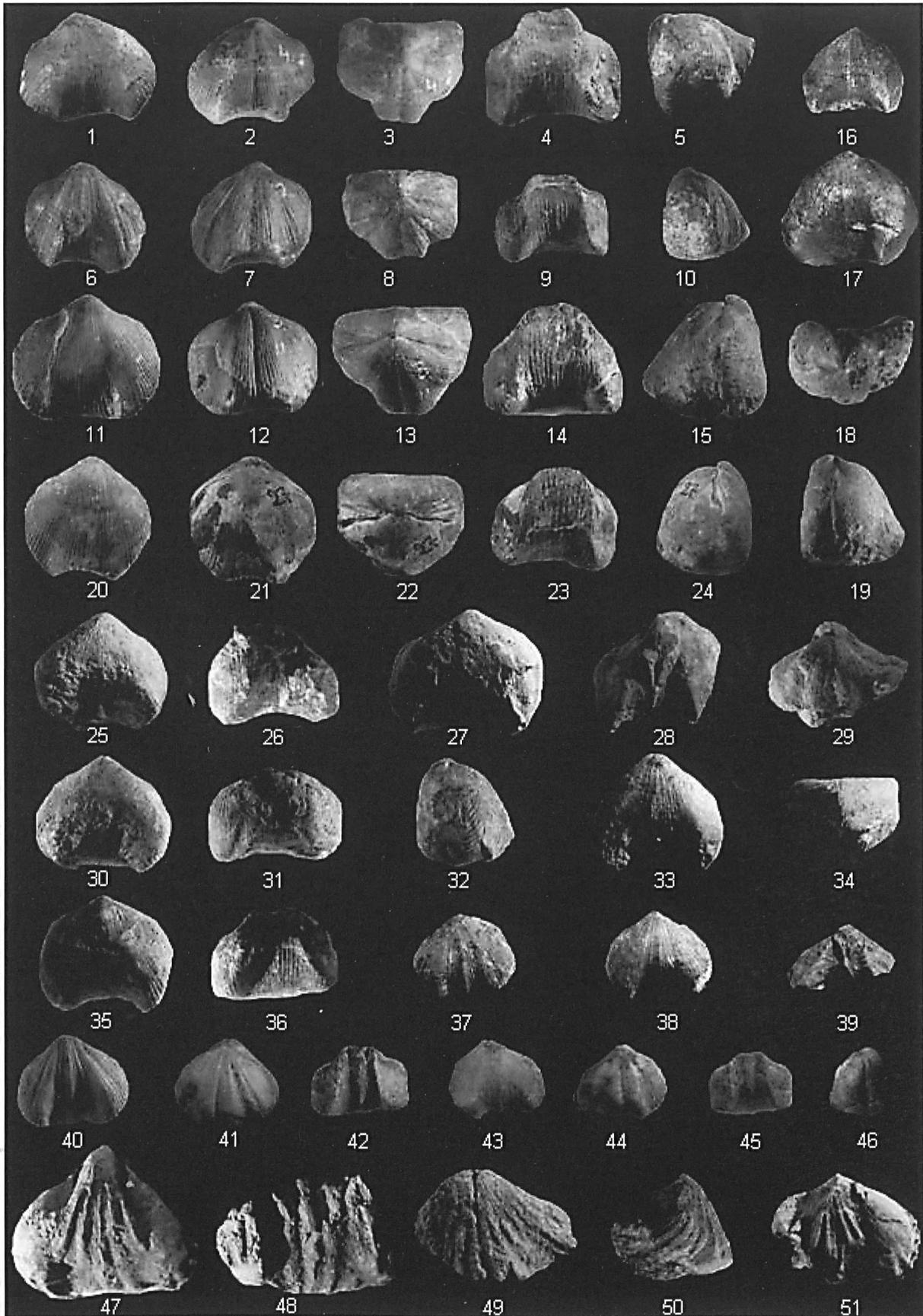
BIBLIOGRAPHIE

- BAYLE E. (1878). — Explication de la carte géologique de la France. 4 (1). Fossiles principaux des terrains de la France. Atlas : 79 pls.
- BIERNAT G. (1954). — Brachiopods from the Couvinian of Grzegorzowice. *Acta Geologica Polonica, Pars Palaeontologica*, 4 (4) : 485-533.
- BULTYNCK P., COEN-AUBERT M., DEJONGHE L., GODEFROID J., HANCE L., LACROIX D., PREAT A., STAINIER P., STEEMANS Ph., STREEL M. & TOURNEUR F. (1991). — Les formations du Dévonien de la Belgique. *Mémoires explicatifs Cartes Géologiques et Minières de la Belgique*, 30, 106 p.
- DROT J. (1964). — Rhynchonelloidea et Spiriferoidea siluro-dévonien du Maroc Pré-Saharien. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 132 : 286 p.
- GOSSELET J. (1988). — L'Ardenne. Mémoire pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France. *Baudry et Cie. Paris*, 881 p.
- KUHN O. (1949). — Lehrbuch der Paläozoologie. *Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart*. 386 p.
- LE MAITRE D. (1929). — La faune des couches à *Spirifer cultrijugatus* à Fourmies. *Annales de la Société Géologique du Nord*. 54 : 27-74, pl. III, 8 fig.
- MAILLIEUX E. (1913a). — Note préliminaire sur le Couvinien des tranchées de la gare de Jemelle. *Bulletin de la Société belge de Géologie, Paléontologie, Hydrologie*, 27 : 9-16.
- MAILLIEUX E. (1913b). — Compte rendu des excursions dans le Dévonien des environs de Couvin et de Chimay. Session extraordinaire annuelle de la Société belge de Géologie, Paléontologie, Hydrologie. *Bulletin de la Société belge de Géologie, Paléontologie, Hydrologie*, 27 : 45-65.
- MISTIAEN B., HUBERT B., BRICE D. (2006). — Le massif primaire de l'Avesnois. « De l'acmé du phénomène récifal à sa disparition ». Livret guide d'excursion A.B.P.G., (Association Professeurs Biologie Géologie, juillet 2006).
- ROEMER C.F. (1844). — Das Rheinische Uebergangsgebirge. Eine paläontologische-geognostische Darstellung. Hannover, 96 p.
- SARTENAER P. (1970). — Nouveaux genres Rhynchonellides Brachiopodes du Paléozoïque *Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique*, 46 (32) : 1-32.
- SARTENAER P. (2004). — Restatement of *Terebratula Orbignyana* DE VERNEUIL, 1850 on the basis of the original collection. *Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique*, 74-supplément: 81-88.
- SARTENAER P. (2005). — New middle and late Emsian and early Eifelian rhynchonellide (brachiopod) genera of the Family Nucunulidae SARTENAER, 2004. *Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique*, 75: 25-52.
- SCHMIDT H. & MCLAREN D. J. (1965). — Paleozoic Rhynchonellacea In R. C. MOORE (Ed), Treatise on Invertebrate Paleontology. Part H. Brachiopoda. *The Geological Society of America & The University of Kansas Press*, 552-597.
- SCHNUR J. (1851). — Die Brachiopoden aus dem Uebergangsgebirge der Eifel. Programm der vereinigten höhern Bürger- und Provinzial-Gewerbeschule zu Trier für das Schuljahr 1851. Linz Trier : 16 p.
- SCHNUR J. (1853). — Zusammenstellung und Beschreibung sämtlicher im Uebergangsgebirge der Eifel vorkommenden Brachiopoden nebst Abbildungen derselben. *Palaeontographica*, 3: 169-247.
- VERNEUIL DE E. (1850). — Note sur les fossiles dévonien du district de Sabero (Léon). *Bulletin de la Société Géologique de France*, série 2, 7 : 175-176.
- WATERLOT G. (1969). — Carte géologique à 1/50000 feuille XXVII-7 Avesnes-sur-Helpe.
- WATERLOT G., BEUGNIES A. & GODFRIAUX Y. (1967). — Carte géologique à 1/50000 feuille XXVIII-6 Maubeuge.
- WATERLOT G. DELATTRE CH. & HATRIVAL J. N. (1970). — Carte géologique à 1/50000 feuille XXVII-8 Trélon.
- WATERLOT G., BEUGNIES A., BINTZ A (1973). — Ardenne Luxembourg. Guides géologiques régionaux. *Masson & Cie*, 206 p.

EXPLICATIONS DE LA PLANCHE I
EXPLANATIONS OF PLATE I

Toutes les photos sont grandeur naturelle
All photos are in natural size

- Fig. 1-19. — *Cuninulus concavus* Sartenaer, 2005. 1-5 : GFCL 479, vues ventrale, dorsale, postérieure, antérieure et latérale d'un spécimen à bourrelet très élevé. 6-10 : GFCL 480, vues ventrale, dorsale, postérieure, antérieure et latérale d'un autre spécimen. 11-15 : GFCL 481, vues ventrale, dorsale, postérieure, antérieure, latérale d'un autre spécimen. 16 : GFCL 486, vue ventrale d'un spécimen sectionné. 17-19 : GFCL 487, vues ventrale, postérieure et latérale d'un autre spécimen sectionné.
- Fig. 1-19. — *Cuninulus concavus* Sartenaer, 2005. 1-5: GFCL 479, ventral, dorsal, posterior, anterior and lateral views of a specimen with a high fold. 6-10: GFCL 480, ventral, dorsal, posterior, anterior and lateral views of another specimen 11-15: GFCL 481, ventral, dorsal, posterior, anterior and lateral views of another specimen. 16: GFCL 486, ventral view of a sectioned specimen. 17-19: GFCL 487, ventral, posterior and lateral views of another sectioned specimen
- Fig. 20-29. — *Lapinulus pila* (Schnur, 1851). 20-24: GFCL 2976, vues ventrale, dorsale, postérieure, antérieure et latérale d'un spécimen. 25-26: GFCL 2977, vues ventrale, antérieure d'un autre spécimen. 27 : GFCL 2979, vue ventrale d'un spécimen sectionné. 28-29: GFCL 2980, vues ventrale et dorsale d'un moulage.
- Fig. 20-29. — *Lapinulus pila* (Schnur, 1851). 20-24: GFCL 2976, ventral, dorsal, posterior, anterior and lateral views of a specimen. 25-26: GFCL 2977, ventral, anterior views of another specimen. 27: GFCL 2979, ventral view of a sectioned specimen. 28-29: GFCL 2980, ventral and dorsal views of an internal mould.
- Fig. 30-36. — *Palinulus* nov. sp. 30-32 : GFCL 2981, vues ventrale, antérieure et latérale d'un spécimen. 33-34 : GFCL 2983, vues ventrale et postérieure d'un autre spécimen. 35-36 : GFCL 2982, vues ventrale et antérieure d'un spécimen sectionné.
- Fig. 30-36. — *Palinulus* nov. sp. 30-32: GFCL 2981, ventral, anterior and lateral views of a specimen. 33-34: GFCL 2983, ventral and posterior views of another specimen. 35-36: GFCL 2982, ventral and anterior views of another sectioned specimen.
- Fig. 37-46. — *Cuninulus* sp.aff. *melanopotamicus* Sartenaer, 2005. 37 : GFCL 2974, vue ventrale d'un spécimen incomplet. 38 : GFCL 2973, vue ventrale d'un autre spécimen incomplet. 39 : GFCL 2975, vue ventrale d'un moulage. 40-42, vues ventrale, dorsale et antérieur du spécimen fig. 12a-c in Le Maître, 1929. 43-46, vues ventrale, dorsale et antérieure, latérale d'un autre spécimen.
- Fig. 37-46. — *Cuninulus* sp. aff. *melanopotamicus* Sartenaer, 2005. 37: GFCL 2974, ventral view of an incomplete specimen. 38: GFCL 2973, ventral view of another incomplete specimen. 39: GFCL 2975, ventral view of an internal mould. 40-42: ventral, dorsal and anterior views of specimen (Le Maître, 1929, fig. 12a-c). 43-46, ventral, dorsal anterior and lateral views of another specimen figured.
- Fig. 47-51. — *Oligoptycherhynchus daleidensis* (Roemer, 1844). 48-49 GFCL 488, vues ventrale et antérieure d'un moulage de valve ventrale. 49-50 : GFCL 489, vue dorsale et latérale d'un moulage de valve dorsale. 51 GFCL 490, vue ventrale d'un autre moulage de valve ventrale.
- Fig. 47-51. — *Oligoptycherhynchus daleidensis* (Roemer, 1844). 48-49: GFCL 488, ventral and anterior views of an internal mould of a ventral valve. 49-50: GFCL 489, dorsal and lateral views of a cast of a dorsal valve. 51: GFCL 490, ventral view of another cast of a ventral valve.



DETAILED LITHOLOGY AND FAUNAL OCCURRENCE OF THE MARENNE - EAST AND CENTRE SECTIONS - QUARRY (GIVETIAN, MIDDLE DEVONIAN, EASTERN BELGIUM).

Lithologie détaillée et distribution faunique des coupes - Est et Centre - de la carrière de Marenne (Givétien, Dévonien moyen, Belgique orientale).

par Benoît L. M. HUBERT (*) et Cédric MABILLE (**)

Résumé. — Le Givétien (Dévonien moyen) de l'Ardenne méridionale se caractérise par six formations (depuis la Formation d'Hanonet p.p. jusqu'à celle de Nismes p.p.). La carrière de Marenne, située dans la partie orientale des Ardennes belges, permet d'observer la base de cette série sédimentaire (depuis la Formation des Trois-Fontaines jusqu'à la Formation des Terres d'Hours). Ce travail présente les colonnes stratigraphiques détaillées de deux coupes (Marenne Est et Centre) situées au sein de la carrière, ainsi que la distribution et l'abondance des principaux groupes fossiles observées *in situ* et en microfaciès.

Abstract. — *The Givetian (Middle Devonian) of the Southern Ardennes is divided into six formations (from the Hanonet Formation p.p. to the Nismes Formation p.p.). The Marenne quarry located in the eastern part of the Ardennes (Belgium) exposes the base of this stratigraphic interval (from the Trois-Fontaines to the Terres d'Hours Formations). This paper describes two detailed sections (bed-by-bed) and the occurrence of macrofauna and microfauna and abundance of microfauna.*

I. — INTRODUCTION

The Marenne quarry (50° 10' 01.53'' N – 5° 16' 00.30'' E) is located on the South-Eastern part of the Ardennes (Belgium) and belongs to the Southern border of the Dinant Synclinorium (figs. 1-2a). The studied sections contain stratigraphic interval from the Trois-Fontaines Formation through the Terres d'Hours Formation (fig. 1). A first sedimentological analysis of the Marenne sections was performed by Mabilille *et al.* 2008. The present paper is a complementary database and proposes a detailed (bed-by-bed) lithological description with occurrence (macro- and microfossils) and abundance of the main groups of microfossils. The two sections (Marenne East and Marenne Centre) are respectively 115 metres and 48 metres thick, and 350 samples were collected for thin section analyses and determination of faunal occurrence and abundance.

II. — LITHOLOGY

The Marenne quarry (fig. 2a, b) is divided in two sections – Marenne East (ME) and Marenne Centre (MC) – and

exposes the Trois-Fontaines (in ME and MC) and Terres d'Hours Formations (in ME).

1) Trois-Fontaines Formation

a) Marenne East section - 0 to 81.5 m – (figs. 3, 4, 5)

In the Marenne quarry, 81.5 metres of the Trois-Fontaines Formation are exposed (the base of the formation is not exposed). The formation was divided in two parts, the "Marenne Member" (fig. 2) and the "Upper part" (figs. 3, 4) by Mabilille *et al.* (2008). The introduction of the Marenne member was based on non-typical sedimentological features clearly differing from what is classically observed for Hanonet or Trois-Fontaines Formations (PRÉAT & TOURNEUR 1991) and is rather attributed to the Trois-Fontaines Formation by the presence of rugose corals (*Columnaria* and *Sociophyllum*) (see MABILILLE *et al.*, 2008 for a complete discussion).

The Marenne Member (24 first metres) is composed of slightly argillaceous limestone and dark limestone (0.1 to 1 m-thick), rarely interrupted by siltstone intercalations (centimetres-thick). Numerous hummocky cross stratifications and planar laminations are observed. The fauna is well

(*) Laboratoire de Paléontologie stratigraphique, FLST – ISA, Géosystèmes UMR 8157, 41 rue du Port, 59046 Lille cedex, France. E-mail : benoit.hubert@icl-lille.fr

(**) TOTAL E&P, CSTJF, 64000 Pau, France - Pétrologie sédimentaire, B20, Université de Liège, Sart-Tilman 4000 Liège, Belgique. E-mail : cedric.mabilille@total.com

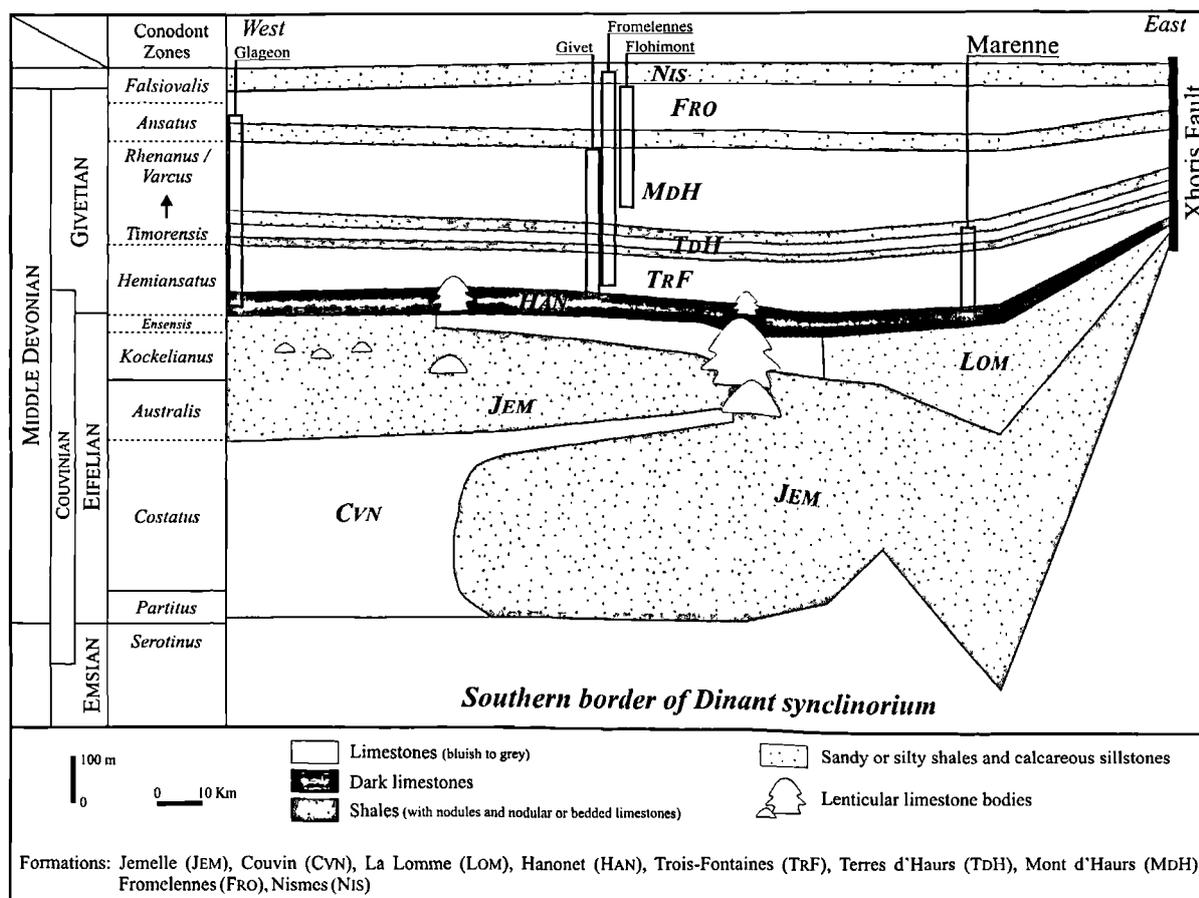


Fig. 1. — Simplified lithostratigraphic cross section of Givetian formations across the Southern and Southeastern border of the Dinant Synclinorium, adapted from BULTYNCK & DEJONGHE (2001), DUMOULIN & BLOCKMANS (2008), PRÉAT & BULTYNCK (2006) and MABILLE *et al.* (2008). The lithostratigraphic interval covered by Glageon, Givet, Fromelennes, Flohimont and Marenne are represented by boxes.

Fig. 1. — Canevas lithostratigraphique des formations du Givétien le long de la bordure méridionale du synclinorium de Dinant, d’après BULTYNCK & DEJONGHE (2001), DUMOULIN & BLOCKMANS (2008), PRÉAT & BULTYNCK (2006) et MABILLE *et al.* (2008). Les rectangles représentent l’intervalle lithostratigraphique couvert par les différentes coupes déjà étudiées ou en cours d’études, soit Glageon, Givet, Fromelennes, Flohimont et Marenne.

diversified and composed of brachiopods (e.g. stringocephalids), crinoids, gastropods and rare reworked tabulate corals (mainly at the base and at the top of the interval).

The boundary between the “Marenne Member” and the “Upper part” is characterized by an increase of reefal fauna (mainly tabulate corals). The “Upper part” (57.5 metres thick) consists of an irregular alternation of light blue-grey crinoidal and bioclastic limestone with very argillaceous dark-grey limestone. The bioclastic limestones contain a well diversified fauna of brachiopods, branching and laminar tabulate corals, laminar and domical stromatoporoids, and colonial or solitary rugose corals. The argillaceous limestones are clearly less diversified in fauna (gastropods and ostracods).

b) Marenne Centre section - 0 to 48 m – (figs. 6, 7)

The first 34 metres of the Marenne Member of the “Centre section” consist of similar sediments than those

observed in the “East section” and are considered as a lateral equivalent (Mabille *et al.* 2008). The member is composed of slightly argillaceous and laminated grey limestone (0.15 to 0.90 metres thick) and massive bluish limestone. The fauna is diversified and dominated by brachiopods, crinoids, ostracods and, on the top of the section, by rare reworked tabulate corals. The last 14 metres of the Marenne Member are slightly different and consist of a reefal lens containing a rich and diversified fauna (dominated by crinoids, stromatoporoids, tabulate and rugose corals).

2) Terres d’Hairs Formation

a) Marenne East section - 81.5 to 115 m – (fig. 4)

The Marenne East section exposes the first 33.5 metres of the Terres d’Hairs Formation. The formation begins by a bed containing a rich reefal fauna (fasciculate and solitary rugose corals, i.e. *Argutastrea quadrigemina*, and branching tabulates). Then, the formation consists of slightly

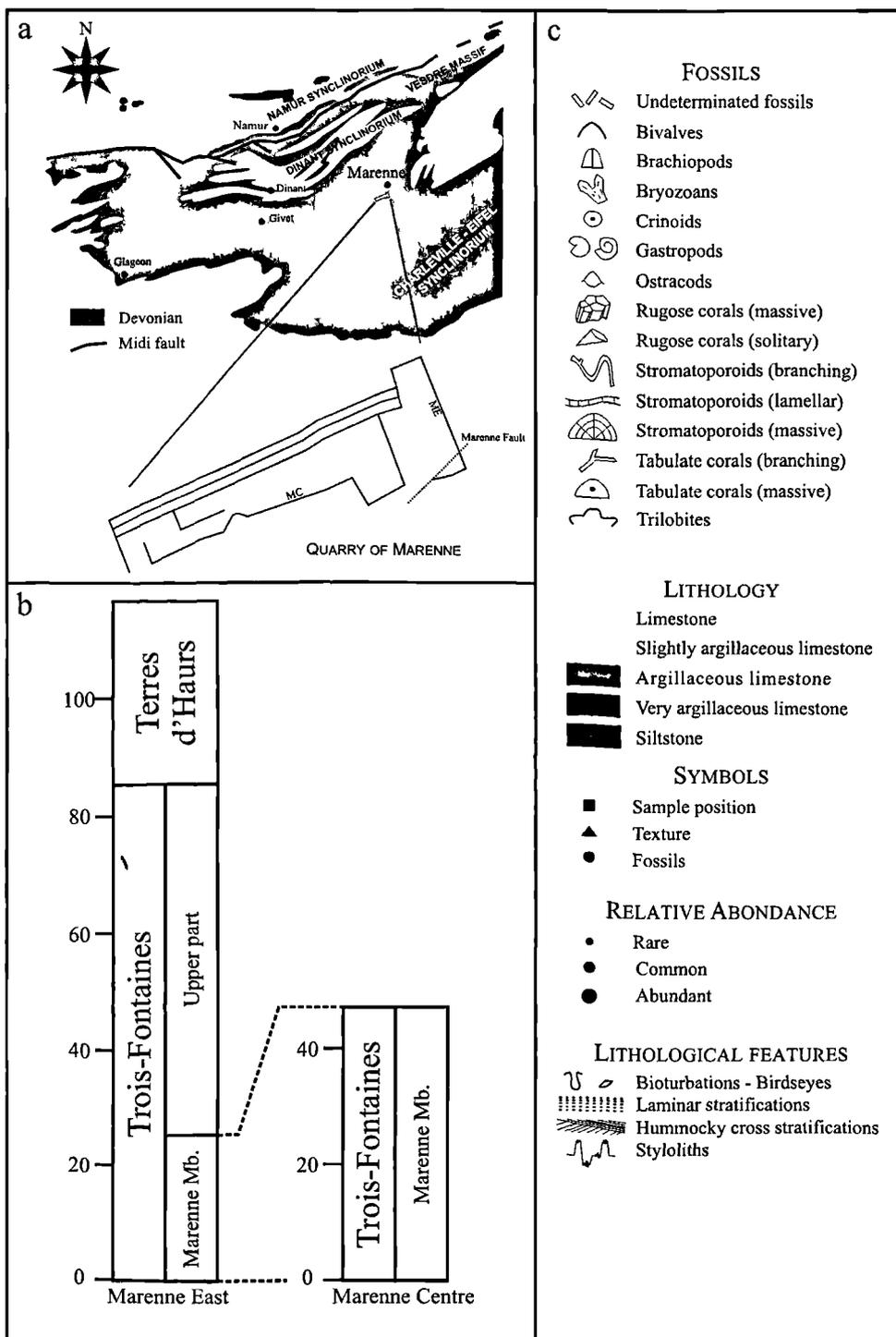


Fig. 2. (a) — Geological setting and location of the studied sections (Marenne East and Centre) at the southern border of the Dinant Synclinorium — (b) Schematic correlation of Marenne sections — (c) Legend of figures.

Fig. 2. (a) — Carte géologique schématique des terrains dévoniens du bord sud du Synclinorium de Dinant et localisation de la carrière de Marenne et des coupes (Est et Centre) — (b) Corrélation des deux coupes de la carrière de Marenne — (c) Légende.

argillaceous or argillaceous grey limestone with crinoids, brachiopods (forming sometimes coquina beds, i.e.

“stringocephalids beds”), trilobites, algae and rare reworked corals, interrupted by scarce argillaceous interbeds.

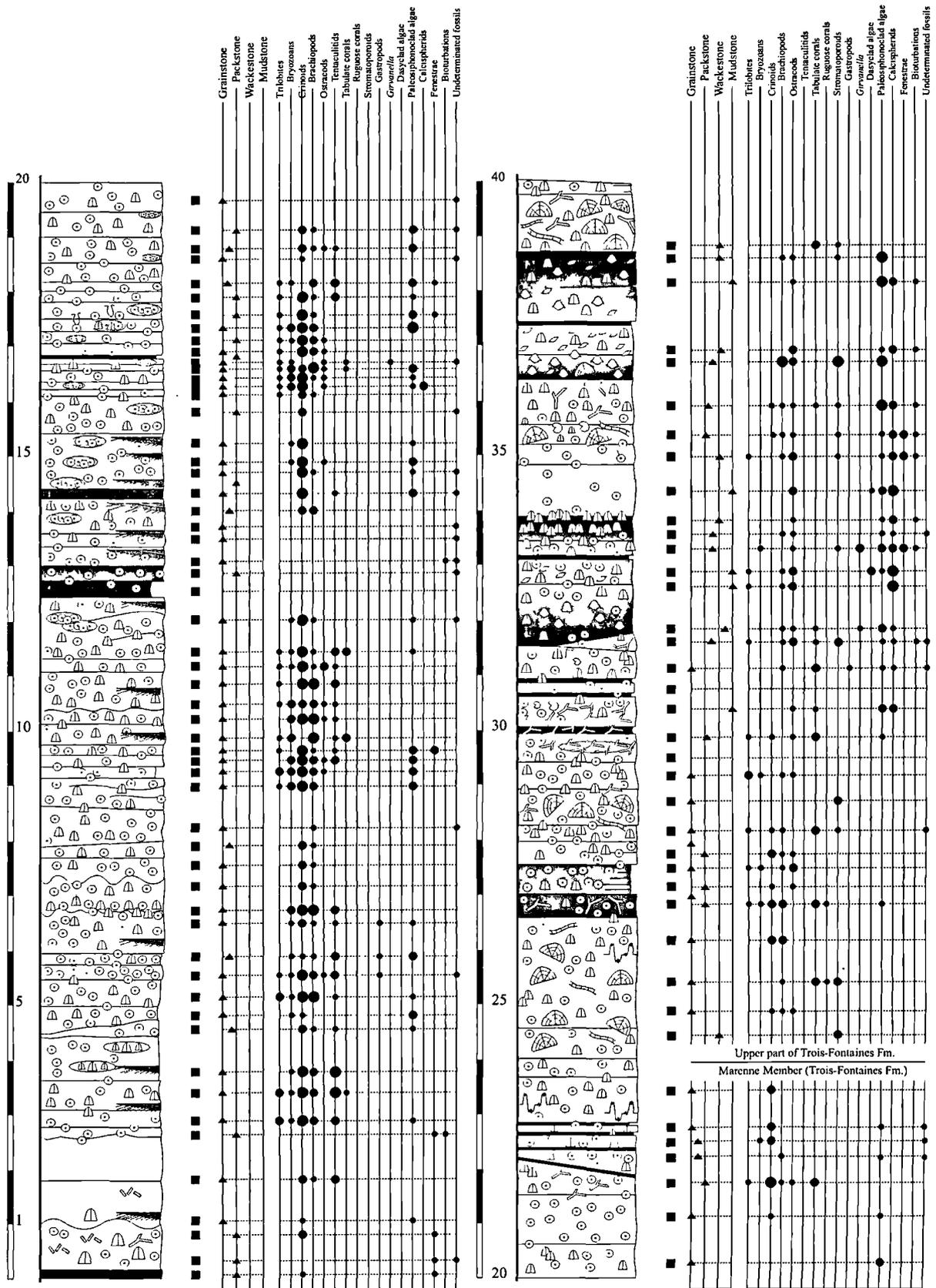


Fig. 3. — Detailed lithology of the succession (Marenne East): from 0 to 40 m (Trois-Fontaines Formation).

Fig. 3. — Lithologie détaillée de 0 à 40 m, coupe de Marenne Est (Formation des Trois-Fontaines).

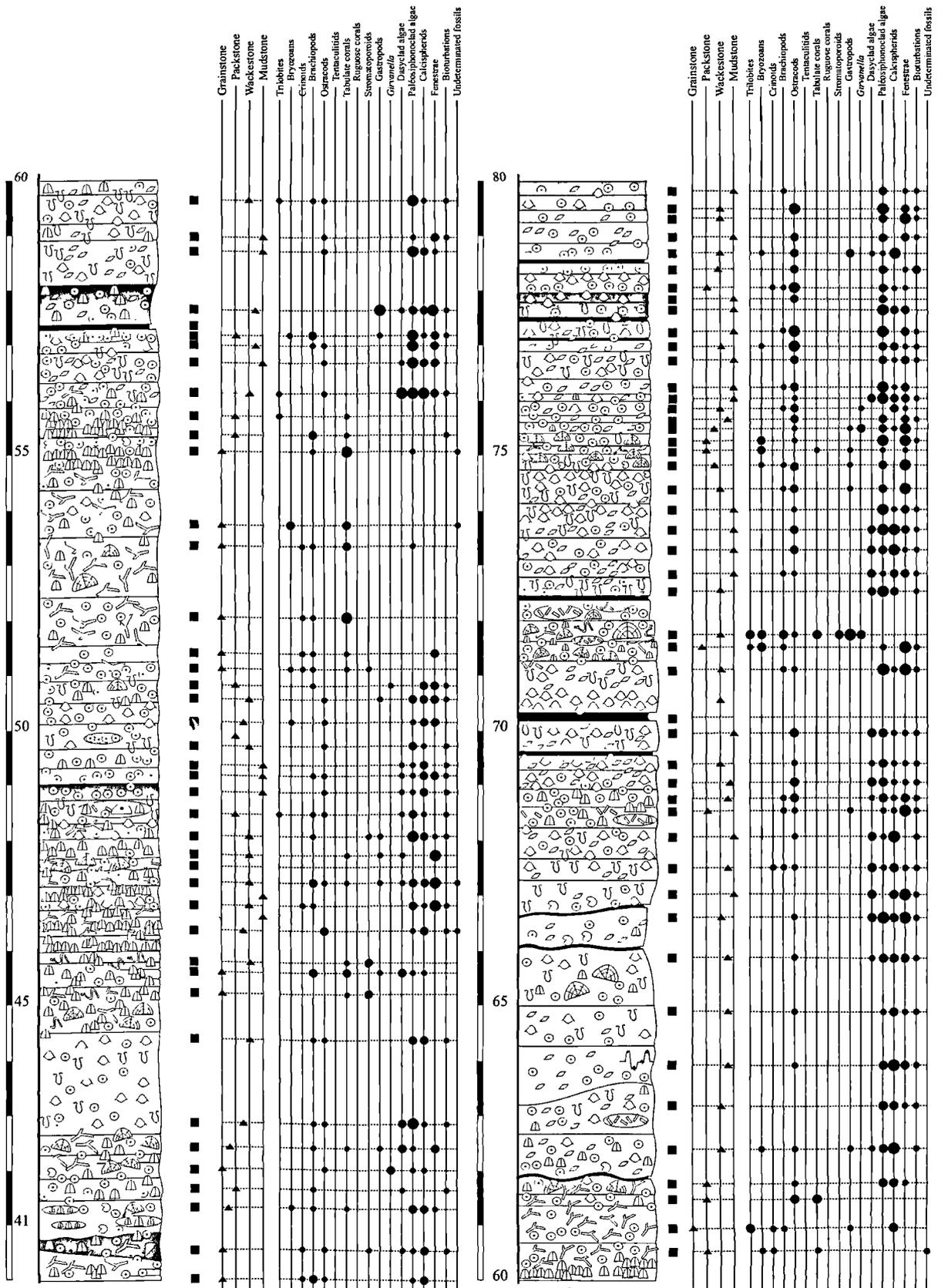


Fig. 4. — Detailed lithology of the succession (Marenne East): from 40 to 80 m (Trois-Fontaines & Terres d'Haus Formations).

Fig. 4. — Lithologie détaillée de 40 à 80 m, coupe de Marenne Est (Formations des Trois-Fontaines et des Terres d'Haus).

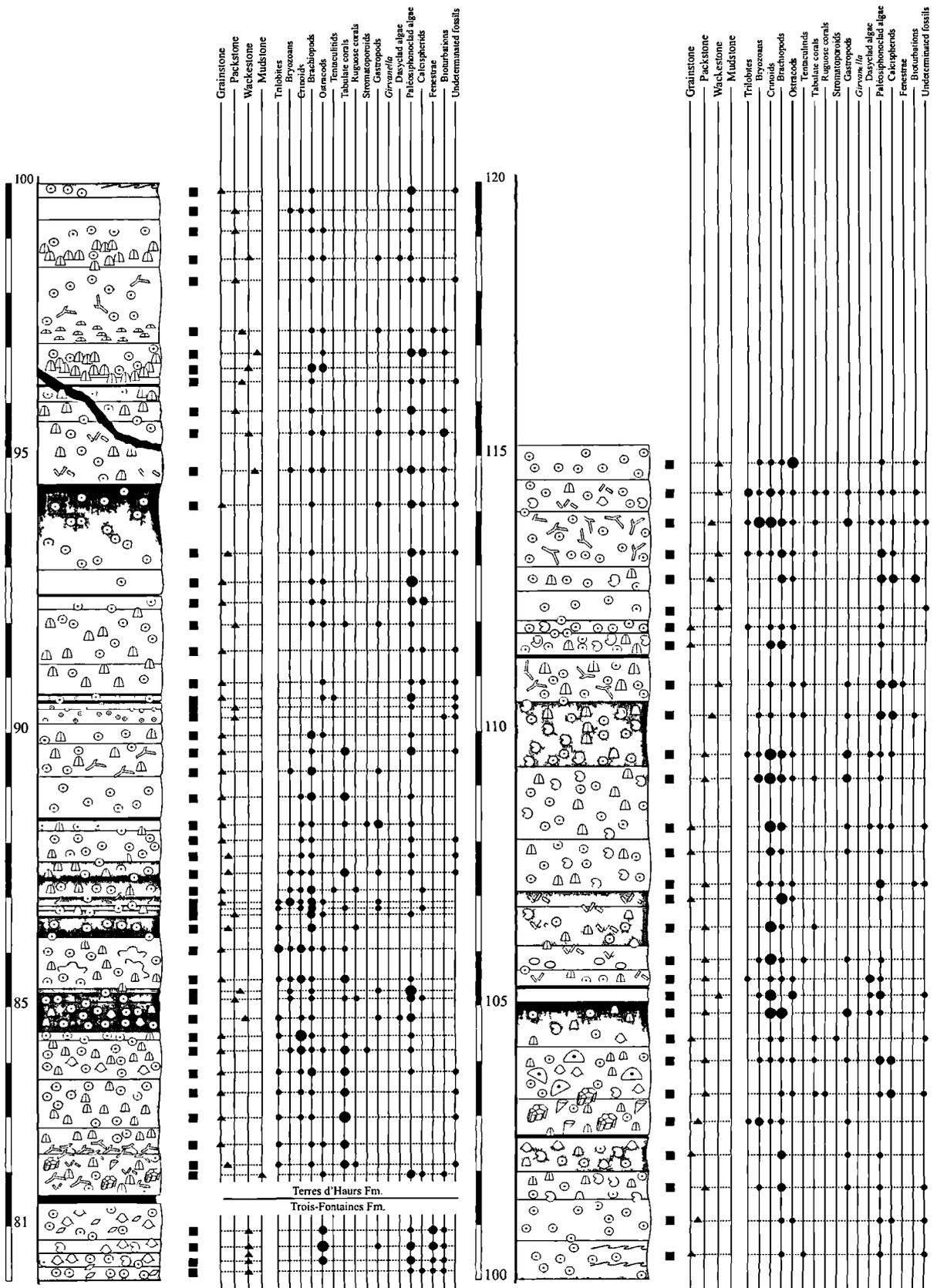


Fig. 5. — Detailed lithology of the succession (Marenne East): from 80 to 115 m (Terres d'Haus Formation).

Fig. 5. — Lithologie détaillée de 80 à 115 m, coupe de Marenne Est (Formation des Terres d'Haus).

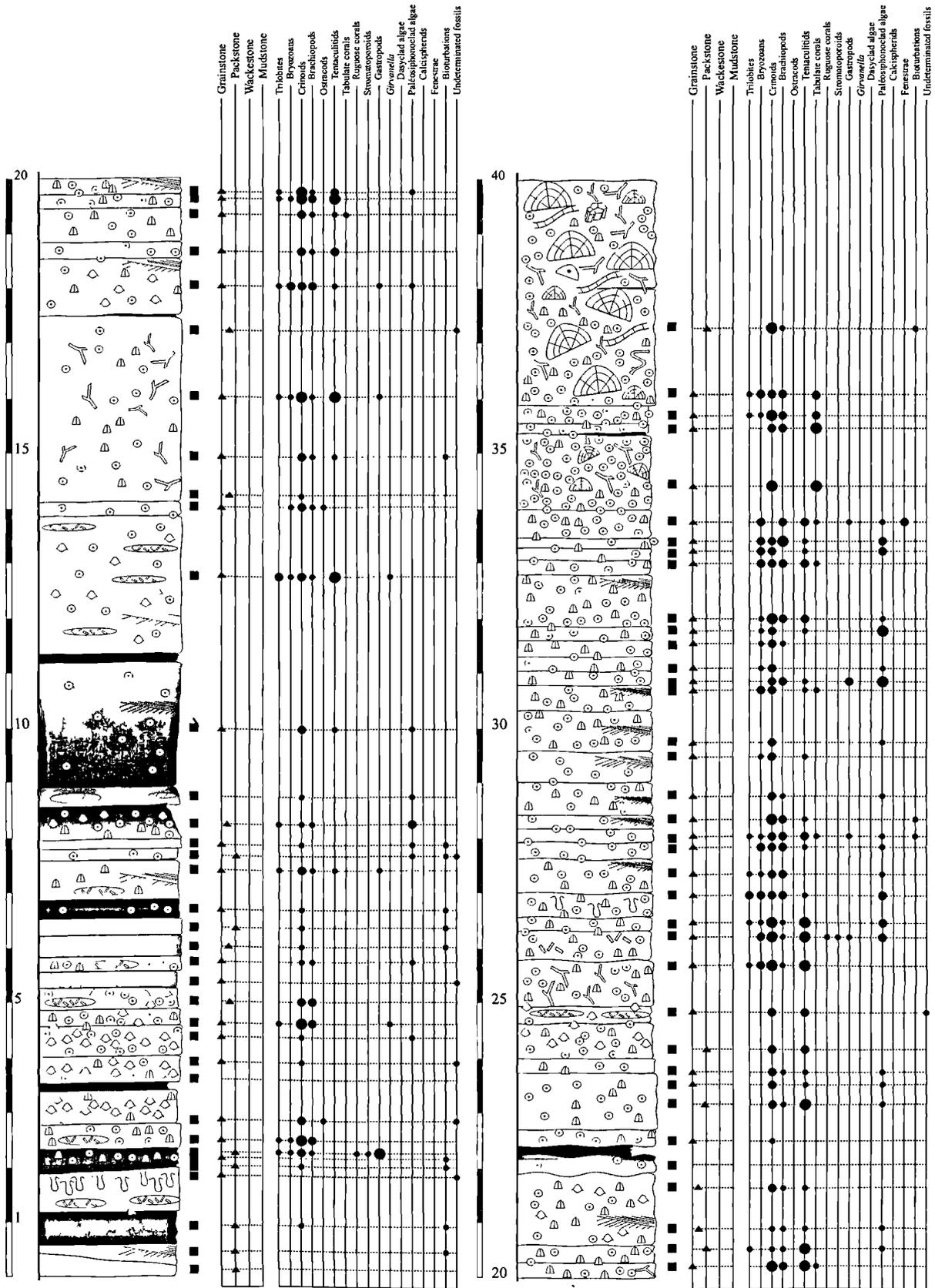


Fig. 6. — Detailed lithology of the succession (Marenne Centre): from 0 to 40 m (Marenne Member, Trois-Fontaines Formation).

Fig. 6. — Lithologie détaillée de 0 à 40 m (Membre de Marenne, Formation des Trois-Fontaines).

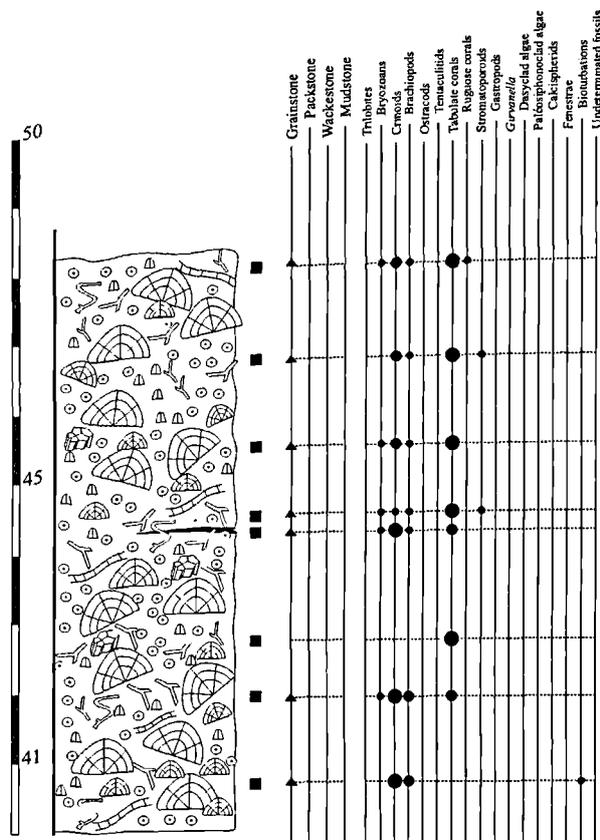


Fig. 7. — Detailed lithology of the succession: from 40 to 58 m (Marenne Member, Trois-Fontaines Formation).

Fig. 7. — Lithologie détaillée de 40 à 48 m (Membre de Marenne, Formation des Trois-Fontaines).

III. — CONCLUSIONS

This paper complete a detailed lithological description of two sections (Mont d'Haus Fortifications, Glageon quarry) located on the Southern border of the Dinant Synclinorium. These papers are part of a large database in progress for future research on the Givetian.

Acknowledgements. — The authors are especially grateful to the members of the "Laboratoire de Paléontologie stratigraphique FLST - ISA" and C. De Wilde (Université de Liège, Belgique) for help during field studies. C. Mabile benefited from a F.R.I.A. grant from Belgian Fond National de la Recherche Scientifique (F.N.R.S.). The authors are deeply grateful to A.-C. Da Silva (ULG, Liège, Belgium) for critical reading of the manuscript, and to D. Brice for kind encouragement to do this work.

BIBLIOGRAPHY

- BULTYNCK P. & DEJONGHE L., (2001). — Devonian lithostratigraphic units (Belgium). *Geologica Belgica*, 4 (1-2), 39-69.
- DUMOULIN V. & BLOCKMANS S., (2008). — Le passage lateral entre les Formations de Couvin et de Gemelle (Eifelien) au bord sud du synclinorium de Dinant (Belgique): Introduction du Membre du Vieux Moulin - Formation de Gemelle. *Geologica Belgica*, 11, 25-33.
- HUBERT B. L. M., (2008a). — Detailed lithology and faunal abundance of the historical Givetian section: the fortifications of the Mont d'Haus (Givet, France). *Annales de la Société Géologique du Nord*, 15 (2ème série), 45-57.
- HUBERT B. L. M., (2008b). — Glageon Quarry: lithostratigraphy and faunal distribution in the Givetian (Middle Devonian) of Avesnois, France. *Annales de la Société Géologique du Nord*, 15 (2ème série), 67-75.
- MABILLE C., DE WILDE C., HUBERT B. L. M., BOULVAIN F. & DA SILVA, A.C., (2008). — Detailed sedimentological study of a non-classical succession for Trois-Fontaines and Terres d'Haus Formations (Lower Givetian, Marenne, Belgium) - Introduction of the Marenne Member. *Geologica Belgica*, 11 (3/4), 217-238.
- PREAT A. & TOURNEUR F., (1991). — Formation de Trois-Fontaines. In P. Bultynck, M. Coen-Aubert, L. Dejonghe, J. Godefroid, L. Hance, D. Lacroix, A. Pr at, P. Stainier, Ph. Steemans, M. Streel & F. Tourneur (eds). Les formations du Dévonien moyen de la Belgique. *Mémoire pour servir à l'explication des Cartes Géologiques et Minières de la Belgique, Bruxelles*, 30, 49-52.
- PREAT A. & BULTYNCK P., (2006). — Givetian. In Dejonghe, L. (ed.), Current status of chronostratigraphic units named from Belgium and adjacent areas. *Geologica Belgica*, 9 (1-2), 9-18.

BRACHIOPODES PRODUCTIDINA DU BASHKIRIEN INFÉRIEUR (PENNSYLVANIEN) DU BASSIN HOILLER DU NORD DE LA FRANCE (COLLECTIONS G. WATERLOT ET J. CHALARD)

*Early Bashkirian (Pennsylvanian) productidine brachiopods from the northern France Coal Basin
(G. Waterlot and J. Chalard's collections)*

par Marie LEGRAND-BLAIN (*)

(Planches II et III)

Résumé. — Les Productidina du Bashkirien inférieur du bassin houiller du Nord de la France proviennent de deux niveaux-repères datés du Kinderscoutien (zone à goniatites R1), successivement : (a) banc à « *Productus* à test blanc » ; (b) banc à « *Productus corrugatus* ». Le premier niveau-repère livre dans la région de Valenciennes *Productus carbonarius* de Koninck, 1842 et *Bicarteria* sp. Dans la région de Douai, l'espèce *Bicarteria barroisi* (Waterlot, 1932) - dont le lectotype est ici désigné - semble contemporaine. Le second niveau-repère contient *Ovatia* sp. A (= *Productus corrugatus* in Chalard, 1960). Ces Productidina, adaptés à des substrats vaseux, ont été fossilisés post-mortem, non loin de leurs lieux de vie.

Abstract. — *Early Bashkirian Productidina, in northern France coal basins, occur in two key-beds, Kinderscoutian in age (R1 goniatite zone), successively : (a) « white Productus shells bed » ; (b) « P. corrugatus bed ». The first key-bed, in Valenciennes area, contains Productus carbonarius de Koninck, 1842 and Bicarteria sp. Westwards, in Douai area, Bicarteria barroisi (Waterlot, 1932) – whose lectotype is designated – is probably contemporaneous. The second key-bed contains Ovatia sp. A (= Productus corrugatus in Chalard, 1960). These Productidina, mud-living faunas, were fossilized post-mortem, near their living places.*

Mots clés. — Productidina, Carbonifère Kinderscoutien, Nord de la France.

Key words. — Productidina, Carboniferous, Kinderscoutian, northern France.

I. — INTRODUCTION

Cette étude des Productidina fait suite à celle des Spiriférides bashkiriens (Legrand-Blain, 2009) collectés lors de l'exploitation du sous-sol houiller du Nord de la France. Elle concerne : (a) des spécimens sélectionnés parmi les abondantes collections J. Chalard, du « Namurien » de la région de Valenciennes, à l'extrémité orientale de la partie française du bassin houiller (Chalard, 1960) ; (b) les Productidina décrits par M. Waterlot (1932), provenant des secteurs plus centraux du bassin, de Douai - Aniche à Carvin (fig. 1).

Quelques termes particuliers aux exploitations minières sont brièvement rappelés. - Bowette : galerie horizontale ; - Clayat : concrétions de sidérose, parfois autour de pyrite ; - Mur : paléosol de végétation.

Les Productidina sont abondants mais peu diversifiés en deux niveaux-repères, suivis dans l'« Assise de Flines » et bien datés, dans la région de Valenciennes, par goniatites de la zone R1 (fig. 2).

(1). - Le « banc à *Productus* à test blanc », épais de 1 à 3 mètres, situé entre des niveaux à *Vallites henkei* et *Phillipsoceras* gr. *nodosum*, est ainsi décrit dans le secteur de Vicoigne par J. Chalard (1960, p. 180) : « schiste calcareux compact, contenant de nombreux *P. carbonarius* conservés en ronde bosse, généralement avec leur test blanc. Présence de *P. semireticulatus* var. *hermosanus*, également à test blanc, *Reticuloceras* sp., faune diverse. Ce banc se trouve toujours... à peu de distance (2 m au maximum) au-dessus d'un banc de schiste fin, souvent bitumineux... à faune marine, lui-même situé à 4 m au toit d'une passée de 0,15 de charbon ». Les tests des Productidina sont parfois pyriteux (Chalard, 1960, p. 201) ; ce qui provoque éventuellement la disparition de la

(*) 216 Cours Général de Gaulle - F 33170 GRADIGNAN France. legrandblain@wanadoo.fr

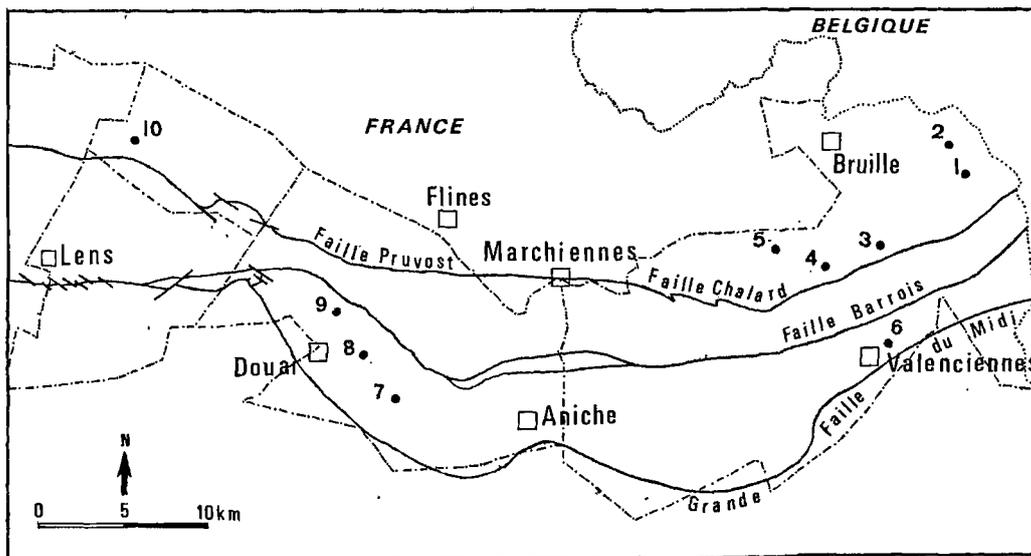


Fig. 1. — Localisation des gisements ayant livré les *Productidina* étudiés ici, sur les cartes structurales à la cote -300 : d'après Bouroz *et al.* (1963) et Becq-Giraudon (1983).

--- Coal production units, 1983.

- Fosses et sondages : (1) Ledoux ; (2) Sondage de la Douane S 191 ; (3) La Grange ; (4) Sabatier ; (5) Vicoigne ; (6) Marly - St Saulve ; (7) St René ; (8) Notre-Dame ; (9) L'Escarpelle ; (10) Carvin.

Fig. 1. — Geographic locations of the coalmines and boreholes yielding the *Productidina* cited in this paper, on structural maps established at 300 m below sea level : Bouroz *et al.* (1963) and Becq-Giraudon (1983).

--- Coal production units, 1983.

- Coalmines and boreholes : (1) Ledoux ; (2) la Douane borehole S 191 ; (3) La Grange ; (4) Sabatier ; (5) Vicoigne ; (6) Marly - St Saulve ; (7) St René ; (8) Notre-Dame ; (9) L'Escarpelle ; (10) Carvin.

couleur blanche. Ce banc livre : *Productus carbonarius* (de Koninck, 1843), « *P. hermosanus* Girty, 1903 » ici identifié *Bicarteria* sp., ainsi que divers Bivalves.

Dans la région de Douai - Aniche, l'espèce *Bicarteria barroisi* (Waterlot, 1932) est probablement contemporaine. Sa localité-type, Fosse Notre-Dame, est le « Calcaire IV » de Ch. Barrois (Barrois, 1912, p. 28, fig. 3) : « calcaire argilo-schisteux à veinules charbonneuses, à *Productus carbonarius*, *P. semireticulatus*, *Streptorhynchus crenistria* ». Les « *Pr. (Dictyoclostus) semi-reticulatus* var. *hermosanus* » décrits par Waterlot (1932, p. 150, Pl. 2, fig. 6,7), ici identifiés avec *B. barroisi*, proviennent de la fosse St René, « Calcaire gréseux C ». Ce banc marin, décrit par Barrois (1912, p. 59) repose sur une veine de charbon de 0m,30 ; il est directement surmonté par le « Calcaire B », schiste siliceux à clayats riche en céphalopodes et lamellibranches.

(2). - Le banc à « *P. corrugatus* », épais de 1 mètre environ, est daté du sommet du Kinderscoutien (Chalard, 1960, p. 273). Dans le secteur de Vicoigne, c'est un banc « calcareux à *P. corrugatus*, *Spirifer bisulcatus* [= *Prochoristites sabatieri* Legrand-Blain, 2009], *Derbyia hindi*, *Schizophoria hudsoni*, *Reticuloceras* sp., *Edmondia*, *Aviculopecten*, etc. Ce banc, situé à 190 m sous la passée de Laure, repose directement sur un mur à *Stigmara* » (Chalard, 1960, p. 180). Il contient de nombreux Linoproductides qui, comparés au spécimen-type de *Producta corrugata* M'Coy, 1844, s'avèrent être différents. L'espèce bashkirienne est ici identifiée en nomenclature ouverte « *Ovatia* sp. A ».

Dans la région de Douai, Fosse Notre-Dame : selon J. Chalard (1960, p. 239), le banc à « *P. corrugatus* » est identifié avec le « banc à *Productus cora* » signalé par M. Waterlot (1932, p. 159) : c'est le « Calcaire III » de Ch. Barrois (1912, p. 26 et fig. 3), « calcaire gris dolomitique à *Spirifer bisulcatus*... ».

Les brachiopodes de cette étude sont conservés au Musée d'Histoire Naturelle, Lille. Les collections Chalard ont été initialement numérotées par les Houillères, selon un ordre de systématique et gisements (Ex. : 58-1, 58-2... pour *P. carbonarius*). Une numérotation MGL a été ajoutée et enregistrée en Collections du Musée d'Histoire Naturelle de Lille.

II. — CRITERES DE CLASSIFICATION DES PRODUCTIDINA

Divers critères morphologiques, pouvant être utilisés pour la classification des *Productidina*, ont été privilégiés selon les auteurs : (1) le contour et l'ornementation de la coquille ; (2) l'importance de la cavité viscérale ; (3) la présence ou l'absence de diaphragmes internes et de chapes successives à la valve dorsale ; (4) la morphologie du processus cardinal et des crêtes brachiales ; (5) la présence ou l'absence au sommet de la valve ventrale, d'une surface finement pustuleuse (« shagreen ») dénotant un contact du manteau sur le test ; (6) la répartition et le développement des épines. Ce dernier

PENNSYLVANIE	BASKIRIEN	LANGSTETTIEN = WESTPHALIEN A	LAURE	B B B B	" <i>Lingula mytilloides</i> "
		YEADONIEN - G1	ASSISE DE FLINES	(G G G)	(# <i>Gastrioceras subcrenatum</i>)
		MARSDENIEN - R2		G G G	<i>Bilinguites metabilingue</i>
		KINDERSCOUTIEN - R1		B B B B	" <i>Productus corrugatus</i> "
				G G G	<i>Reticoloceras reticulatum</i>
				G G G	<i>Phillipsoceras</i> gr. <i>nodosum</i>
		ALPORTIEN - H2		B B B B	" <i>Productus à test blanc</i> "
				G G G	<i>Vallites henkei</i>
		CHOKIERIEN - H1		G G G	<i>Homoceratoides prereticulatus</i>
				G G G	<i>Hudsonoceras proteum</i>
Veines ST GEORGES et VOISIN					
MISSISSIPPIEN	SERPUKHOVIEN	ARNSBERGIEN - E2	ASSISE DE BRUILLE	G G G	<i>Homoceras beyrichianum</i>
		PENDLEIEN - E1		G G G	<i>Isohomoceras subglobosum</i>
				G G G	<i>Eumorphoceras bisulcatum</i>
		G G G		<i>Cravenoceratoides</i> gr. <i>edalensis</i>	
		PENDLEIEN - E1	G G G	<i>Eumorphoceras</i> sp.	
VISEEN TOURNAISIEN		CALCAIRE CARBONIFERE			

Fig. 2. — Stratigraphie des Assises de Bruille et de Flines dans le sous-sol houiller de la région de Valenciennes, où leur épaisseur totale est de 600 m. Bancs-repères : GGG à goniatites ; BBB à brachiopodes ; _____ veines de houille. Coupe stratigraphique in Bouroz *et al.* (1963) ; nomenclature générique et biozones des goniatites, mise à jour selon Menning *et al.* (2000).

Fig. 2. — Stratigraphy of « Assise de Bruille » and « Assise de Flines » in coal mines of Valenciennes area : total thickness = 600 m. Key-beds : GGG goniatite beds ; BBB brachiopod beds ; _____ coal seams. Stratigraphic chart by Bouroz *et al.* (1963) ; goniatite generic names and biostratigraphy updated after Menning *et al.* (2000).

critère est couramment utilisé par S. Lazarev (2000, 2003, 2006, 2007, 2008) qui lui attribue une signification importante dans la phylogénèse des Productidina. Ceci l'a conduit à modifier certaines catégories de classification établies dans les dernières révisions du *Treatise on Invertebrate Paleontology* (Brunton *et al.*, 2000, Brunton, 2007). L'étude des épines a l'avantage de pouvoir être entreprise sur des coquilles de conservation médiocre, dont les caractères internes sont difficilement observables ; mais leur développement est vraisemblablement lié aux facteurs paléoenvironnementaux (agitation des eaux, nature du substrat, etc.).

III. — 4 ETUDE SYSTEMATIQUE

Ordre PRODUCTIDA Sarytcheva & Sokolskaya, 1959
Sous-ordre PRODUCTIDINA Waagen, 1883

Famille PRODUCTIDAE Gray, 1840
Sous-famille PRODUCTINAE Gray, 1840

Tribu PRODUCTINI Gray, 1840

Genre *Productus* J. Sowerby, 1814 in 1812-1815

Espèce-type : *Anomites productus* Martin, 1809 ; Viséen, Derbyshire

Diagnose (Brunton, 2000, p. 467) : Medium size ; corpus deep, ventral trail long, spreading ; dorsal valve geniculated, dorsal diaphragm restricted to one third anteriorly ; dorsal cardinal ridges tend to diverge as lateral ridges, becoming subperipheral ridges, adductor scars slightly raised ».

Productus carbonarius de Koninck, 1843
(Pl. II, fig. 1-7)

- 1843 – *Productus carbonarius* d.K., de Koninck in 1842-1844, p. 181, Pl. 12 bis, fig. 1.
- 1847 – *Productus carbonarius*, de Koninck, p. 90, Pl. 10, fig. 4.
- 1861 – *Productus carbonarius* de Koninck. Davidson, p. 160, Pl. 34, fig. 6.
- 1928 – *Productus carbonarius* de Koninck, Muir-Wood, p. 56, Pl. 2, fig. 3-7, texte-fig. 13.

1932 – *Productus carbonarius* de Koninck, Waterlot, p. 154, 167 ; Pl. 2, fig. 1-3 ; Pl. 4, fig. 10.
1932 – *Productus (Eomarginifera) derbiensis* Muir-Wood, Waterlot, p. 157, Pl. 2, fig. 12-14.
1938 – *Productus (Productus) carbonarius* de Koninck, Demanet & Van Straelen, p. 122, Pl. 108, fig. 26-30.
1941 – *Productus (Productus) carbonarius* de Koninck, Demanet, p. 64, 219, Pl. 12, fig. 23-25.
1960 – *Productus carbonarius* de Koninck, 1842, Muir-Wood & Cooper, p. 240, Pl. 72, fig. 13, 14.
1963 – *Productus carbonarius* de Koninck, Böger & Fiebig, p. 124, Pl. 14, fig. 1-14, text-fig. 8-10.
1968 – *Productus carbonarius* de Koninck, 1842, Winkler Prins, p. 87, Pl. 3, fig. 7-11.
1979 – *Productus carbonarius* Koninck, 1842, Martinez Chacon, p. 171, Pl. 16, fig. 7-16.
2000 – *P. carbonarius* (de Koninck), Brunton *et al.*, p. 467, fig. 313, 1f.

Lectotype. Muir-Wood (1928, p. 58) a désigné comme lectotype le spécimen figuré par de Koninck, 1847, Pl. 10, fig. 4 : mieux illustré et localisé que celui de la description originale (de Koninck, 1843, Pl. 12 bis, fig. 1). Ce lectotype a été collecté en Belgique au sein des « Schistes alumineux de Chokier » : = Etage Chokierien, base du Bashkirien en Belgique (Dusar, 2006). En 1928, Muir-Wood considérait les deux spécimens figurés par de Koninck comme « apparently lost ». Ultérieurement, un catalogue des collections de Koninck conservées au Muséum d'Histoire Naturelle, Paris, (Gatinaud, 1946, p. 373) citait : « *Productus carbonarius* DE KONINCK 1843 - Figuré – DE KONINCK, p. 90, pl. X fig. 4. - Namurien. Chokier (Belgique). – Assez bon état de conservation ». A ce jour, dans la Typothèque Invertébrés du Laboratoire de Paléontologie du MNHN Paris, il existe un seul spécimen de *P. carbonarius* : « Syntype R06364 » ; accompagné d'une étiquette manuscrite signée de Koninck : « *Productus carbonarius* dK. Echantillon figuré. Carb. sup. rarissime. Rognons calcaires du schiste alumineux de Chokier. LdK ». Ce spécimen (fragment de valve ventrale) ne ressemble pas à la figuration de Koninck 1847, mais peut-être s'agit-il du premier spécimen illustré par de Koninck, 1843, Pl. 12 bis, fig. 1 ? Il est difficile d'en juger d'après le dessin original, peut-être idéalisé.

Matériel examiné. (1) 50 spécimens des collections Waterlot, (a) *P. carbonarius* : MGL 6042.1-6, Fosse Notre-Dame [MGL 6042.6, figuré in Waterlot (1932, Pl. 2 fig. 2 a-c)] ; MGL 6052, l'Escarpelle [figuré in Waterlot (1932, Pl. 4, fig. 10)]. (b) « *P. derbiensis* » : MGL 6044.1-33, MGL 6045.1-10, Fosse Marly- St Saulve [MGL 6044.8, 6045.2, 6045.3 figurés in Waterlot (1932, Pl. 2, fig. 12, 13, 14)] ; MGL 6185.1-7, Fosse Carvin n° 1 [6185.1, *P. carbonarius* figuré in Waterlot (1932, Pl. 2, fig. 1), et ici Pl. II, fig. 6].

(2) 42 spécimens des collections Chalard, niveau-repère « Banc à *Productus* à test blanc ». - 58-2, MGL 89713.1-2, valves ventrales et dorsales (Pl. II, fig. 2) : Fosse Ledoux, 418, Bowette St-Georges, 340 m ; - 58-3, MGL 79857, MGL 89714.1-5, valves ventrales et dorsales (Pl. II, fig. 3, 4, 5) : Fosse Vicoigne 3, 191, Bowette N., 1416 m ; - 58-4, MGL 89715.1-7, valves ventrales : Fosse Vicoigne, 276, Bowette N., 128 m ; 58-10, MGL 89720.1b, c, d, e, (Pl. II, fig. 1), 2, 3, valves ventrales et une dorsale : Fosse La Grange, 325, Bowette N., 1326 m ; - 59-1, MGL 89723.1-12, valves ventrales et dorsales (Pl. II, fig. 7) : Sondage de la Douane S 191, 44,30 m ; - 60-22, MGL 89768 1b, valve ventrale associée à *Bicartheria* : Fosse Ledoux, 418, 340 m ; - 60-31, MGL 89776.1b, 3b, c, un fragment de coquille ouverte avec ses deux valves, et 2 fragments de valves ventrales en moules externes, associés à *Bicartheria* : « Fosse Ledoux, bowette à 322 m, distance 1940 m ». Chalard (1960, pp. 69-74, Pl. 6) ne mentionne dans cette bowette aucun banc fossilifère à 1940 m, mais d'abondants *P. carbonarius* à 2177 m. De telles différences de localisations dans la même bowette s'expliqueraient par les mesures de distances effectuées par les géomètres à partir de certains niveaux-repères, et non de la fosse de départ (J. Chalard, communication orale, septembre 2009).

Diagnose. Petite coquille ne dépassant pas 29 mm de largeur et 22 mm de longueur ; valve ventrale : umbo très convexe, petites

oreillettes, chape courte ; côtes radiaires fines, épines assez abondantes ; valve dorsale géculée, présence d'un diaphragme à la limite disque viscéral - chape.

Description.

Petite coquille large de 16 à 29 mm (largeur maximum proche du bord cardinal), longue de 15 à 22 mm. Valve ventrale : umbo large et proéminent, petites oreillettes ; bord cardinal peu visible ; aplatissement ou sinus médian variable ; profil longitudinal fortement convexe postérieurement et courte chape assez plate à l'avant. Côtes radiaires très fines, 20 à 28 par cm de largeur, leur accroissement s'effectuant généralement par bifurcations. Rugae faibles à absentes. Bases d'épines parfois abondantes sur les oreillettes et fréquentes, dispersées, sur l'ensemble de la valve (Pl. II, fig. 1, 4) ; parfois plus rares.

Valve dorsale : à peine concave sur l'essentiel de sa longueur, puis brusquement géculée à proximité du bord antérieur. Côtes radiaires similaires à celles de la valve ventrale ; rugae nettes sur tout le disque viscéral.

Cavité viscérale non conservée, les rares spécimens présentant leurs deux valves en connection étant soit fortement comprimés (MGL 89713.1, Pl. II fig. 2), soit coquille ouverte (MGL 89776.1b). Intérieur ventral – très mal connu pour le genre *Productus* – observé sur des coquilles décortiquées (MGL 89714.1 : Pl. II, fig. 3 ; MGL 89715.1b, 2, 5) : empreintes flabelliformes de larges diducteurs à cannelures radiaires, adducteurs étroits. Intérieur dorsal : processus cardinal, empreintes musculaires et brachiales non conservés ; diaphragme bien développé (Pl. II, fig. 2, 5, 6). Chapes dorsales non observées à l'exception de leur amorce sur un diaphragme (Pl. II, fig. 5).

Discussion.

Les spécimens examinés ont une costulation parfois plus fine que les types, pour lesquels de Koninck (1847, p. 91) indique 20 à 22 côtes sur 10 mm à 10 mm du crochet ventral. Les « *P. (Eomarginifera) derbiensis* » décrits par Waterlot (1932, p. 157, pl. 2, fig. 12-14) ont été cités par Winkler Prins (1968, p. 87) en synonymie de *P. carbonarius*. Leur valve dorsale pourvue d'un diaphragme (Waterlot, 1932, Pl. 2, fig. 12) et l'absence d'épines halteroides à la valve ventrale justifient cette attribution.

P. carbonarius semble largement répandu en Europe occidentale, du Viséen terminal au Moscovien.

Sous-famille YAKOVLENIINAE Waterhouse, 1975, sensu Lazarev, 2000

Tribu RIGRANTIINI Lazarev, 2000

Genre *Bicartheria* Lazarev, 2000

Espèce-type : *Productus semireticulatus* var. *hermosanus* Girty, 1903 ; Colorado et « Mid-Continent » nord-américain ; Pennsylvanien, Desmoinesien (= Moscovien supérieur).

Diagnose (Brunton, 2007, p. 2650) : « Spines at hinge thinner than larger (youngest) spines in rows at flanks; reticulate ornament commonly irregular and may not reach margin of venter; cardinal ridge weak, may diverge from hinge slightly ».

Espèces attribuées au genre : outre l'espèce-type, plusieurs espèces du Pennsylvanien nord-américain, autrefois attribuées au genre *Antiquatonia* Miloradovich, 1945, ont été assignées à *Bicartheria* par Lazarev (2000) ; ce sont dans l'ordre stratigraphique : *B. pernodosa* (Easton, 1962) qui pourrait apparaître au Mississippien terminal ; *B. blackwelderi* (Gordon, 1975) et *B. coloradoensis* (Girty, 1910) au Morrowan (= Bashkirien) ; *B. portlockiana* (Dunbar & Condra, 1932) au Desmoinesien. Le genre est signalé dans le Bashkirien d'Espagne (Martinez Chacon & Winkler Prins, 2009) et du Sahara algérien (Atif & Legrand-Blain, 2006).

Bicartheria barroisi (Waterlot, 1932)
(Pl. III, fig. 1-5, 7)

1932 – *Productus* (*Dictyoclostus*) *semi-reticulatus* var. *Barroisi* nov. var., Waterlot, p. 152, Pl. 2, fig. 8 a-b, 9.

1932 – *Productus* (*Dictyoclostus*) *semi-reticulatus* var. *hermosanus* Girty. Waterlot, p. 150, Pl. 2, fig. 6, 7.

Lectotype. Les deux spécimens figurés par Waterlot (1932, Pl. 2, fig. 8, 9) sont des valves dorsales ; ils ne présentent aucun des caractères d'ornementation et répartition des épines à la valve ventrale, permettant une attribution générique. Les collections Waterlot conservées au Musée d'Histoire naturelle de Lille contiennent une série de spécimens récoltés dans le gisement de référence. J'ai pu sélectionner un autre spécimen, proposé comme lectotype : MGL 6049.5, ici figuré Pl. III, fig. 1 a-c. C'est une valve ventrale présentant les caractères cités par Waterlot pour établir la variété *Barroisi* (forme très globuleuse, densité des côtes radiaires), ainsi que les fortes bases d'épines alignées sur les flancs, caractéristiques du genre *Bicartheria*.

Localité type : Fosse Notre-Dame (Aniche), bowette N à l'étage 441, banc « calcaire IV » de Ch. Barrois (Barrois, 1912, p. 28 et fig. 4). Le « Calcaire III » sus-jacent étant corrélé par Chalard avec le Banc-répère à « *P. corrugatus* », les gisements à *B. barroisi* pourraient être contemporains du niveau « *Productus* à test blanc ».

Matériel examiné. (1) 15 topotypes, récoltés dans la localité-type de *B. barroisi* : MGL 6049.1-5 (6049.1 figuré in Waterlot, 1932, Pl. 2, fig. 8 a-b) ; MGL 6050.1-10, sauf 6050.2 (6050.4 figuré in Waterlot, 1932, Pl. 2, fig. 9 et ici Pl. III, fig. 2). Coquilles souvent incomplètes et déformées, dont plusieurs moules internes présentent les structures des valves dorsales et ventrales en connection (MGL 6050.6 ici figuré Pl. III, fig. 3 a-b).

(2) 10 spécimens décrits par Waterlot (1932) comme *Productus* (*Dictyoclostus*) *semi-reticulatus* var. *hermosanus* Girty : MGL 6048.1-10 (MGL 6048.8 figuré par Waterlot 1932, Pl. 2, fig. 6 et ici, Pl. III, fig. 7) ; fosse St René, « banc calcaire C » de Ch. Barrois.

(3) ? 1 spécimen (valve ventrale immature) des collections Chalard, 64-15, MGL 79780 : fosse Ledoux, 322, distance « 1940 m », probablement « niveau-répère *Productus* à test blanc ».

Diagnose. *Bicartheria* de taille moyenne (35 à 45 mm), minces côtes radiaires (18 à 20 par cm). Fortes épines alignées sur chaque flanc, bordant des oreillettes enroulées vers l'arrière. Sur la chape ventrale, fines bases d'épines à l'avant desquelles le test forme de légers plis longitudinaux.

Description.

Coquille large de 40-45 mm (largeur maximum à la ligne cardinale), longue de 35-40 mm en ligne droite, et 70 mm selon la courbure ventrale (lectotype).

Valve ventrale : umbo large et proéminent, petites oreillettes bien individualisées, sinus médian faible à absent ; courbure longitudinale forte et régulière, ne s'atténuant que légèrement vers l'avant. Ornementation de fines côtes radiaires : 18-20 par cm de largeur à 2 cm du sommet ventral ; rugae de faible relief sur les umbos ; épines cardinales très minces (MGL 6048.1 et 8, Pl. III, fig. 5) ; sur chaque flanc, près de la limite umbo – oreillettes, une crête basse porte 4 à 6 épines dont la taille augmente vers l'avant, atteignant 1 mm de diamètre (lectotype) et 9 mm de longueur (MGL 6049.4, Pl. III fig. 4) ; sur la chape, quelques bases de petites épines (diamètre 0,3 mm), à l'avant desquelles le test forme de légers plis longitudinaux. Valve dorsale géniculée, chape ornée de côtes radiaires identiques à celles de la valve ventrale (Waterlot, 1932, Pl. 2, fig. 8b). Cavité viscérale importante, mais généralement déformée par compaction. Les deux valves sont très minces, sauf aux oreillettes et aux extrémités umbonales des deux valves. A l'intérieur de la valve ventrale (MGL 6050.6, Pl. III, fig. 3b), empreintes des muscles diducteurs et adducteurs bien individualisés. La surface interne pustuleuse (« shagreen »), couvrant toute la chape à l'avant des empreintes musculaires, semble absente de la région umbonale. Intérieur dorsal : petit processus cardinal trilobé (MGL 6050.4, Pl. III, fig. 2) ; crêtes cardinales contigües à la charnière ; septum médian, adducteurs postérieurs et antérieurs bien individualisés (MGL 6050.6, Pl. III, fig. 3a) ; empreintes brachiales ovoïdes allongées (MGL 6049.4, Pl. III, fig. 4).

Discussion.

G. Waterlot (1932, p. 153) distinguait la variété *barroisi* des formes qu'il décrivait comme *P. semi-reticulatus* var. *hermosanus*, notamment par un crochet moins saillant et des côtes un peu plus fines. Ces légères différences relèvent de la variabilité intra-spécifique, et j'inclus l'ensemble des matériaux décrits par cet auteur dans la même espèce. Les *Bicartheria hermosana* types, Moscovien (Desmoinesien) du Colorado et du Nouveau Mexique, ont des dimensions légèrement supérieures à celles de *B. barroisi* (largeur 38 - 48 mm, longueur 40 - 47 mm selon Sutherland & Harlow 1973, annexe 3), un contour un peu plus allongé, et surtout des côtes beaucoup moins fines, celles de *B. hermosana* étant au nombre de 8 – 16 par cm à 2 cm du sommet ventral (Henry, 1998, fig. 5). Les « *P. hermosanus* » du « Namuro-Westphalien » de Belgique et de Hollande (de Dorlodot & Delépine, 1931, Pl. 7, fig. 21 ; Demanet, 1941, Pl. 13, , fig. 1 ; Dorsman, 1945, Pl. 3 fig. 6-11) semblent dépourvus de crêtes épineuses sur les flancs. Si c'est le cas, ils n'appartiennent pas au genre *Bicartheria*. Les autres espèces de *Bicartheria* sont toutes de taille supérieure à *B. barroisi*, et leur costulation moins fine.

Waterlot (1932, p. 154) notait l'existence de *P. hermosanus* var. *barroisi* dès le Viséen, dans une fosse de « La Clarence » : 25 km à l'W-NW de Lens, hors de la carte de la fig. 1. N'ayant pas examiné ces matériaux, je ne puis en juger.

Bicartheria sp.
(Pl. III, fig. 6, 8, 9)

Matériel examiné. 8 spécimens (essentiellement valves ventrales, une seule valve dorsale incomplète et déformée, MGL 89776.3) des collections Chalard, cités comme « *P. semireticulatus* var.

hermosanus », associés aux *P. carbonarius* dans le « banc à *Productus* à test blanc. 60-25, MGL 79858 (Pl. III, fig. 6) : Fosse La Grange, bowette Nord à l'étage 325, distance 1326 m de Clémentine (Chalard, 1960, p. 130, Pl. XV-XVI) ; 60-22, MGL 89768.1,2 : fosse Ledoux, bowette à 418, distance 340 m (Chalard, 1960, p. 71, Pl. V) ; 60-31, MGL 79860 (Pl. III, fig. 8, 9), MGL 89776.1-3 : spécimens les mieux conservés, dont la localisation est problématique. Selon les fichiers des Houillères, il s'agit de « Fosse Ledoux, bowette à 322 m, distance 1940 m ». Chalard (1960, pp. 69-74, Pl. VI) ne mentionne aucun banc fossilifère à 1940 m, mais « *P. semireticulatus hermosanus* » à 2177 m. De telles différences de localisations dans la même bowette s'expliqueraient par les mesures de distances effectuées par les géomètres à partir de certains niveaux-repères, et non de la fosse de départ (J. Chalard, communication orale, septembre 2009). Position stratigraphique des « *P. hermosanus* » cités par J. Chalard dans le « Namurien » houiller du Nord de la France : niveau-repère « *Productus* à test blanc » : Kinderscoutien.

Description.

Coquille de contour transverse, large de 45 à 60 mm (largeur maximum au bord cardinal), longue de 30 à 42 mm ; umbo très large, sinus médian faible à absent ; oreillettes bien individualisées, enroulées vers l'arrière ; profil longitudinal de la valve ventrale régulièrement convexe, terminé à l'extrémité antérieure par une courte résupination (MGL 79860.1, Pl. III, fig. 9b). Côtes radiaires : à 2 cm du sommet, on en compte 14 à 16 par cm. Rugae très atténuées à l'arrière de la valve. Epines cardinales : 5 ou davantage de chaque côté du crochet, minces (diamètre inférieur à 1 mm), longues de 5 mm environ (MGL 79858, Pl. III, fig. 6). Les oreillettes ne portent pas d'autres épines. A la limite entre la chape et les oreillettes, une rangée de 5 à 8 épines - dont on ne voit généralement que les bases, de plus en plus larges vers l'avant - atteignant parfois 1,5 mm de diamètre (MGL 79860, Pl. III, fig. 9a) et 20 mm de longueur (MGL 89776.1, 2). A l'avant de la chape, bases d'épines dispersées, de moindre diamètre (0,5 mm). Valve dorsale géniculée, sa chape ornée de côtes radiaires identiques à celles de la valve ventrale. Caractères internes des deux valves non observés.

Discussion.

La répartition des épines suggère pour les spécimens ici décrits une appartenance au genre *Bicartheria*. Ils diffèrent de *B. barroisi* par une plus grande taille, un contour plus transverse et une ornementation radiaire légèrement plus grossière. *Bicartheria blackwelderi* (Gordon 1975), espèce décrite du Morrowan (Bashkirien) du Wyoming, a des dimensions comparables mais des côtes radiaires plus larges. En l'absence de valves dorsales et de caractères internes, l'espèce ici décrite reste en nomenclature ouverte.

Super-famille LINOPRODUCTOIDEA Stehli, 1954
Famille LINOPRODUCTIDAE Stehli, 1954
Sous-famille LINISPININAE Lazarev, 2006

Discussion.

Selon les critères utilisés par Brunton *et al.* (2000, p. 526), les Linoproductidae ont une cavité viscérale profonde, des chapes distinctes. Le genre *Ovatia*, dépourvu de chapes multiples à la valve dorsale, n'est alors pas un Linoproductidae - contrairement à la classification antérieure (Muir-Wood, 1965, p. H 503). Une autre définition des

Linoproductidae privilégie la disposition des épines sur la valve ventrale, ainsi que les caractères internes de la valve dorsale (Lazarev, 2003, 2006, 2008). D'après cette classification, *Ovatia* se range parmi les Linoproductidae, sous-famille Linispininae : « ears of the ventral valve bear three or more rows of spines or sometimes cluster of spines with poorly discernible rows » (Lazarev, 2006, p. 523). C'est cette classification qui est adoptée ici.

Genre *Ovatia* Muir-Wood & Cooper, 1960

Espèce-type : *Ovatia elongata* Muir-Wood & Cooper, 1960 ; Oklahoma, Chesterien (= Brigantien - Serpukhovien).

Diagnose (Brunton *et al.*, 2000, H 503) : « Medium-sized to large, narrow body cavity, long trail ; brachial valve with no repetition of trails or diaphragms ; costellate, few rugae on flanks, spines rare, scattered, 1 or 2 rows near hinge, group on ears, absent or rare on brachial valve ; cardinal process trilobate, minute median lobe ; adductors part dendritic ; lateral ridges short, slightly diverging from hinge ».

Répartition : cosmopolite ; du Dévonien terminal au Pennsylvanien basal (Carter, 1990, fig. 2)

Ovatia sp. A
(Pl. II, fig. 8 – 11)

1932 – *Productus* (*Linoproductus*) *cora* d'Orbigny : Waterlot, p. 158, Pl. 2, fig. 15.

Matériel examiné, du niveau-repère « Banc à *P. corrugatus* » reconnu dans les régions de Valenciennes et Douai, Kinderscoutien supérieur (Chalard, 1960, p. 266, 273 et fig. 29). (1). - 4 spécimens des collections Waterlot, MGL 6043.1-4, notamment le spécimen figuré en 1932, et ici, Pl. II, fig. 11 a-b : Fosse Notre-Dame, 441, banc calcaire III de Ch. Barrois (1912). (2). - 7 spécimens des collections Chalard – 61-4, MGL 89781.1-3, valves ventrales et fragments de tests avec épines (Pl. II, fig. 9, 10) : Fosse Lagrange, 170, Bowette Nord, 603 m ; - 62-1, MGL 89788.8 et 23, MGL 79855.1, 2, valves ventrales et dorsales (Pl. II, fig. 8) : Fosse Sabatier, 312, Bowette Nord, 2365 m.

Description.

Coquille de contour ovoïde, large de 30 à 36 mm, longue de 36 mm ou davantage ; longueur mesurée selon la courbure ventrale = 62 mm environ. Largeur maximum située un peu à l'avant du bord cardinal. Valve ventrale : umbo large et proéminent, petites oreillettes ; région médiane plane à légèrement déprimée. Profil longitudinal régulièrement courbé, sauf à l'extrémité antérieure, légèrement résupinée sur quelques spécimens (MGL 79855.1, 2). Côtes radiaires : à 20 cm du sommet, sur 1 cm de largeur du test, on en compte 18 (MGL 6043.3) à 22 (MGL 89781.2). Rugae irrégulières sur les oreillettes et les flancs. Epines : au bord cardinal, deux rangées de bases d'épines et amorce d'une troisième rangée (Pl. II, fig. 11) ; ces épines ont un diamètre maximum de 0,5 mm, une longueur pouvant dépasser 15 mm (MGL 89781.1, Pl. II, fig. 10). Sur la chape et les flancs, fines bases d'épines (diamètre 0,3 mm environ) irrégulièrement dispersées, modifiant le trajet des côtes radiaires (Pl. II, fig. 9b, 11b).

Valve dorsale : profil longitudinal à peine concave à l'arrière, un peu plus à l'avant, au-delà de 2 cm de longueur.

Fines côtes radiaires, rugae développées sur toute la surface de la valve, pouvant presque former de courtes lamelles externes (MGL 89788, Pl. II fig. 8).

Les deux valves sont très minces, et leurs caractères internes presque inconnus. Tout au plus peut-on observer, à la valve dorsale, de minces crêtes cardinales longeant la charnière, l'amorce du septum médian et du processus cardinal (MGL 79857, Pl. II, fig. 5).

Discussion.

Les spécimens ici décrits appartiennent par la disposition de leurs épines à la famille des Linoproductidae *sensu* Lazarev, sous-famille Linispininae. Ils ne peuvent être attribués ni au genre *Linispinella* Lazarev 2003 (épines en amas sur les oreillettes) ni à *Linispinus* Lazarev 2003 (fortes bases d'épines sur la chape). L'ornementation de rugae tendant à être lamelleuses à la valve dorsale dénoterait pour cette forme du genre *Ovatia* un stade tardif, annonçant les *Linoproductus*, à lamelles proéminentes, connus au Pennsylvanien supérieur et Permien. Cependant, *Linoproductus* est pourvu sur la chape ventrale de fortes épines, contrairement aux fines bases d'épines observées ici. En l'absence de caractères internes, il n'est pas possible de proposer un nom spécifique pour la forme ici décrite.

Le type de *Producta corrugata* M'Coy 1844, conservé au National Museum of Ireland, Dublin, est ici figuré (Pl. II, fig. 12), grâce à l'obligeance de B. Mottequin. La grande taille, le contour globuleux, les très fines côtes radiaires de l'espèce du « Dinantien » d'Irlande sont bien différents de ceux des Linoproductidae décrits dans ce travail. En décrivant *P. corrugata*, M'Coy (1844, p. 107) observait : « in general proportion this exactly resembles the *Producta hemisphaerica*... ». *Productus hemisphaericus* J. Sowerby 1822 in 1821-1822 a été choisi par Ferguson (1971) comme espèce-type de son nouveau genre *Linoprotonia*; en fondant ce dernier, Ferguson (1971) notait que l'espèce de M'Coy semble s'y rattacher.

Le « *P. cora* » du « Namurien » du Nord de la France (Waterlot, 1932, Pl. 2 fig. 15) a été cité en synonymie de *Linoproductus continentalis* (Tornquist, 1895) par C.F. Winkler Prins (1968, p. 108). Dans les travaux ultérieurs sur le Bashkirien des Monts Cantabriques, Espagne, l'espèce est citée *Balakhonia continentalis*, puis *Balakhonia? continentalis* (Winkler Prins, 1971, Table A; Martinez Chacon & Winkler Prins, 2009, p. 95). Les spécimens ici étudiés ne peuvent appartenir au genre *Balakhonia* Sarytcheva 1963 (in Sarytcheva *et al.*, 1963), qui comprend des formes de grande taille pourvues d'une seule rangée de fortes épines au bord cardinal (Sarytcheva, 1970, fig. 23).

Des « *Linoproductus cf. cora* » ont été décrits dans le « Westphalien supérieur » de Belgique, des Pays-Bas et d'Allemagne, horizon marin de Petit-Buisson – Ägir (Demanet, 1943; Dorsman, 1945; Böger & Fiebig, 1963). Ces formes de petite taille, à côtes très fines, 2 rangées d'épines au bord cardinal (Demanet 1943) semblent assez proches de la forme bashkiriennne ici décrite. Généralement les Linoproductidae du Pennsylvanien (bassins houillers) d'Europe occidentale sont médiocrement conservés, et leurs caractères internes presque inconnus.

IV. — TAPHONOMIE, DIAGENESE

(a) Banc-repère « *Productus* à test blanc ». Les coquilles de Productides y sont déposées en tous sens, valves ventrales et dorsales isolées (Pl. II, fig. 4, 7; Pl. III, fig. 8). Les valves ventrales sont les plus abondantes, souvent déformées par compaction : soit sommet replié vers l'avant, soit limite disque viscéral – chape anguleuse. La gangue d'argile noire compacte, peu ou pas litée, est parfois riche en micro-cristaux de pyrite. Les tests blancs sont alors fragiles, partiellement gypsifiés (Pl. II, fig. 4, 5) ou absents, les fossiles subsistant à l'état d'empreintes (Pl. II, fig. 2, 7). Cette diagenèse résulte de l'oxydation de la pyrite (circulations d'eaux météoriques, actions de bactéries?), produisant de l'acide sulfurique, et transformant la calcite en gypse. L'enrichissement en pyrite doit avoir été précoce, en milieu anoxique. L'oxydation pourrait avoir été plus récente.

(b) Banc-repère « à *P. corrugatus* ». Il a été analysé précédemment (Legrand-Blain 2009, p. 31, Pl. 4, fig. 14, 15). Les *Prochoristites* à tests recristallisés en calcite sparitique suggèrent une diagenèse précoce en milieu subaérien.

V. — PALEOENVIRONNEMENTS ET PALEOBIOGEOGRAPHIE DES PRODUCTIDES

Le mode de fossilisation des Productidina dans le secteur de Valenciennes : coquilles désarticulées, déposées en tous sens, indique qu'elles ont été déplacées de leur position de vie. La conservation des épines chez certains spécimens (Pl. III, fig. 4, 6, 9b) suggère un transport sur une faible distance, et fournit quelques hypothèses quant à leur mode de vie. Les *Bicartheria* et *Ovatia* décrits dans ce travail ont des épines relativement longues et peu abondantes, exclusivement sur les valves ventrales. (« *Marginifera*-type » in Leighton, 2000). Ces brachiopodes vivaient avec leur valve ventrale partiellement enfouie dans un substrat probablement meuble. Les épines les plus fines, enfoncées dans la vase, auraient contribué à l'ancrage de la coquille; alors que les plus fortes, disposées à la surface du sédiment, auraient servi à la stabilisation (Muir-Wood & Cooper, 1960, p. 43-46).

Les *Bicartheria barroisi* des secteurs centraux du bassin houiller (Douai - Aniche) ont un mode de fossilisation un peu différent : valves ventrales et dorsales souvent assemblées, indiquant des coquilles plus robustes, peut-être fossilisées en position de vie. Si l'espèce *B. barroisi* est contemporaine des *Bicartheria* sp. des secteurs orientaux, on peut envisager une différenciation des faciès, d'Est en Ouest. L'« axe anticlinal de Marchiennes », de direction NE – SW, (Bouroz *et al.*, 1961, pp. 201, 208-213; Becq-Giraudon 1983, p. 29 et fig. 11) aurait isolé temporairement les secteurs orientaux et centraux du bassin. Une telle hypothèse devrait être vérifiée, si l'on peut analyser d'autres matériaux, de gisements situés de part et d'autre de l'axe de Marchiennes.... Il reste sans doute d'autres brachiopodes du « Namurien » du Bassin houiller : au Musée d'Histoire Naturelle de Lille ainsi qu'au Centre Historique Minier de Lewarde. Il serait nécessaire aussi d'effectuer des études sédimentologiques des gangues.

Pour rechercher les relations paléobiogéographiques vers l'Est, il faudrait comparer directement les fossiles des

collections de France avec ceux conservés dans les Musées de Belgique.

Remerciements. — Merci à : Monsieur Jacques Chalard, qui m'a fourni de précieux documents et renseignements ; Denise Brice pour son aide à la documentation ; Thierry Oudoire et les personnels

du Musée d'Histoire Naturelle de Lille, pour leur accueil et les emprunts de fossiles MGL soigneusement enregistrés ; Nigel T. Monaghan et Matthew A. Parkes, National Museum of Ireland (Dublin), qui ont permis à Bernard Mottequin d'emprunter le lectotype de *Producta corrugata* M'Coy ; enfin à Bernard Mottequin, qui m'a fourni les photos de brachiopodes d'Irlande, et a accepté de relire et améliorer considérablement ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- ATIF K. & LEGRAND-BLAIN M. (2006). — La crise biologique à la limite médio-carbonifère, Serpukhovien-Bashkirien : extinctions et apparitions de brachiopodes dans le Bassin de Béchar (Sahara Nord-Occidental – Algérie). *XII^e Séminaire National des Sciences de la Terre*, Université d'Oran, Algérie, 6-7 mars 2006. Recueil des Résumés : 19.
- BARROIS Ch. 1912. — Etude des strates marines du terrain houiller du Nord. *Etudes des gîtes minéraux de la France*, 1^o partie. Paris, Imprimerie nationale : 118 p., 3 Pl.
- BECQ-GIRAUDON J.-F. (1983). — Synthèse structurale et paléogéographique du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais. *Mémoire du BRGM*, Orléans, 123, 43 p.
- BÖGER H. & FIEBIG H. (1963). — Die Fauna des Westdeutschen Oberkarbons II. Die Articulaten Brachiopoden des Westdeutschen Oberkarbons. *Palaeontographica*, Stuttgart, 122, A : 165 p., 23 Pl.
- BOUROZ A., CHALARD J., DALINVAL A. & STIEVENARD M. (1961). — La structure du bassin houiller du Nord de la région de Douai à la frontière belge. *Annales de la Société géologique du Nord*, 81 : 173-220, Pl. 13, 14.
- BOUROZ A., STIEVENARD M., BUISINE M., CHALARD J., DALINVAL A., DOLLE P., PINEL G. & PUIBARAUD G. (1963). — Carte des zones stratigraphiques à la cote – 300. *Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais, Service des Ressources et des études géologiques*. 2 feuilles (échelle 1/50.000), format 112 x 70 cm.
- BRUNTON C.H.C., LAZAREV S.S., GRANT R.E. & JIN YU-GAN (2000). — Productidina. In : KAESLER R.L. (ed.) *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part H Brachiopoda Revised* : Vol. 3, H 424-619. *The Geological Society of America and the University of Kansas Press, Lawrence*.
- BRUNTON C.H.C. (2007). — Productidina. In : SELDEN P.A. (ed.) *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part H Brachiopoda Revised* : Vol. 6, H 2639-2676. *The Geological Society of America and the University of Kansas Press, Lawrence*.
- CARTER J.L. (1990). — Subdivision of the lower Carboniferous in North America by means of Articulate Brachiopod generic ranges. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, Frankfurt, 130 : 145-155.
- CHALARD J. (1960). — Contribution à l'étude du Namurien du bassin houiller du Nord de la France. — *Thèse Université de Lille 1958*, publiée 1960 : *Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais, Etudes géologiques pour l'Atlas de topographie souterraine*. III Stratigraphie, 1^o Fascicule. — Vol. 1 : 302 p., Pl. A-L. — Vol. 2 : 13 p., 65 Pl.
- DAVIDSON T. (1861). — British fossil Brachiopoda, vol. 2. Permian and Carboniferous species, part 5, n^o 3-4. *Palaeontographical Society Monograph*, London : 81-210, Pl. 17-47.
- DEMANET F. (1941). — Faune et stratigraphie de l'étage Namurien de la Belgique. *Mémoires du Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique*, 97 : 327 p., 18 Pl.
- DEMANET F. (1943). — Les horions marins du Westphalien de la Belgique et leurs faunes. *Mémoires du Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique*, 101 : 166 p., 9 Pl.
- DEMANET F. & VAN STRAELEN V. (1938). — Faune houillère de la Belgique. In : RENIER A., STOCKMANS F., DEMANET F. & VAN STRAELEN V. — Flore et faune houillères de la Belgique, 3^o partie. *Patrimoine du Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique*, Bruxelles : 99-246.
- DORLODOT J. de & DELEPINE G. (1930). — Faune marine du terrain houiller de la Belgique. *Mémoires de l'Institut géologique de l'Université de Louvain*, VI (1) : 112 p., 10 Pl. .
- DORSMAN L. (1945). — The marine fauna of the Carboniferous in the Netherlands. *Mededeelingen van de Geologische Stichting*, C, IV, 3 (3) : 101 p., 11 Pl.
- DUNBAR C.O. & CONDRA G.E. (1932). — Brachiopoda of the Pennsylvanian System in Nebraska. *Nebraska Geological Survey Bulletin* (series 2) 5 : 377 p., 44 Pl.
- DUSAR M. (2006). — Chokierian. In DEJONGHE L., ed., Current status of chronostratigraphic units named from Belgium and adjacent areas. *Geologica Belgica*, Bruxelles, 9, 1-2 : 177-187.
- EASTON W.H. (1962). — Carboniferous formations and faunas of Central Montana. *United States Geological Survey Professional Paper*, 348 : 126 p., 13 Pl.
- FERGUSON J. (1971). — *Linoprotonia*, a new genus of lower Carboniferous Productoid. *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, 38, 4 : 549-564, Pl. 41-42.
- GATINAUD G. (1946). — Catalogue des Brachiopodes types et figurés de la collection du Laboratoire de Paléontologie du Muséum national d'Histoire naturelle. I. Productidae et Chonetidae figurés par de Koninck (1843-1846). *Bulletin du Muséum*, Paris, 2^o série, XVIII n^o 4 : 372-376.
- GIRTY G.H. (1903). — The Carboniferous formations and faunas of Colorado. *United States Geological Survey Professional Paper*, 16 : 546 p., 10 Pl.
- GIRTY G.H. (1910). — New genera and species of Carboniferous fossils from the Fayetteville Shale of Arkansas. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 20, 3 : 189-238.
- GORDON, MACKENZIE Jr. (1975). — Brachiopoda of the Amsden Formation (Mississippian and Pennsylvanian) of Wyoming. *United States Geological Survey Professional Paper*, 848-D : 86 p., 13 Pl.
- HENRY T.W. (1998). — The Brachiopod *Antiquatonia coloradoensis* (Girty) from the Upper Morrowan and Atokan (Lower Middle Pennsylvanian) of the United States. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 1588 : 32 p., 5 Pl.
- KONINCK L.G. de (1842-1844). — Description des animaux fossiles qui se trouvent dans le terrain Carbonifère de Belgique. H. Dessain, Liège : 650 p., 55 Pl.
- KONINCK L.G. de (1847). — Recherches sur les animaux fossiles. I. Monographie des genres *Productus* et *Chonetes*. H. Dessain, Liège : 246 p., 20 Pl.

- LAZAREV S.S. (2000). — Brachiopods of the Tribe Reticulatiini from the Carboniferous of the Moscow Region : Part 2. On the Systematic Position of Reticulatiini, with Proposed Sister-Tribes and the Description of a new Genus, *Admoskovia*. *Paleontological Journal*, 34, 5 : 495-503. (Traduction de *Paleontologicheskii Zhurnal*, 2000/5 : 25-33).
- LAZAREV S.S. (2003). — Brachiopods of the Superfamily Linoproductoidea Stehli, 1954 : A New View on Their Morphogenesis and Taxonomic Structure. *Paleontological Journal*, 37, 5 : 492-500. (Traduction de *Paleontologicheskii Zhurnal*, 2003/5 : 43-51).
- LAZAREV S.S. (2006). — The Brachiopod Family Linoproductidae Stehli from the Lower Moscovian of the Middle Carboniferous of the Moscow Region. *Paleontological Journal*, 40, 5 : 518-528. (Traduction de *Paleontologicheskii Zhurnal*, 2006/5 : 49-57).
- LAZAREV S.S. (2007). — Family Linoproductidae Stehli, (Brachiopoda) from the Upper Moscovian of the Middle Carboniferous of the Moscow Region. *Paleontological Journal*, 41, 4 : 415-423. (Traduction de *Paleontologicheskii Zhurnal*, 2007/4 : 64-70).
- LAZAREV S.S. (2008). — Brachiopods of the Family Linoproductidae from the Kasimovian Stage of the Moscow Region. *Paleontological Journal*, 42, 4 : 378-388. (Traduction de *Paleontologicheskii Zhurnal*, 2008/4 : 44-52).
- LEGRAND-BLAIN M. (2009). — Brachiopodes Spiriferides du Bashkirien inférieur, Bassin houiller du Nord de la France (collections J. Chalard). *Annales de la Société Géologique du Nord*, 15 (2^e série) : 25-37, Pl. 3,4.
- LEIGHTON L.R. (2000). — Environmental Distribution of Spinose Brachiopods from the Devonian of New York : Test of the Soft-substrate Hypothesis. *Palaios*, 15 : 184-193.
- M'COY F. (1844). — A synopsis of the characters of the Carboniferous limestone fossils of Ireland. *University Press, Dublin* : 207 p., 29 Pl.
- MARTIN W. (1809). — Petrificata Derbiensia ; Or, Figures and Descriptions of Petrefactions Collected in Derbyshire. D. Lyon, Wigan, London : 52 Pl.
- MARTINEZ CHACON M.L. (1979). — Braquiopodos carboníferos de la Cordillera Cantabrica (Orthida, Strophomenida y Rhynchonellida). *Memoria del Instituto Geológico y Minero de España*, 96 : 283 p., 32 Pl.
- MARTINEZ CHACON M.L. & WINKLER PRINS C.F. (2009). — Brachiopods from the Valdeteja Formation (Pennsylvanian ; Cantabrian Mountains, NW Spain). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 252 (1) : 91-111.
- MENNING M., WEYER D., DRODZEWSKI G., VAN AMERON H.W. & WENDT I. (2000). — A Carboniferous Time Scale 2000 : Discussion and Use of Geological Parameters as Time Indicators from Central and Western Europe. *Geologisches Jahrbuch*, A 156 : 106 p.
- MILORADOVICH B.V. (1945). — Some data on the morphology of the shells of Productidae. *Acad. Sci. USSR Bull., Biol. Ser.*, 4 : 485-500 (en Russe).
- MUIR-WOOD H.M. (1928). — British Carboniferous Producti 2 : *Productus* (s.s.) *semireticulatus* and *longispinus* groups. *Great Britain Geological Survey (Palaeontology) Memoir* 3(1) : 217 p., 12 Pl.
- MUIR-WOOD H.M. (1965). — Productidina. In : MOORE R.C. (ed.) *Treatise on Invertebrate Paleontology. The University of Kansas Press and The Geological Society of America, Lawrence*. Part H Brachiopoda, Vol. 1 : H 439-510.
- MUIR-WOOD H.M. & COOPER G.A. (1960). — Morphology, classification and life habits of the Productoidea (Brachiopoda). *The Geological Society of America Memoir*, 81 : 447 p., 135 Pl.
- SARYTCHEVA T.G., SOKOLSKAYA A.N., BEZNOVA G.A. & MAKSIMOVA S.V. (1963). — Brakhiopody i paleogeografiia Karbona Kutznetskoi kotloviny. (en Russe). *Akademiia Nauk SSSR, Paleontologicheskii Institut, Trudy*, 95 : 547 p., 64 Pl.
- SOWERBY J. (1812-1815). — The Mineral Conchology of Great Britain, vol. 1. Published by the author, London : 234 p., 102 Pl.
- SARYTCHEVA T.G. (1970). — Slovar terminov po morfologii Productid (Brachiopoda) (en Russe). *Izdatel'stvo « Nauka »*, Moscou : 84 p.
- SUTHERLAND P.K. & HARLOW F.H. (1973). — Pennsylvanian Brachiopods and Biostratigraphy in Southern Sangre de Cristo Mountains, New Mexico. *New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources, Memoir* 27 : 173 p.
- TORNQUIST A. (1895). — Das fossilführende Untercarbon am östlichen Rossbergmassiv in den Sudvogesen. I. Einleitung, Beschreibung der Brachiopoden-Fauna. *Abhandlungen zur Geologischen Spezialkarte von Elsass-Lothringen*, Strasbourg, V, Heft IV : 379-528, Pl. XIV-XVI.
- WATERLOT G. (1932). — Les Productus du Terrain houiller du Nord de la France. *Annales de la Société géologique du Nord*, Lille, 57 : 145-176, Pl. II-IV.
- WINKLER PRINS C.F. (1968). — Carboniferous Productidina and Chonetidina of the Cantabrian Mountains (NW Spain) : systematics, stratigraphy and palaeoecology. *Leidse Geologische Mededelingen*, Leiden 43 : 126 p., 9 Pl.
- WINKLER PRINS C.F. (1971). — The road section East of Valdeteja with its continuation along the arroyo de Barcaliente (Curueno valley, Leon). — *Trabajos de Geología*, Oviedo, 4 : 677-686.

EXPLICATIONS DE LA PLANCHE II
EXPLANATIONS OF PLATE II

Fig. 1 à 7. — *Productus carbonarius* De Koninck, 1843. Bassin houiller du Nord de la France, Kinderscoutien. Collections J. Chalard et M. Waterlot. Musée d'Histoire Naturelle, Lille.

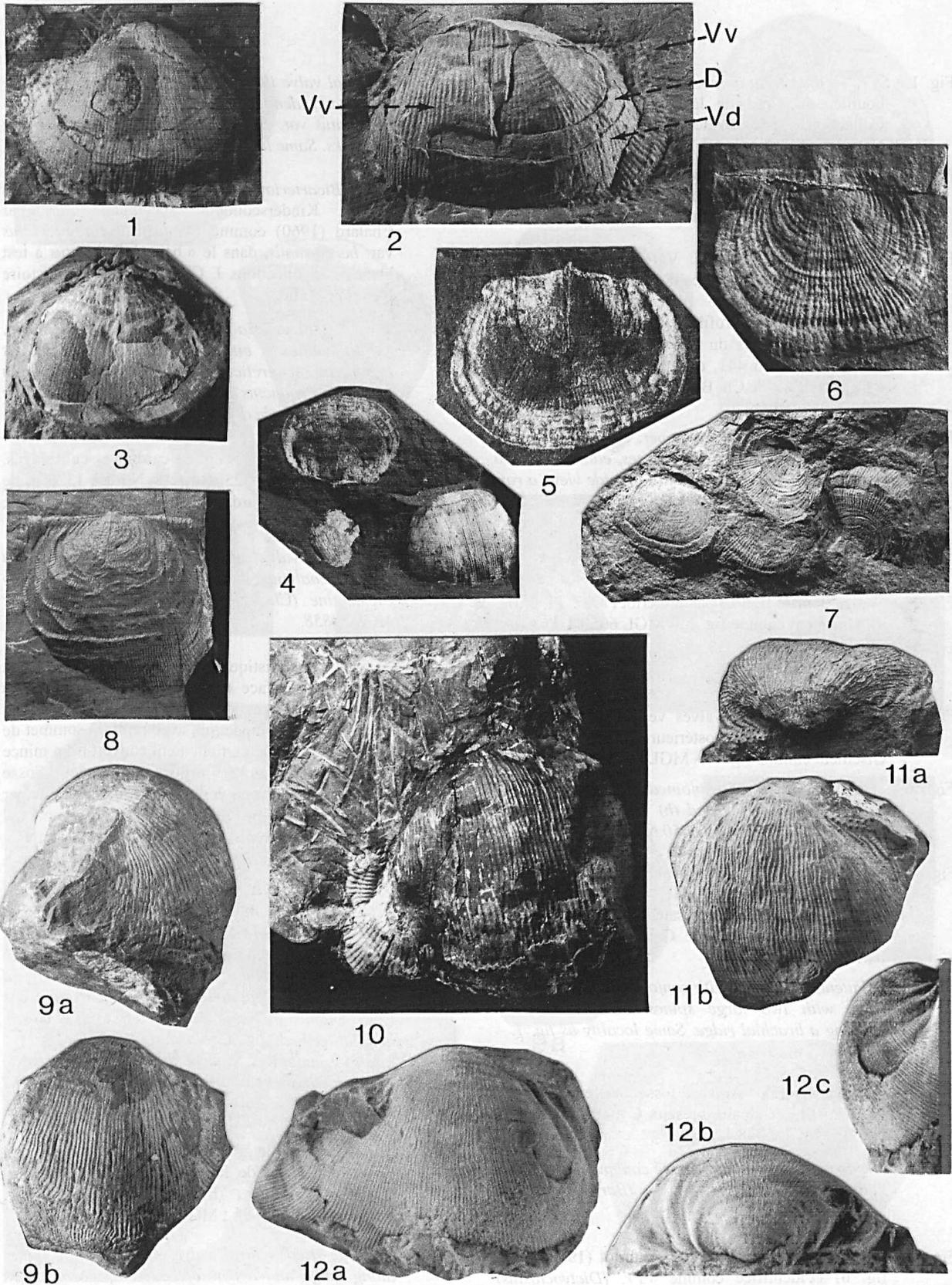
Figs 1-7. — *Productus carbonarius* DE KONINCK, 1843. N. France coal Basin, Kinderscoutian. J. Chalard's and M. Waterlot's Collections, Musée d'Histoire Naturelle, Lille.

Fig. 1. — Valve ventrale avec des bases d'épines abondantes aux oreillettes et sur la chape (x 1,5). Fosse La Grange, 325, Bowette Nord à 1326 m de Clémentine (Chalard, 1960, p. 130). - 58-10 ; MGL 89720.1 e.

Fig. 1. — Ventral valve with abundant spine bases on ears and trail (x 1,5). La Grange coal mine, 325, N. gallery, 1326 m (Chalard, 1960, p. 130). - 58-10 ; MGL 89720.1 e.

- Fig. 2. — Empreintes de valves ventrale et dorsale d'une même coquille, compressées l'une contre l'autre ; surfaces des empreintes partiellement pyriteuses, tests non conservés. Valve ventrale (Vv) : sur le côté gauche, un grand fragment replié vers l'umbo ; à droite, extrémité antérieure de la chape et oreillette avec bases d'épines. Valve dorsale (Vd), occupant la partie centrale du spécimen ; diaphragme (D) bien visible (x 2). Fosse Ledoux, bowette à 418, distance 340 m (Chalard, 1960, p.71). - 58-2 ; MGL 89713.1.
- Fig. 2. — *Ventral and dorsal moulds (partly pyritized) of the same compressed specimen ; shell material not preserved. Ventral valve (Vv) : on left side, a large fragment folded towards umbo ; on right side, anterior part of trail and spiny ear. Dorsal valve (Vd) on central part of the specimen, with a conspicuous diaphragm (D). (x 2). Ledoux coalmine, 418 gallery, 340 m (Chalard, 1960, p.71). - 58-2 ; MGL 89713.1.*
- Fig. 3. — Valve ventrale partiellement décortiquée, empreintes des diducteurs visibles (x 1,5). Vicoigne, puits n° 3, bowette Nord à 191, distance 1416 m (Chalard, 1960, p. 169). — 58-3 ; MGL 89714.1.
- Fig. 3. — *Ventral valve partly decorticated, showing diductor field (x1,5). Vicoigne, well n° 3, 191 North gallery, 1416 m (Chalard, 1960, p. 169). — 58-3 ; MGL 89714.1.*
- Fig. 4. — Aspect d'un banc de « *Productus carbonarius* à test blanc », tests plus ou moins altérés : une valve ventrale, surface externe, une valve dorsale, surface interne, et un fragment (x 1). Gisement comme fig. 3. - 58-3 ; MGL 79857.
- Fig. 4. — *Typical aspect of the key-bed « Productus carbonarius à test blanc », which shell material more or less weathered ; a ventral valve external, a dorsal internal, and a fragment (x 1). Same locality as fig. 3. - 58-3 ; MGL 79857.*
- Fig. 5. — Valve dorsale de la figure précédente agrandie et montrant : le septum médian ; un double diaphragme, avec les amorces de deux chapes dorsales. Les autres empreintes internes ont disparu avec l'altération du test (x 2). - 58-3 ; MGL 79857.
- Fig. 5. — *Dorsal valve of Fig. 4, enlarged, showing : the median septum ; a double diaphragm with bases of two dorsal trails ; the other internal scars destroyed after weathering of shell material. (x 2). - 58-3 ; MGL 79857.*
- Fig. 6. — Valve dorsale, moule externe (x 2). Spécimen figuré par Waterlot (1932, Pl. 2, fig. 1). Carvin, fosse n° 1, bowette à 220, sous la veine St-Emile (Barrois, 1912, p. 14). — MGL 6185.
- Fig. 6. — *Dorsal valve external mould (x 2). Sample figured by Waterlot (1932, Pl. 2, fig. 1). Carvin, coalmine n° 1, 220 gallery, under St-Emile coal seam (Barrois, 1912, p. 14). — MGL 6185.*
- Fig. 7. — Trois moules externes de valves dorsales et un moule externe de valve ventrale (x1). Sondage de La Douane (S. 191), 44,30 m (Chalard, 1960, p. 56). — 59-1 ; MGL 89723.2.
- Fig. 7. — *Three dorsal external moulds and one ventral external mould (x 1). La Douane borehole (S 191), 44,30 m (Chalard, 1960, p. 56). — 59-1 ; MGL 89723.2.*
- Fig. 8 à 11. — *Ovatia* sp. A. Bassin houiller du Nord de la France, Kinderscoutien supérieur. Banc-repère « à *Productus corrugatus* » in Chalard (1960). Collections J. Chalard et M. Waterlot, Musée d'Histoire Naturelle, Lille.
- Figs 8-11. — *Ovatia* sp. A. - N. France coal Basin, late Kinderscoutian, « *Productus corrugatus* key bed ». J. Chalard's and M. Waterlot's Collections, Musée d'Histoire Naturelle, Lille.
- Fig. 8. — Valve dorsale, surface externe, rugae proéminentes (x 1). Fosse Sabatier, bowette à 312, distance 2365 m (Chalard, 1960, p. 144). - 62-1. ; MGL 89788.23.
- Fig. 8. — *Dorsal exterior showing prominent rugae (x 1). Sabatier coalmine, 312 gallery, 2365 m (Chalard, 1960, p. 144). - 62-1 ; MGL 89788.23.*
- Fig. 9. — Valve ventrale, (a) profil, (b) vue ventrale (x 1). Fosse La Grange, Bowette Nord à 170, distance 603 m (Chalard, 1960, p. 128). - 61-4 ; MGL89781.2.
- Fig. 9. — *Ventral valve, (a) side view, (b) ventral view (x 1). La Grange coalmine, 170 North gallery, 603 m (Chalard, 1960, p. 128). - 61-4 ; MGL89781.2.*
- Fig. 10. — Fragment de valve ventrale, oreillette conservée ; nombreuses épines disséminées en surface du banc (x 1,5). Gisement comme fig. 9. -61-4 ; MGL 89781.1.
- Fig. 10. — *Fragment of ventral valve, with ear preserved ; numerous spines scattered on bed surface (x 1,5). Same locality as fig. 9. - 61-4 ; MGL 89781.1.*
- Fig. 11. — Valve ventrale, moule interne, bases d'épines alignées en 2 rangées au bord cardinal ; (a) vue postérieure ; (b) vue ventrale (x 1). Spécimen figuré par Waterlot (1932, Pl. 2, fig. 15) comme « *Pr. (Linoproductus) cora* ». Aniche, fosse Notre-Dame, bowette à 411, distance 278 m d'Olympe : « Calcaire III » de Ch. Barrois (Barrois, 1912, p. 26 ; Chalard, 1960, p. 239). — MGL 6043.3.
- Fig. 11. — *Ventral valve internal mould with two rows of spine bases along the hinge ; (a) posterior, (b) ventral views (x 1). Sample figured by M. Waterlot (1932, Pl. 2, fig. 15) as « Pr. (Linoproductus) cora ». Aniche, Notre-Dame coalmine, 411 gallery, 278 m from Olympe : « Calcaire III » (Barrois, 1912, p. 26 ; Chalard, 1960, p. 239). — MGL 6043.3.*
- Fig. 12. — *Producta corrugata* M'COY, 1844. Lectotype (M'Coy, 1844, Pl. 20, fig. 13). Valve ventrale : (a) vue ventrale ; (b) vue postérieure ; (c) profil (x 1). Carbonifère inférieur « Dinantien » de Kiltullagh, Castlereagh (Comté de Roscommon, Irlande). National Museum of Ireland, Dublin, NMI 7186. Photographies B. Mottequin.
- Fig. 12. — *Producta corrugata* M'COY, 1844. Lectotype (M'Coy, 1844, Pl. 20, fig. 13). Ventral valve : (a) ventral, (b) posterior, (c) side views (x 1). Early Carboniferous (« Dinantian ») of Kiltullagh, Castlereagh (Co. Roscommon, Ireland). National Museum of Ireland, Dublin, NMI 7186. Photographs by B. Mottequin.

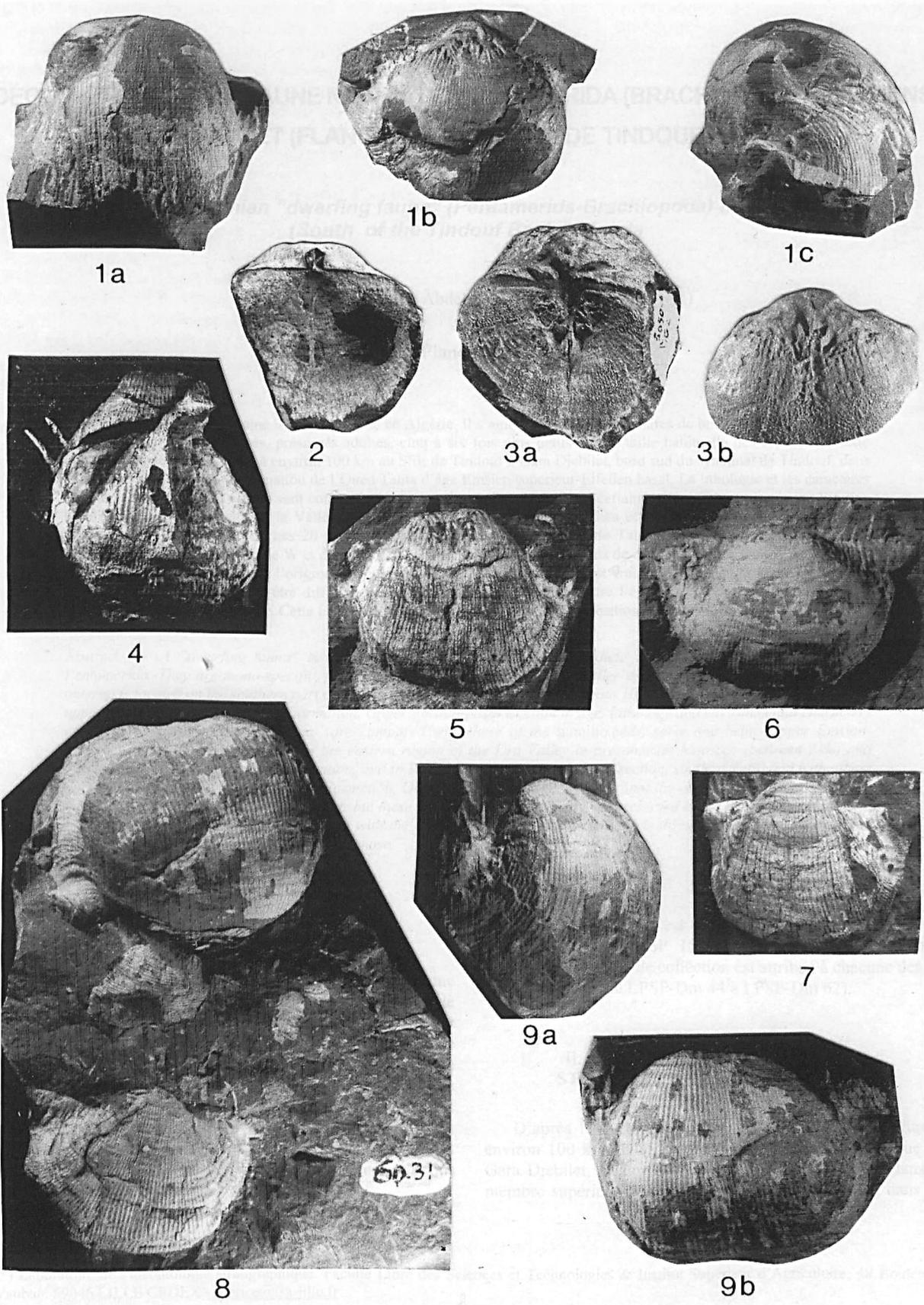
EXPLICATIONS DE LA PLANCHE III
EXPLANATIONS OF PLATE III



EXPLICATIONS DE LA PLANCHE III
EXPLANATIONS OF PLATE III

Toutes les photos X 1
All photos X 1

- Fig. 1 à 5, 7. — *Bicartheria barroisi* (Waterlot, 1932). Bassin houiller du Nord de la France, Kinderscoutien. Collections M. Waterlot, Musée d'Histoire Naturelle, Lille.
- Figs 1-5, 7. — *Bicartheria barroisi* (Waterlot, 1932). N. France coal Basin, Kinderscoutian. M. Waterlot's Collections, Musée d'Histoire Naturelle, Lille.
- Fig. 1. — Lectotype désigné ici. Valve ventrale. (a) vue ventrale, chape avec bases d'épines, oreillettes ; (b) umbo partiellement décortiqué, empreintes musculaires ; (c) profil, bases de fortes épines alignées en bordure du flanc. Aniche, fosse Notre-Dame, bowette à 441, distance 359 m d'Olympe : « Calcaire IV » de Ch. Barrois (Barrois, 1912, p. 26-28). — MGL 6049.5.
- Fig. 1. — Lectotype selected in this paper. Ventral valve : (a) ventral view, trail with spine bases, ears ; (b) umbo partly weathered, muscle field ; (c) side view, a row of large spine bases on flank. Aniche, Notre-Dame coalmine, 441 gallery, 359 m to Olympe : « Calcaire IV » (Barrois, 1912, p. 26-28). — MGL 6049.5.
- Fig. 2. — Valve dorsale figurée par Waterlot (1932, Pl. 2, fig. 9). Gisement comme fig. 1. — MGL 6050.4.
- Fig. 2. — Dorsal valve figured by Waterlot (1932, Pl. 2, fig. 9). Same locality as fig. 1. — MGL 6050.4.
- Fig. 3. — Moule interne de valves ventrale et dorsale en connection ; (a) vue postérieure ; (b) vue ventrale. Gisement comme fig. 1. — MGL 6050.6.
- Fig. 3. — Internal mould of conjoined ventral and dorsal valves ; (a) posterior and (b) ventral views. Same locality as fig. 1. — MGL 6050.6.
- Fig. 4. — Coquille dont les deux valves sont accolées en compaction : valve ventrale, deux fortes épines conservées ; valve dorsale, surface interne, empreinte brachiale visible. Gisement comme fig. 1. — MGL 6049.4.
- Fig. 4. — Flattened specimen with conjoined valves : ventral valve with two large spines ; dorsal interior showing a brachial ridge. Same locality as fig. 1. — MGL 6049.4.
- Fig. 5. — Valve ventrale. Aniche, fosse St René, bowette Nord à 414, « Calcaire gréseux C » (Barrois, 1912, p. 59). — MGL 6048.1.
- Fig. 5. — Ventral valve. Aniche, St René coalmine, 414 North gallery, « Calcaire gréseux C » (Barrois, 1912, p. 59). — MGL 6048.1.
- Fig. 7. — Valve ventrale figurée par Waterlot (1932, Pl. 2, fig. 6) et identifiée comme « *Pr. (Dictyoclostus) semi-reticulatus* var. *hermosanus* (Girty) » ; bases d'épines sur les flancs. Gisement comme fig. 5 — MGL 6048.8.
- Fig. 7. — Ventral valve illustrated by Waterlot (1932, Pl. 2, fig. 6) and identified as « *Pr. (Dictyoclostus) semi-reticulatus* var. *hermosanus* (Girty) » ; spine bases on flanks. Same locality as fig. 5. — MGL 6048.8.
- Fig. 6, 8, 9. — *Bicartheria* sp. Bassin houiller du Nord de la France, Kinderscoutien ; spécimens cités par Chalard (1960) comme *Productus semireticulatus* var. *hermosanus*, dans le « banc à *Productus* à test blanc ». — Collections J. Chalard, Musée d'Histoire Naturelle, Lille.
- Figs 6, 8, 9. — *Bicartheria* sp. N. France coal basin, Kinderscoutian ; cited by Chalard (1960) as *Productus semireticulatus* var. *hermosanus*, in « banc à *Productus* à test blanc ». — J. Chalard's collections, Musée d'Histoire Naturelle, Lille.
- Fig. 6. — Valve ventrale, fines épines cardinales conservées. Fosse La Grange, 325, Bowette Nord à 1326 m de Clémentine (Chalard, 1960, p. 130). — 60-25 ; MGL 79858.
- Fig. 6. — Ventral valve showing thin hinge-spines. La Grange coalmine, 325 North gallery, 1326 m to Clémentine (Chalard, 1960, p. 130). — 60-25 ; MGL 79858.
- Fig. 8. — Aspect caractéristique du « banc à *Productus* à test blanc » ; en surface (inférieure ?) du banc, valves ventrales convexes de Productides, fréquemment déformées par compaction, avec repli du sommet de l'umbo ; test blanc partiellement couvert d'un mince encroûtement noirâtre argileux compact. Fosse Ledoux, 322, bowette vers St Georges, banc cité par Chalard (1960, p. 73-74) : « schiste compact... bourré de *Productus*... test de couleur blanche... *Productus semireticulatus hermosanus*... ». — 60-31 ; MGL 79860.
- Fig. 8. — Typical aspect of the « banc à *Productus* à test blanc » (lower surface ?) with productid ventral valves frequently deformed by compaction and with the top of their umbo folded ; white shell material partly covered by a thin black-coloured argillaceous crust. Ledoux coalmine, 322, gallery to St Georges, bed described by Chalard (1960, p. 73-74) : « schiste compact... bourré de *Productus*... test de couleur blanche... *Productus semireticulatus hermosanus*... ». — 60-31 ; MGL 79860.
- Fig. 9. — Valve ventrale de grande taille, fines épines au bord cardinal et bases de fortes épines alignées sur les flancs ; (a) profil ; (b) vue ventrale. Gisement comme fig. 8. — 60-31 ; MGL 79860 a.
- Fig. 9. — Large-sized ventral valve, showing thin spines along hinge and a row of coarse spine bases on flank ; (a) side, (b) ventral views. Same locality as fig. 8. — 60-31 ; MGL 79860 a.



DÉCOUVERTE D'UNE « FAUNE NAIN » DE PENTAMERIDA (BRACHIOPODA DÉVONIENS) À GARA DJEBILET (FLANC SUD DU BASSIN DE TINDOUF) EN ALGÉRIE

New record of Devonian "dwarfing fauna" (Pentamerids-Brachiopoda) from Gara Djebilet (South of the Tindouf Basin) Algeria

par Denise BRICE(*) & Abdelkader OUALI MEHADJI (**)

(Planche IV)

Résumé. — Une « faune naine » est découverte en Algérie. Il s'agit de valves pédonculaires de brachiopodes Pentamerida Gypidulinae mono-spécifiques, présumés adultes, cinq à six fois plus petits que la taille habituelle des espèces de cette famille. Le gisement est situé à environ 100 km au SSE de Tindouf à Gara Djebilet, bord sud du synclinal de Tindouf, dans le membre supérieur de la Formation de l'Oued Tahla d'âge Emsien supérieur-Eifélien basal. La lithologie et les caractères environnementaux de ce niveau sont comparés avec ceux de couches à *pumilio* : certaines d'âge Emsien supérieur-Eifélien basal de la région orientale de la Vallée du Dra au Maroc présaharien entre Akka et Fom Zguid, - dans la Formation Timrhanrart et - dans les couches 20 à 24 de la coupe d'Oufrane N au sud de Tata; d'autres, d'âge givétien dans la Formation Ahrerouch, à Oufrane W et dans le Tafilalt. Il semble que les conditions de dépôt de cette « faune naine » soient comparables à celles qui sont à l'origine des *pumilio* mais cette « faune naine » est vraisemblablement conservée (après un transport) dans un milieu peut-être différent du milieu d'origine. Le rapport entre l'événement Chotec et la présence de cette « faune naine » est discuté. Cette faune particulière correspond par sa composition à une taphocoenose

Abstract. — A "dwarfing fauna" is discovered in Algeria. It consists of pedicle valves of brachiopods Gypidulinae Pentamerida. They are mono-specific, presumably adults, five or six times smaller than usual size for Gypidulinae. The outcrop is located on the southern part of the Tindouf Basin, at Gara Djebilet, about 100 km southeastern of Tindouf, in the upper Member of the Oued Tahla Formation, Upper Emsian-basal Eifelian in age. Lithology and environmental characters of the level of this "dwarfing fauna" are compared with those of the *pumilio* beds, some one being Upper Emsian-lowermost Eifelian in age, located in the eastern region of the Dra Valley in presaharian Morocco (between Akka and Fom Zguid) in the Timrhanrart Formation, and in Beds 20 to 24 of the Oufrane N section, south of Tata; and with others ones of Givetian age in the Ahrerouch Formation, Oufrane W and Tafilalt. It seems that the conditions of deposit of these micro-pentamerids and *pumilio* are similar but these small fossils are probably not preserved in life position and may have (have undergo transportation). Connection with the Chotec Event and the micro-rests is discussed. This particular fauna by its composition corresponds to a taphocoenose.

I. — INTRODUCTION

Le but de cette note est de signaler la découverte d'une « faune naine » à Gara Djebilet (flanc sud du Bassin de Tindouf, Algérie) en donnant : 1) le cadre géologique et stratigraphique du gisement, 2) la description de la « faune naine », 3) les causes possibles de la micromorphie de cette faune et ses relations avec des événements externes, 4) des comparaisons avec d'autres petites faunes (notamment les faunes à *pumilio* du Maroc présaharien) en soulignant les particularités de cette « faune naine », 5) les causes pouvant expliquer la dissociation des valves, leur tri et leurs relations avec l'événement Chotec, 6) Conclusions.

Le matériel étudié est conservé dans les collections de l'Université d'Oran, BP 1524 El M'naouer 31000 Oran – Algérie. Un numéro de collection est attribué à chacune des 19 valves figurées (de LPSP-Dm 44 à LPSP-Dm 62).

II. — CADRE GÉOGRAPHIQUE ET STRATIGRAPHIQUE DU GISEMENT

D'après le découvreur (K O M) le gisement est situé à environ 100 km au SSE de Tindouf, dans le Paléozoïque de Gara Djebilet, au bord sud du Synclinal de Tindouf, dans le membre supérieur de la Formation de l'Oued Talha, dans un

(*) Laboratoire de Paléontologie stratigraphique. Faculté Libre des Sciences et Technologies & Institut Supérieur d'Agriculture, 48 Boulevard Vauban. 59046 LILLE CEDEX - d.brice@isa-lille.fr

(**) Laboratoire de Paléontologie stratigraphique et Paléoenvironnements. Dpt; Sciences de la Terre. Université d'Oran, BP 1524 El M'naouer 31000 Oran – Algérie oualimeha@gmail.com

niveau daté Emsien supérieur-base Eifélien, dans un milieu « offshore » qui a pu être touché par des affouillements de tempête.

1) La série paléozoïque du flanc sud du Bassin de Tindouf.

Le Bassin de Tindouf occupe la partie occidentale de la plateforme saharienne algérienne. Il se trouve coincé entre la vallée du Dra (partie méridionale de l'Anti-Atlas marocain) au Nord ; la chaîne de l'Ougarta au Nord-Est, le môle de Bou-Bernous le sépare du Bassin de Reggane vers l'Est. Enfin, vers le sud ce bassin repose sur le socle précambrien constitué par l'ensemble cristallin Yetti-Eglab, appelé aussi la dorsale Reguibat ou les Eglab.

Sur la bordure nord des Eglab (fig. 1), le Bassin de Tindouf offre des affleurements paléozoïques (Ordovicien à Carbonifère) de qualité médiocre pour l'Ordovicien et le Silurien et meilleure pour le Dévono-Carbonifère. Le Bassin de Tindouf a été subdivisé en deux sous-bassins : le sous-bassin de Djebilet et le sous-bassin de l'Iguidi, séparés par le haut fond de Laroussi (Guerrak, 1987 ; Bitam *et al.*, 1997). La succession que nous présentons concerne le sous-bassin de Djebilet.

Le Paléozoïque s'y échelonne de l'Ordovicien au Dévonien. Il comprend : (i) des grès et conglomérats attribués au Cambrien (Gevin, 1960) puis à l'Ordovicien (Gevin,

1962 ; Gevin et Mongereau, 1968) représentés par deux formations : celle des Quartzites de Djebilet et celle des Grès d'Aouinet Bel Egraa séparées par une discordance (Gevin, 1948 ; 1960). Ces grès ordoviciens ont été nommés ensuite Formation Gheziane (Guerrak, 1987) et attribués à l'Ordovicien supérieur (Bitam *et al.*, 1997), (ii) des argiles siluriennes (Gevin, 1960) correspondant à la Formation de la Gara Kadour (Legrand 1969, 1981) qui serait uniquement équivalente à la partie inférieure de la Formation de la Sebkhah Mahbès de Guerrak (1987) (communication Ph. Legrand), (iii) des grès à passées micro-conglomératiques et oolithes ferrugineuses constituant la Formation de Gara Djebilet (Guerrak, 1987 ; Bitam *et al.*, 1997) datée Lochkovien-Praguuien-Emsien supérieur, (iv) des argilites avec des passées calcaires de la Formation de l'Oued Talha (Bitam *et al.*, 1997) attribuées pour le membre inférieur (= Argilites de l'Oued Talha) à l'Emsien supérieur, et le membre supérieur (Calcaires du Kreb Tsabia), caractérisé par une alternance marno-calcaire à brachiopodes et goniatites, qui serait d'âge Emsien terminal à Givétien. Au-dessus, se développe le Dévonien supérieur à argiles et intercalations de grès à rides de courants et traces de plantes [Formation du Kreb En Naga (Bitam *et al.*, 1997)].

Le flanc sud du Bassin de Tindouf est surtout connu par le gisement stratiforme de fer du Dévonien inférieur de Gara Djebilet (Gevin, 1960 ; Guerrak, 1987 ; Bitam *et al.*, 1997) développé dans la Formation des Grès de Gara-Djebilet.

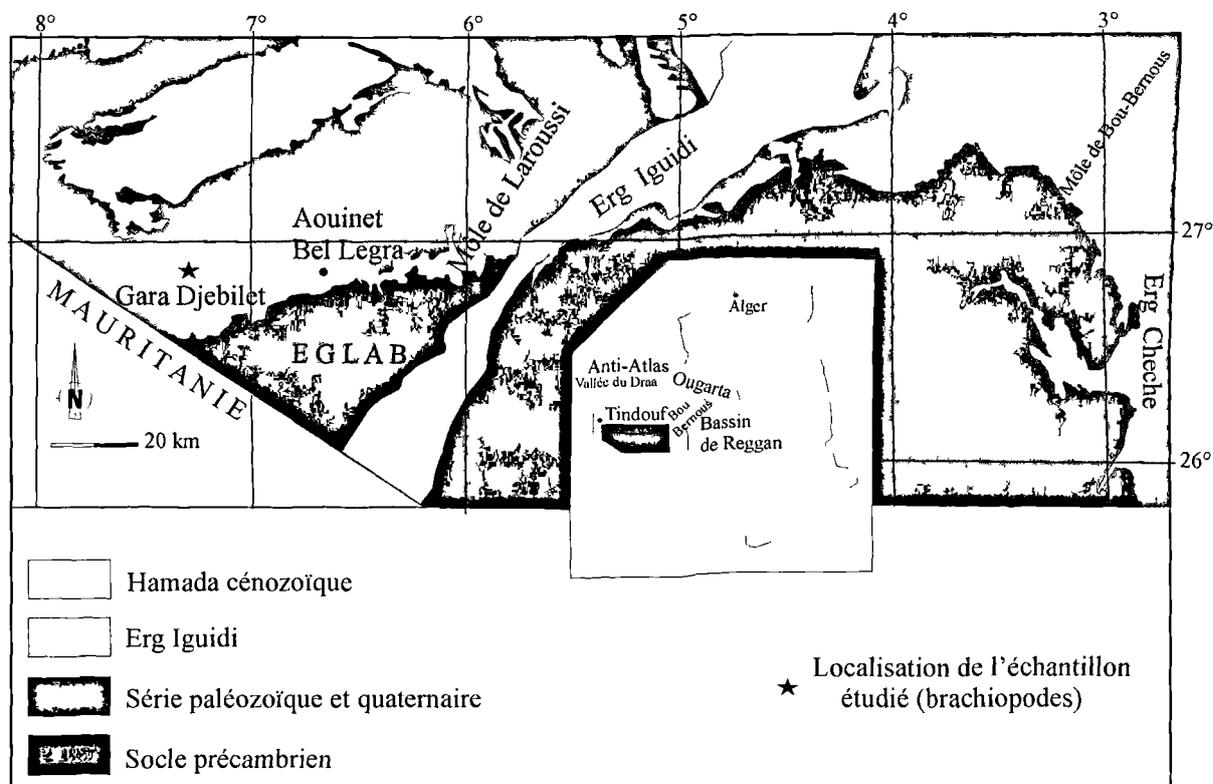


Fig. 1. — Situation géographique de Gara Djebilet, d'après Bitam *et al.*, (1997), localité du gisement de la « faune naine » de brachiopodes dévoniens.

Fig. 1. — Schematic map with position of Gara Djebilet, according to Bitam *et al.*, (1997), location of Devonian "dwarfing fauna" brachiopods.

2) Lithologie de la Formation de l'Oued Talha et du gisement de la « faune naine » situé dans le membre supérieur de la formation.

La formation affleure le long de la vallée de l'oued bordé par de petites crêtes alignées (krebs) de calcaires bioclastiques grisâtres. Bitam *et al.* (1997) y ont distingué deux membres : Argilites de l'Oued Talha (membre inférieur) et Calcaires bioclastiques de Kreb Tsabia (membre supérieur).

La coupe (fig. 2) a été levée au nord du hameau surmontant les grès ferrugineux de Gara Djebilet. Elle représente le replat constitué par des argiles à fines passées de silts et de grès en plaquettes avec, par endroits, des alluvions récentes de l'Oued Talha. Sur la rive droite de cet oued, de petites crêtes calcaires, constituant le Dévonien moyen, dominant le paysage.

a) Membre inférieur: Argilites de l'Oued Talha

Il est représenté par des argilites formant une combe assez étendue, peu épaisse (8 m), de couleur verdâtre avec de rares niveaux silto-gréseux qui deviennent, à certains endroits, des plaquettes grésocalcaires. Cette combe correspond au niveau (3) de Gevin (1960, fig. 37, coupe B) et au niveau 19a de Bitam *et al.* (1996).

b) Membre supérieur: Calcaires bioclastique de Kreb Tsabia

Il comprend de bas en haut:

- un niveau calcaréo-gréseux (0.80 m), de couleur rose, à brachiopodes, rugueux solitaires, bryozoaires, articles de crinoïdes et quelques gastéropodes (1, fig. 2),
- une couche d'argile verdâtre (1.20 m), souvent masquée par des alluvions récentes de l'Oued Talha (2, fig. 2),
- sur 3.80 m, des calcaires bioclastiques de couleur grisâtre en bancs décimétriques riches en rugueux coloniaux et solitaires dont *Calceola sandalina* (3, fig. 2). Cette barre calcaire correspond au niveau (6) de Gevin (1960, p. 141-142, fig. 37, coupe B) et au niveau 21 de Bitam *et al.* (1996, coupe Gara Djebilet Ouest/GDO/ p. 117, annexe 2a),

- une combe formée d'argiles sableuses, épaisses de 2 m, affleurant sur une courte distance d'environ 20 m, de couleur verdâtre à jaunâtre, constituant le gisement de la « faune naine » (4, fig. 2). Un échantillon d'argiles a été soumis à un lavage sur un tamis à mailles de 0.63 micron. Nous n'avons noté aucune orientation préférentielle des fossiles, ceux-ci étant disséminés dans les argiles sableuses. Ces argiles sableuses renferment des silts en plaquettes très minces sans micro-restes. Elles correspondent aux argiles situées sous le niveau (7) de Gevin (1960, fig. 37, coupe B) et aux niveaux (22-24) de Bitam *et al.* (1996, coupe Gara Djebilet Ouest/GDO/ p. 117, annexe 2a),

- une barre calcaire, de 5 m d'épaisseur, constituée par des calcaires massifs, légèrement argileux par endroits, à patine noirâtre et cassure grisâtre (5, fig. 2). Ces calcaires en bancs décimétriques (0.25 m à 0.45 m) renferment une faune de brachiopodes, de gastéropodes, de polypiers et d'abondantes tiges de crinoïdes (base du niveau 25-32 de Bitam *et al.* 1996).

Ces niveaux calcaires sont mieux développés le long des petites falaises (krebs) qui affleurent au nord de Aouinet Bel Egraa. Ce membre est caractérisé par une alternance marno-calcaire, d'abord régulière, surmontée par des intervalles marneux de plus en plus rares jusqu'à devenir de simples joints entre des barres de calcaires bioclastiques à brachiopodes, rugueux solitaires, orthocères, articles et tiges de crinoïdes, rares goniatites.

3) Age [Emsien supérieur (terminal)-Eifélien basal] de la Formation de l'Oued Talha (OT) renfermant la « faune naine »

Le sommet des Grès de la Formation de Gara Djebilet a livré plusieurs exemplaires de *Glossinulus mimicus* (Barrande) associés à *Cuninulus melanopotamicus* Sartenaer, *Euryspirifer pellicoi* (de Verneuil & d'Archiac), *Spinocyrtia sp.*, *Boucostrphia sp.* (déter. K O M). Hollard, (1968, p. 231) attribuait un âge Emsien terminal au minerai de fer de Gara Djebilet en se basant sur la présence à son mur de *G. mimicus* (déter. Drot, 1964). Cette espèce d'âge Emsien terminal est connue au Maroc présaharien (Drot, 1964) et dans la Saoura (Le Maître, 1952; Boumendjel *et al.*, 1997; Ouali Mehadjji *et al.*, 2004).

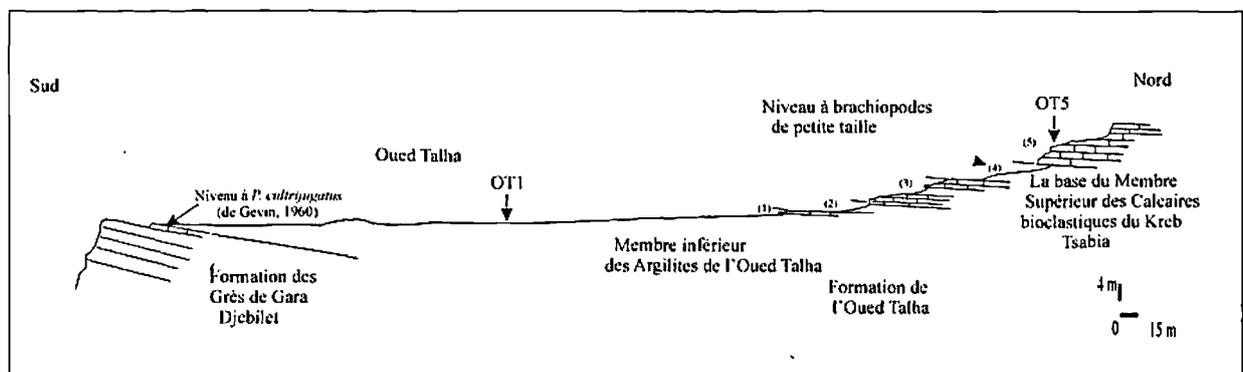


Fig. 2. — Coupe illustrant la Formation de l'Oued Talha à Gara Djebilet, d'après la coupe de Gevin (1960, fig. 37, B modifiée).

Fig. 2. — Section of the Oued Talha Formation at Gara Djebilet, according to Gevin (1960, fig. 37, B modified).

Le premier niveau calcaire surmontant les Grès ferrugineux de la Formation de Gara Djebilet a livré *Paraspirifer cultrijugatus* (Roemer) (Gevin, 1960), espèce caractéristique de la limite Emsien/Eifelien. Les bancs calcaires situés au-dessus ne permettent pas de datation plus précise car les brachiopodes appartiennent à la liste classique du passage Emsien/Eifelien connue dans la Saoura (Le Maître, 1952 ; Ouali Mehadji *et al.*, 2004).

La base de la Formation de l'Oued Talha est représentée par les argilites qui ont livré le gisement OT1 (fig. 2) à *Arduspirifer* gr. *extensus-maturus*, *Atrypa* (*Planatrypa*) *squamifera* (Schnur) (représenté par un nombre impressionnant de spécimens) et quelques *Xystostrophia umbraculum* (Schlotheim), *Schizophoria striatula* (Schlotheim), *Leptaena dicax* Garcia-Alcalde, tandis que le niveau OT5 (fig. 2) a livré: *Lapinulus pila* (Schnur), *Athyris concentrica* (von Buch), *Dalejina hamoni* (Rouault) et les premiers *Calceola sandalina*.

La combe sus-jacente au niveau OT5, d'âge Eifelien (moyen probable), serait peut être corrélable avec le membre supérieur de la Formation Timrhanrhart (Hollard, 1978) de la vallée du Dra au Maroc présaharien qui renferme des « goniatites and *pumilio* beds » (Becker *et al.*, 2004, p. 10). Cette corrélation est basée sur : - un critère évènementiel (premiers épisodes de calcaires crinoïdiques) faisant suite aux dernières décharges détritiques grossières des « Grès de Gara Djebilet », - sa position lithostratigraphique, - sa faune benthique particulièrement riche en brachiopodes *Atrypa* (*Planatrypa*) *squamifera* associée à des coelentérés et des trilobites, qui rappelle le niveau inférieur de la Formation Yeraifa (Hollard, 1978) à *Alatiformia* cf. *sera* et *Planatrypa* sp. de Becker *et al.* (2004, p. 20).

4) L'environnement de dépôt du niveau de la « faune naine »

Les Argilites de l'Oued Talha ont été déposées dans un système de vasière abritée recevant des particules fines avec quelques rares épisodes de remobilisations sous-marines sans apports frais (silts et grès fin à laminations horizontales et HCS (Hummocky-Cross-Stratification). Cette vasière serait en position d'« offshore » au-dessous de la limite d'action des vagues de tempêtes. Elle coïncide aussi avec la tranche infralittorale au regard du grand nombre de spécimens de brachiopodes atrypidés et spiriféridés qui correspondrait au BA4 de Boucot (1975) et Racheboeuf (1992).

Vers le haut, les Calcaires bioclastiques (membre supérieur) riches en brachiopodes et rugueux solitaires traduiraient des bioaccumulations de tempêtes de « shoreface » dans des conditions équivalentes au BA3 (Boucot, *op. cit.*).

Chaque séquence élémentaire semble être constituée d'un terme argileux clôturé par un calcaire. Il s'agirait donc de séquences de rétrogradation-progradation inscrites depuis l'« offshore » jusqu'au « shoreface ». La « faune naine » a vraisemblablement été déposée dans un milieu « offshore » qui a pu être exceptionnellement touché par des affouillements de tempêtes.

III. — DESCRIPTION DE LA « FAUNE NAINES »

Paléontologie systématique

Ordre PENTAMERIDA Schuchert & Cooper, 1931
Sous-Orde PENTAMERIDINA Schuchert & Cooper, 1931

Superfamille PENTAMEROIDEA M'Coy, 1844
Famille PENTAMERIDAE M'Coy, 1844
Sous-Famille GYPIDULINAE Schuchert & Le Vene, 1929

?*Gypidula* sp.
(Pl. IV, fig. a-t)

Matériel : 698 valves pédonculaires dégagées, la plupart entières, certaines endommagées au bord antérieur, parfois un peu encroûtées.

Description

Valves moyennement convexes, un peu plus enflées dans la moitié postérieure, sub-pentagonales ou sub-losangiques, un peu plus larges que longues ou presque aussi larges que longues ou, encore plus rarement, un peu plus longues que larges. Leur plus grande dimension est toujours inférieure au centimètre, elle varie généralement entre 5 et 8 mm. Le crochet, bien dégagé, est faiblement courbé. Le delthyrium ouvert est souvent partiellement comblé par de la gangue. La plupart des valves possèdent un bourrelet assez large, mal défini, divisé par un sillon, étroit dans la région postérieure, large et à fond arrondi dans la partie antérieure. Il s'y ajoute, chez certaines, l'ébauche d'une côte latérale arrondie souvent sur un seul flanc (de rares valves en possèdent deux sur le même flanc). Ces valves, à test non ponctué, n'ont pas d'autre ornementation.

Intérieurement, les lames dentales entourent le septum médian puis forment un spondylium plus long que large moyennement profond; elles se terminent par des dents difficilement observables. Le septum se prolonge au-delà du spondylium sur les trois quarts environ voire sur toute la longueur de la valve.

Ces valves sont relativement bien préservées, non pyritisées ni silicifiées, la plupart sont entières, les incomplètes (Pl. IV, fig. c, d, k, l, r, t.) ont seulement les bords antérieurs de leurs flancs brisés. Quelques valves possèdent un faible encroûtement interne dans l'une ou l'autre des cavités umbonales (Pl. IV, fig. d), il s'agit donc d'un encroûtement post-mortem.

Discussion

Ces valves appartiennent à une même espèce en raison de la similitude de leurs caractères externes et internes. Elles ont les mêmes caractères que des valves pédonculaires de Pentamerida Gypidulina adultes, hormis leur petite taille. L'échantillon comprend des valves de tailles différentes, les très petites étant rares mais présentes tandis que la marge de variation des dimensions des valves les plus nombreuses est assez réduite. Il est toutefois difficile, faute d'étude comparative dans la littérature, d'affirmer qu'il s'agit de

valves de spécimens adultes ou juvéniles ayant des caractères d'adultes.

Ces valves pédonculaires rappellent celles de Pentamerida, et plus particulièrement celles de Gypidulinae par leur forme convexe, presque sans ornementation, la présence d'un bourrelet ventral et d'un spondylium soutenu par un septum médian. En l'absence de valve brachiale, leur attribution spécifique est impossible et leur attribution générique hypothétique en raison de leur taille exceptionnellement petite, les Gypidulinae étant généralement de grande taille. Une espèce de l'Oural et du Salaïr fait exception, il s'agit de *Gypidula juno* Khodalevitch, 1951, connu du ? « Siegenien » à l'Eifelien inférieur, qui a sensiblement même taille que les formes algériennes (longueur variant de 4.5 à 6.4 mm, largeur de 4.3 à 7 mm, d'après Sapelnikov & Mizens, 2000), mais dont le bourrelet ventral n'est pas divisé. Parmi les Pentamerida de petite taille, il s'en trouve de rares spécimens appartenant aux Clorindinae en provenance de l'Assise d'El Ansar (Praguien-Emsien terminal) au Maroc Préaharien. Drot (1969, p. 39) décrit quatre spécimens, possédant des dimensions voisines de celles des spécimens algériens, en les attribuant à *Clorinda* aff. *armata*; toutefois la valve pédonculaire de ces formes plus larges que longues est sans bourrelet, légèrement déprimée au bord antérieur, et leur septum médian limité à la partie apicale. Trois autres exemplaires (Drot, *op.cit.*, p. 39-40) attribués respectivement à ? *Clorinda* sp. A (2 spécimens) et ? *Clorinda* sp. B ont également des dimensions voisines de celles des spécimens algériens notamment ? *C.* sp. A, mais leur valve pédonculaire plus convexe est marquée par une légère dépression antérieure.

Si l'on fait abstraction de la taille de ces valves pédonculaires, on soulignera certaines analogies externes en plus des analogies internes entre le matériel algérien et les valves pédonculaires de certains Gypidulinae, à savoir le bourrelet divisé et la présence exceptionnelle de côtes latérales qui se retrouvent chez l'espèce-type du genre *Galeatagypa* Sapelnikov, 1981, *Pentamerus pelagicus* Barrande, 1848, espèce la plus proche, ou chez l'espèce-type de *Plicogypa* Rzhonsnitskaia, 1975, *Pentamerus kayseri* (von Peetz, 1901). Toutefois les ébauches de côtes des valves pédonculaires du matériel algérien sont obsolètes comparativement à celles de ces espèces de Gypidulinae généralement de grande taille comme l'est également une espèce marocaine peu connue dépourvue de bourrelet ventral, *Gypidula chouberti* Termier & Termier, 1950 (pl. 43, fig. 31-33) [cité et figuré par Struve (1995, fig. 30, p. 101) dans l'Eifelien du Maider sous le nom de *Gypidula* sp., cf. *G. chouberti* Termier & Termier, 1950].

Nous concluons que cette « faune naine » consiste uniquement en valves pédonculaires isolées de Pentamerida Gypidulinae mono-spécifiques présumés adultes, non pyritisées, relativement bien préservées, attribuées avec réserve à *Gypidula* sp.

IV. — CAUSES POSSIBLES DE LA MICROMORPHIE DE CETTE FAUNE RELATIONS AVEC UN OU DES ÉVÈNEMENTS EXTÉRIEURS

Les faunes de petite taille sont connues depuis très longtemps. Bourgeat (1907) citait déjà de nombreux

exemples d'invertébrés marins ou lagunaires divers appartenant à différentes périodes géologiques. Ces faunes ont fait l'objet d'un grand nombre de publications et d'expérimentations. Elles ont été appelées: faunes naines, micromorphiques, de petite taille, micro-restes, anormales... Ager (1963) réserve le nom de faunes naines «dwarfing faunas» aux faunes de petite taille résultant de causes génétiques et «stunting faunas» aux faunes de petite taille développées dans un environnement physique ou chimique défavorable (Mancini, 1978). Dans le premier cas, le phénomène est irréversible, dans le second, il pourrait disparaître si les conditions redevenaient normales. Les principales causes invoquées dans ce dernier cas (Hallam, 1965; Mancini, 1978...) sont le manque d'oxygène, la présence de pyrite ou d'oxyde de fer, d'évaporites, le degré de salinité trop bas ou trop élevé, la profondeur marine, la turbidité, le transport... et dans certains cas, des causes multiples.

Les valves de la « faune naine » algérienne n'étant pas pyritisées, on ne peut invoquer comme cause de leur micromorphie la présence de limonite ou de pyrite dans le milieu, le nanisme étant très commun chez les faunes pyriteuses comme l'ont montré Termier & Termier (1952, 1954) et Tasch (1953).

Par contre, il semble exister une réelle similitude entre cette accumulation de petites valves de Pentamerida et les *pumilio*, très petits brachiopodes lenticulaires désignées du nom de l'espèce « *Terebratulina pumilio* » généralement indiqués par l'une des expressions « couches à *pumilio* », « *pumilio* layers » ou « *pumilio* beds »

Un « évènement », tel une pedomorphose (passage à l'état adulte de spécimens juvéniles) est peut être à l'origine des *pumilio* et de la « faune naine » algérienne, l'emploi de « » ayant pour but de souligner le caractère hypothétique de l'évènement qui a pu se traduire par de brusques variations de l'environnement: déficience d'oxygène ou de substances nutritives, et/ou existence d'un milieu momentanément turbide, et/ou un substrat impropre à la fixation en raison de l'abondance de particules argileuses fines; cet évènement étant intervenu sur des spécimens articulés de petite taille.

V. — COMPARAISONS ENTRE LA « FAUNE NAINE » ALGÉRIENNE ET D'AUTRES PETITES FAUNES (NOTAMMENT LES FAUNES A *PUMILIO* DU MAROC PRÉSAHARIEN). PARTICULARITÉS

Le fait de trouver dans cette « faune naine » une seule sorte de valves d'une seule espèce est assez rare parmi les exemples cités dans la littérature pour la période dévonienne. Dans la majorité des cas, il s'agit soit d'une ou plusieurs espèces de petite taille de spécimens bivalves associées à d'autres de taille normale (Legrand-Blain, 2000; Ma & Sun, 2001, Ma *et al.*, 2002), soit d'assemblages de fossiles plus ou moins bien préservés, parfois partiellement désarticulés, appartenant à différents taxa: espèces, genres, ordres, groupes (Maillieux, 1936; Racki *et al.*, 1985; Balinski, 1999; Brice, 2008...).

Dans le cas des *pumilio*, il s'agit, comme dans le cas de la « faune naine » algérienne, de l'accumulation de coquilles ou de valves d'une seule espèce.

Autre ressemblance, les couches à *pumilio*, d'abord reconnues dans le Givétien, en différentes régions d'Allemagne, d'après Lottmann (1991), puis dans le Givétien du SE marocain (et que l'on pensait initialement restreintes au Givétien) par Walliser in Bultynk & Hollard (1980) présentes dans toutes les coupes du Tafilalt (Bultynk & Hollard, *op. cit.*), ces couches à *pumilio* existent plus bas près de la limite Dévonien inférieur/ Dévonien moyen dans des niveaux sensiblement de même âge que la « faune naine » algérienne. En 2004, Becker *et al.* les signalent au Maroc présaharien dans la Vallée du Dra entre Akka et Fom Zguid dans le membre supérieur de la Formation Timrhanhart (Hollard, 1978) et Ebbighausen *et al.* (2004, p. 60) dans les couches 20 à 24 de la coupe d'Oufrane N au sud de Tata.

Toutefois plusieurs différences existent entre les couches à *pumilio* et la « faune naine » algérienne.

Première différence. La « faune naine » de Gara Djebilet ne renferme que des valves pédonculaires de brachiopodes Pentamerida désarticulés contrairement aux *pumilio* encore articulés.

Autre différence, les couches à *pumilio* sont fréquemment associées à des niveaux riches en hématite et goniatites situés au-dessous et/ou au-dessus; c'est le cas : - dans le membre supérieur de la Formation Timrhanhart (Becker *et al.*, 2004), - dans les couches 20 à 23 de shales et de marnes de la coupe d'Oufrane N, d'âge Emsien supérieur-base Eifélien, - dans le Membre Oued Mzerreb de la Formation Ahrerouch, d'âge Eifélien à Givétien moyen, et - à Oufrane W où les « upper *pumilio* beds » sont surmontés par le niveau inférieur à griottes (Aboussalam *et al.*, 2004). Ces associations n'ont pas été constatées au voisinage de la « faune naine » de Gara Djebilet.

VI. — CAUSES POUVANT EXPLIQUER LA DISSOCIATION DES VALVES ET LE TRI SÉLECTIF. RELATIONS POSSIBLES AVEC L'ÉVÈNEMENT CHOTEC

A propos des « couches à *pumilio* » d'âge Givétien, House (2002, p. 14) suggérait que l'évènement à l'origine de ces couches ne résultait pas d'un tsunami comme on l'avait d'abord supposé mais plutôt d'une pulsion transgressive. Walliser (1996, p. 230) considère aussi l'évènement Chotec, proche de la limite Emsien/Eifélien, comme un phénomène

transgressif favorisant l'arrivée massive de goniatites diversifiées. De même Becker *et al.*, (2004), dans leur cycle 5, établissent un rapport entre les « couches à *pumilio* et le début d'une transgression qui deviendrait maximale avec l'entrée de *Pinacites* dans la partie SW du Bassin de Tindouf.

Ces phénomènes transgressifs ont pu s'accompagner de courants érosifs plus ou moins importants intervenant après « l'évènement » à l'origine de la micromorphie des Pentamerides entraînant hors du milieu d'origine certaines valves en fonction de la force du courant, de la position des spécimens plus ou moins désarticulés, du poids des valves, courant qui serait à l'origine d'un tri sélectif.

VII. — CONCLUSIONS

En conclusion, nous proposons comme hypothèse de formation de cette « faune naine » qu'elle puisse résulter d'un phénomène comparable à celui qui est à l'origine des *pumilio* causé peut-être par une pédomorphose, phénomène suivi d'une mortalité de la faune entraînant la destruction des muscles adducteurs des Pentamerides et permettant la désarticulation des valves. Postérieurement, un courant érosif lié aux phénomènes transgressifs de l'évènement Chotec a pu emporter hors du milieu d'origine certaines valves, sélectionnées en fonction de la force du courant, de la position des valves et de leur poids, et les transporter sur une courte distance (vu l'état de conservation du matériel) avant leur accumulation dans un endroit abrité (pouvant expliquer quelques encroûtements postérieurs au dépôt); la « faune naine » algérienne correspondrait à une taphocoenose. Cette accumulation hors du milieu d'origine pourrait également expliquer l'absence, signalée précédemment, de niveaux riches en hématite et goniatites associés au gisement de la « faune naine ».

REMERCIEMENTS. — Les auteurs expriment leur vive gratitude au Dr Philippe Legrand, ingénieur géologue pétrolier en retraite, pour ses précieux conseils en géologie africaine, au Dr Rémy Gourvenec, Maître de recherche au CNRS, spécialiste des brachiopodes, pour ses remarques pertinentes et constructives qui nous ont permis d'améliorer sensiblement cette note. Ils remercient M. Yahiaoui du service de l'hydraulique de Tindouf pour sa compagnie sur le terrain, en 2006, les autorités locales pour leurs précieuses aides logistiques et le Dr Bruno Mistiaen pour ses conseils ainsi que Pascal Deville, technicien, pour son aide dans la préparation des illustrations.

BIBLIOGRAPHIE

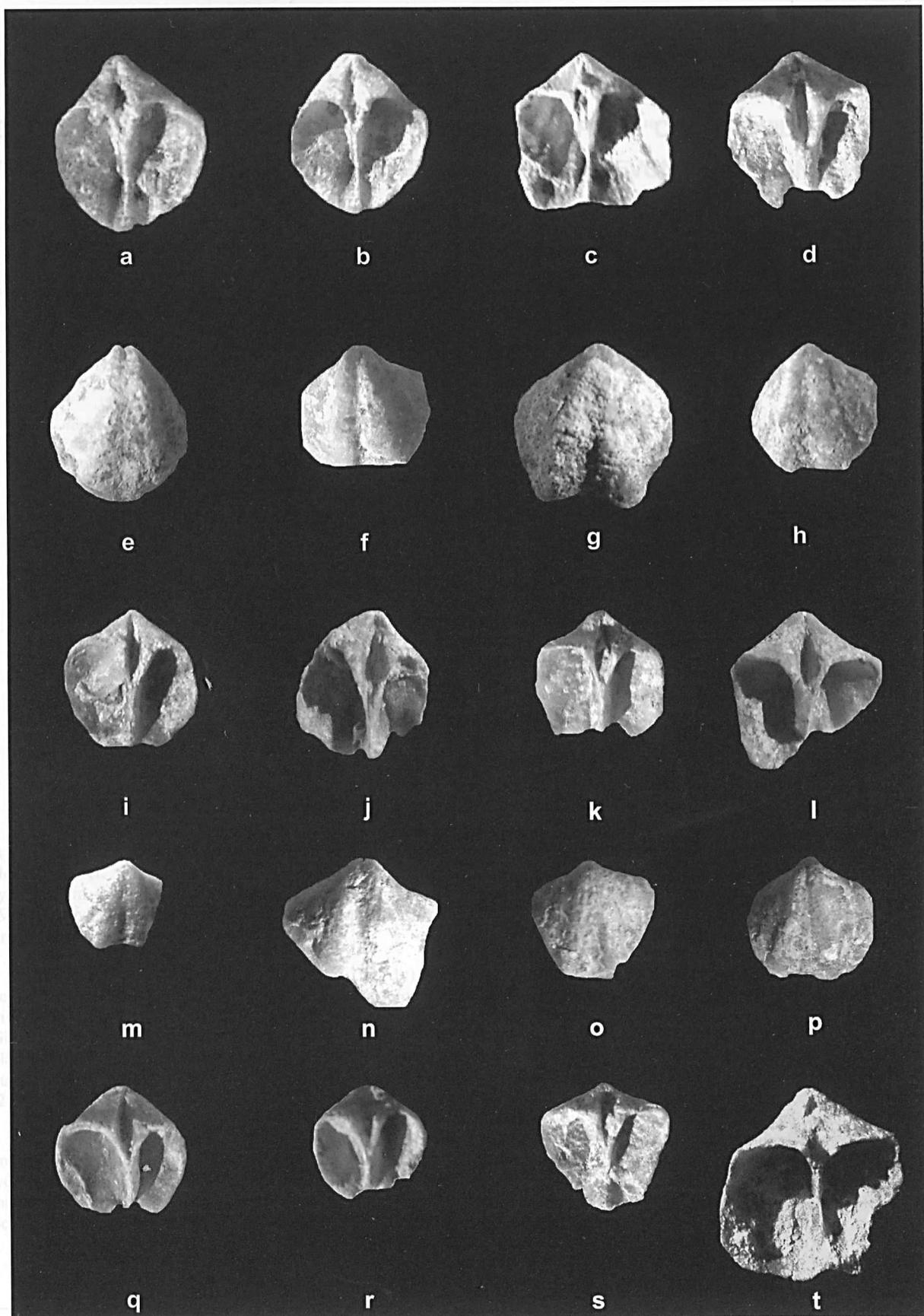
- ABOUSSALAM Z. S., BECKER T. R., BOCKWINKEL J., EBBIGHAUSEN V. (2004). — Givetian biostratigraphy and facies development at Oufrane (Tata region, eastern Dra Valley, Morocco). In A. EL HASSANI (Ed.). Devonian Neritic-Pelagic Correlation and Events in the Dra Valley (Western Anti-Atlas Morocco). *Document de l'Institut Scientifique*, Rabat, 19: 71-78.
- AGER D. V. (1963). — Principles of Paleocology. *McGraw-Hill Book Company*, London: 370 p.
- BALINSKI A. (1999). — Brachiopods and conodonts from the Early Carboniferous of South China. *Acta Palaeontologica Polonica*, Warszawa, 44-4: 437-451.
- BARRANDE J. (1848). — Ueber die Brachiopoden der silurischen Schichten von Boehmen. *Abhandlugen Haidingers naturwiss.*, 1: 357-475.
- BECKER T. R., JANSEN U., PLODOWSKI G., SCHINDLER E., ABOUSSALAM S. Z. & WEDDIGE K. (2004). — Devonian litho- and biostratigraphy of the Dra valley area. An overview. In A. EL HASSANI (Ed.). Devonian Neritic-Pelagic Correlation and Events in the Dra Valley (Western Anti-Atlas Morocco) *Document Institut scientifique*, Rabat, 19: 3-18.
- BITAM L., GOURVENEC R. ET ROBARDET M. (1997). — Les formations paléozoïques anté-carbonifères du sous-bassin de Djebilet (flanc sud du Bassin de Tindouf, nord-ouest du Sahara algérien). *Mémoires du Service Géologique de l'Algérie*, 8, 6 annexes (1996) : 91-111.

- BOUCOT A. J. (1975). — Evolution and extinction rate controls. Developments in Palaeontology and Stratigraphy 1. *Elsevier Scientific Publishing Company*: 411 p.
- BOUMENDJEL K., MORZADEC P., PARIS F., PLUSQUELLEC Y., BRICE D., COPPER P., GOURVENNEC R., JAHNKE H., LARDEUX H., LE MENN J., MELOU M. & RACHEBOEUF P. R. (1997). — Les faunes du Dévonien de l'Ougarta (Sahara occidental, Algérie). *Annales de la Société Géologique du Nord*, 5 (2^{ème} série) : 89-116.
- BOURGEAT E. (1907). — Sur les fossiles de petites tailles. *Annales de la Société scientifique de Bruxelles*. 31, 2^{ème} partie : 1-6.
- BRICE D. (2008). — What are the causes and palaeoecological significance of small-sized samples of marine invertebrates. *International Congress Palaeozoic Climates*, August 25-29th, 2008 Lille, France. Poster. Abstract: 18.
- BULTYNCK P. & HOLLARD H. (1980). — Distribution comparée de conodontes et goniatites dévoniens des plaines du Dra, du Ma'der et du Tafilalt (Maroc). *Aardkundige Mededelingen*, Leuven 1 : 72 p.
- DROT J. (1964). — Rhynchonelloidea et Spiriferoidea siluro-dévoniens du Maroc pré-saharien. Notes et Mémoires Service Géologique du Maroc, 178 : 1-287.
- DROT J. (1969). — Clorindinae (Pentamerida) dévoniens du Maroc présaharien. *Notes et Mémoires Service Géologique du Maroc*, 29 (213) : 33-42.
- EBBIGHAUSEN V., BOCKWINKEL J., BECKER T. R., ABOUSSALAM Z. S., BULTYNCK P., EL HASSANI A. & NÜBEL H. (2004). — Late Emsian and Eifelian stratigraphy at Oufrane (Tata region, eastern Dra Valley, Morocco). In A. EL HASSANI (Ed.). *Devonian Neritic-Pelagic Correlation and Events in the Dra Valley (Western Anti-Atlas Morocco)*. Document de l'Institut Scientifique, Rabat, 19: 57-70.
- GEVIN P. (1948). — La série paléozoïque d'Aouinet Legraa (Sahara occidental). *Bulletin Société géologique de France*, 5, 18 : 369-381.
- GEVIN P. (1960). — Etudes et reconnaissances géologiques sur l'axe cristallin Yetti-Eglab et ses bordures sédimentaires. Première partie : bordures sédimentaires. *Bulletin du Service de la Carte géologique de l'Algérie* (nouv. série), 23 : 1-328.
- GEVIN P. (1962). — Carte géologique 1/500.000 Tindouf-Eglab. 2^{ème} édition. *Service de la Carte géologique de l'Algérie*.
- GEVIN, P. ET MONGEREAU N. (1968). — Précisions sur l'âge des grès « cambro-ordoviciens » d'Aouinet Legraa (région de Tindouf, Sahara occidental). *Comptes Rendus Sommaires de la Société géologique de France* : 263-264.
- GUERRAK S. (1987). — Etudes des minerais de fer oolithiques du Paléozoïque saharien. *Thèse Doctorat d'état*, Université de Rennes I : 422 p. (inédit).
- HALLAM A. (1965). — Environmental causes of stunting in living and fossil marine benthonic invertebrates. *Palaeontology*, 8-1: 132-155.
- HOLLARD H. (1968). — Le Dévonien du Maroc et du Sahara nord-occidental. In D. H. Oswald (Ed.), *International Symposium Devonian System*, Calgary, 1967. *Alberta Society of Petroleum Geology*, Calgary, 1: 203-244.
- HOLLARD H. (1978). — Corrélations entre niveaux à brachiopodes et à goniatites au voisinage de la limite Dévonien inférieur – Dévonien moyen dans les plaines du Dra (Maroc Présaharien). *Newsletters on Stratigraphy*, 7 (1): 8-25.
- HOUSE M. R. (2002). — Strength, timing, setting and cause of mid-Palaeozoic extinctions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Elsevier, 181: 5-25.
- KHODALEVITCH A. N. (1951). — Nizhnedevonskie i Eifel'skie Brakhiopody Sverlovskii Oblasti. *Sverlovskii Gornii Institut, Trudy*, 18: 1-169.
- LEGRAND PH. (1969). — Découverte de Graptolithes entre Gara Djebilet et Aouinet Bel Legra (Synécise de Tindouf, Sahara Algérien). *Bulletin Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*, 59 : 115-126.
- LEGRAND PH. (1981). — Essai sur la Paléogéographie du Silurien au Sahara algérien. *Notes et Mémoires, Compagnies Française du Pétrole*, 16 : 9-24.
- LEGRAND-BLAIN M; (2000). — A late Famennian brachiopod fauna in volcanogenic environment, Morvan, northeast Massif Central, France. *The Millenium Brachiopod Congress*, 10th-14th July 2000, London, Abstract.
- LE MAITRE D. (1952). — La faune du Dévonien inférieur et moyen de la vallée de la Saoura et des abords de l'Erg el Djemel (Sud Oranais). *Mémoire de la Carte géologique de l'Algérie*. 12 : 1-170.
- LOTTMANN J. (1991). — Die *pumilio*-Events. *Göttingen Arb. Geol. Paläont.*, 48: 1-98.
- MANCINI E. A. (1978). — Origin of micromorph faunas in the geological record. *Journal of Paleontology*, 52 (2): 311-322.
- MA XUEPING & SUN YUANLIN (2001). — Small-sized cyrtospiriferids from the Upper Devonian (late Frasnian) of central Hunan, China. *Journal of the Czech Geological Society*, 46/3-4: 161-168.
- MA XUEPING, SUN YUANLIN HAO WEICHANG & LIAO WEIHUA (2002). — Rugose corals and brachiopods across the Frasnian-Famennian boundary in central Hunan, South China. *Acta Palaeontologica Polonica*, Warszawa, 47-2: 373-396.
- M'COY F. (1844). — A Synopsis of the characters of the Carboniferous Limestone. Fossils of Ireland. *University Press by M. H. Gill*, Dublin: 207 p.
- MAILLIEUX E. (1936). — La faune des Schistes de Matagne. *Mémoires du Musée royal des Sciences Naturelles de Belgique*, Bruxelles, 77 : 74 p.
- OUALI MEHADJI A., ELMI S., RACHEBOEUF P. R., MEKAHLI L. (2004). — Caractéristiques et signification d'un niveau majeur à brachiopodes. Marqueur événementiel dans l'évolution dévonienne de la Saoura (Sahara du Nord-Ouest, Algérie). *Compte Rendu Géosciences*, 336 : 1283-1292.
- PEETZ H. VON (1901). — Beiträge zur Kenntniss der Fauna aus den devonischen Schichten am Rande den Steinkohlenbassins von Kuznets. *Travaux Section géologique cabinet de la Majesté Saint Petersburg* : 394 p.
- RACHEBOEUF P. R. (1992). — Les brachiopodes, (Paléo) bio-indicateurs de la bathymétrie ? Essai de bilan. *Paléovox*, 1 : 31-48.
- RACKI G., GLUCHOWSKI E., MALEK J. '(1985). — The Givetian to Frasnian Succession at Kostomoloty in the Holy Cross Mountains, and its Regional Significance. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Earth Sciences*, 33(3-4): 159-171.
- RZHONSNITSKAIA M. (1975). — Biostratigrafia Devona okrain Kuznetckogo baccéina, 2: Opicanie brakhiopod. *NEDRA* : 232 p.
- SAPELNIKOV V. P. (1981). — Sistema i filogeniia nadsemeistva Gypidulacea (Brachiopoda). In V. P. SAPELNIKOV (Ed.), *Biostratigrafia i fauna srednego paleozoiia: Urala. Akademia Nauk SSSR*, Sverlovsk : 3-26

- SAPELNIKOV V. P. & L. I. MIZENS (2000). — Brachiopods of Lower and Middle Devonian deposits of the western slope of the Middle Urals. *Urals Branch of Russian Academy of Sciences. Publ. House, Ekaterinburg*: 173 p.
- SCHUCHERT CH. & G. A. COOPER (1931). — Synopsis of the brachiopod genera of the suborders Orthoidea and Pentameroidea, with of the Telotremata. *American Journal of Science*, serie 5, 22: 241-255.
- SCHUCHERT CH. & C. M. LE VENE (1929). — Brachiopoda (Generum and Generotyporum Index et Bibliographia. In J. F. Pompeckj (Ed.). *Fossilium Catalogus*, vol. 1 Animalia. Pars 42. *W. Junk*, Berlin: 140 p.
- STRUVE W. (1995). — Die Riesen-Phacopiden aus dem Maïder, SE-marokkanische Prä-Sahara. *Senckenbergiana lethaea*, Frankfurt, 75 (1/2): 77-129.
- TASCH P.(1953). — Causes and Paleocological significance of dwarfed fossil marine invertebrate. *Journal of Paleontology*, 27 (3): 356-444.
- TERMIER G. & TERMIER G. (1950). — Paléontologie marocaine. Partie 2. Invertébrés de l'ère Primaire. *Notes et Mémoires, Paléontologie marocaine*, 77 (2) : 253 p.
- TERMIER G. & TERMIER G. (1952). — Histoire géographique de la Biosphère. La Vie et les Sédiments dans les géographies successives, *Masson*, Paris : 709 p.
- TERMIER G. & TERMIER G. (1954). — Sur les conditions de formation des faunes pyritisées. *Comptes rendus sommaires de la Société Géologique de France*, Paris : 86-88.
- WALLISER O. H. (1996). — Global Events in the Devonian and Carboniferous. In WALLISER O.H. (Ed.) *Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic*, Springer: 225-250.

EXPLICATIONS DE LA PLANCHE IV
EXPLANATIONS OF PLATE IV

- Fig. 1 a-t. —? *Gypidula* sp.: Valves pédonculaires de Pentamerida Gypidulinae de Gara Djebilet (SSE de Tindouf), x 4
- a-d; i-l; q-t : vues internes de 12 valves pédonculaires de tailles différentes.-Notez la forme du spondylium, la longueur de l'important septum médian;
- e-h, m, o-p : vues externes de 7 valves pédonculaires (l et n désignant le même spécimen) montrant le large bourrelet divisé par un sillon médian. Certaines valves (h, m, n) possèdent une faible côte latérale sur un seul flanc (gauche ou droit), plusieurs valves (c, d, k, l, r, t) sont incomplètes au bord antérieur.
- Fig. 1 a-t. —? *Gypidula* sp.: Pedicle valves of Pentamerida Gypidulinae from Gara Djebilet (SSE) Tindouf, x 4
- a-d; i-l; q-t : internal views of 12 of variably sized pedicle valves. Note the spondylium shape and the very developed and important median septum;
- e-h, m, o-p: external views of 8 pedicle valves (l and n corresponding to the same specimen) with large fold divided by a median groove. Some of them (c, d, k, l, r, t) are incomplete at the anterior part, other ones (h, m, n) have an obsolete rib either on the left or right flank.



(*) Laboratoire de Paléontologie stratigraphique, ILSI - ISA, Géosystèmes (UMR 517), 41 rue du Port, 59046 Lille cedex France. E-mail: benoit.huber@univ-lille.fr ou benoit@univ-lille.fr

DETAILED LITHOLOGY AND FAUNAL OCCURRENCE OF THE “CUL D’HOUILLE” SECTION AT FLOHIMONT – ARDENNES (GIVETIAN, MIDDLE DEVONIAN, N. FRANCE).

Lithologie détaillée et distribution faunique de la coupe du « Cul d’Houille » à Flohimont – Ardennes françaises (Givétien, Dévonien moyen).

par Benoît L. M. HUBERT (*) & Emilie PINTE (*)

Résumé. — Le Givétien (Dévonien moyen) de l’Ardenne méridionale se caractérise par six formations (depuis la Formation d’Hanonet p. p. jusqu’à celle de Nismes p. p.). La coupe du « Cul d’Houille », située dans la partie méridionale des Ardennes françaises, permet d’observer la série sédimentaire depuis la partie médiane de la Formation du Mont d’Hairs jusqu’à la Formation de Fromelennes (à l’exception de la partie terminale du Membre du Fort Hulobiet et de la base de la Formation de Nismes). Ce travail présente les colonnes stratigraphiques détaillées des sections de coupes situées le long de la rivière « Houille », ainsi que la distribution et l’abondance des principaux groupes fossiles, observées *in situ* et en microfaciès.

Abstract. — The Givetian (Middle Devonian) of the southern Ardennes is divided into six formations (from the Hanonet Formation p. p. to the Nismes Formation p. p.). The “Cul d’Houille” section located in the southern part of the Ardennes (France) exposes a stratigraphic interval from the middle part of the Mont d’Hairs Formation to Fromelennes Formation (except for the uppermost part of the Fort Hulobiet Member and the Nismes Formation p. p.). This paper describes the sections in detail (bed by bed) and reports new data on the occurrence and abundance of macro- and microfauna.

I. — INTRODUCTION

The “Cul d’Houille” section (50°07’07’’N – 04°51’17’’E) is located near Flohimont (France), on the western side of the Houille River, at the southern border of the Dinant synclinorium (fig. 1a). The section exposes Givetian series (Middle Devonian) from the Mont d’Hairs Formation to the Fromelennes Formation (fig. 1b).

The present paper describes the lithology (fig. 1c), the occurrence and relative abundance of the main macro- and microfaunas and therefore represents a new contribution to the Givetian database (that describes, bed by bed diverse sections placed in the southern border of the Dinant synclinorium published by HUBERT (2008a, b) and HUBERT & MABILLE (2009)).

The section is 236 metres thick (with about 70 metres of non-observed section) and more than 500 lithological samples were collected for thin sections analyses. The collected material is housed in the collections of the Faculté Libre des Sciences et Technologies (FLST), Lille.

II. — PREVIOUS RESEARCH

In the Ardennes region, the “Cul d’Houille” section is regularly cited (COEN & COEN-AUBERT 1971; COEN-AUBERT 1991) but only few authors have described in detail the outcrops (Tab. I).

BULTYNCK (1974) mentioned briefly the lithology of upper part of the Flohimont Member and the Moulin Boreux Member in the “Cul d’Houille” section (the upper part of the Mont d’Hairs Formation and the lower part of the Fromelennes Formation were described from the Fromelennes outcrops along the local road D46).

CORNET (1975) focused his work on the Moulin Boreux Member, and interpreted the rhythmic sedimentation of the basin as five sequences (located on the figs. 2 to 7). He correlated this sequential stratigraphic framework with the distribution of stromatoporoids and compared these results with other Devonian sections. His conclusions pointed out the continuous distribution of most of stromatoporoid species from the base to the top of the Givetian.

(*) Laboratoire de Paléontologie stratigraphique, FLST – ISA, Géosystèmes UMR 8157, 41 rue du Port, 59046 Lille cedex, France. E-mail : benoit.hubert@icl-lille.fr; emilie.pinte@icl-lille.fr

	MDH		FRO			Sa.
	Th (m)	Formation (m)	Formation (m)			
			Flo. Mb.	M. Bor. Mb.	F. Hul. Mb.	
BULTYNCK 1974	~ 83.5	-	13.5	70	-	30
CORNET 1975	72.5	-	-	72.5	-	40
PRÉAT & CARLIEZ 1994	76	-	-	76	-	284
HUBERT & PINTE this paper	236	87	36	85	28	505

Tab. 1.— Historical data. — Th: Thickness of the section — MDH Fm.: Mont d’Haur Formation — FRO Fm.: Fromelennes Formation — Flo. Mb.: Flohimont Member — M. Bor. Mb.: Moulin Boreux Member - F. Hul. Mb.: Fort Hulobiet Member — Sa: Number of collected samples.

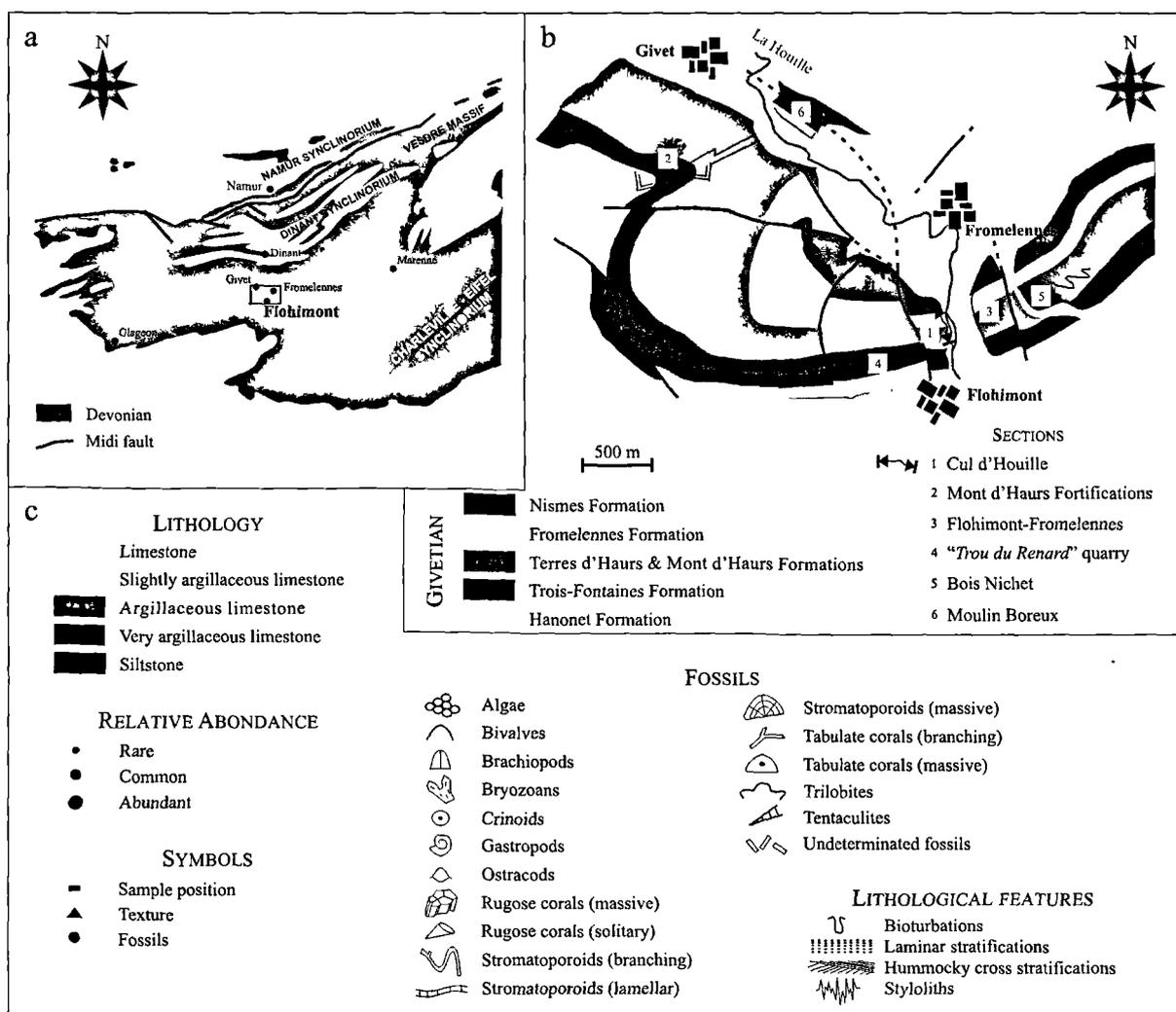


Fig. 1. (a). — Geological map of the southern flank of the Dinant Synclinorium - (b) Location of the “Cul d’Houille” section at Flohimont - (c) Legend of figures.

Fig. 1. (a). — Carte géologique schématique des terrains dévoniens du bord sud du de Dinant Synclinorium - (b) Localisation de la coupe du « Cul d’Houille » à Flohimont - (c) Légende.

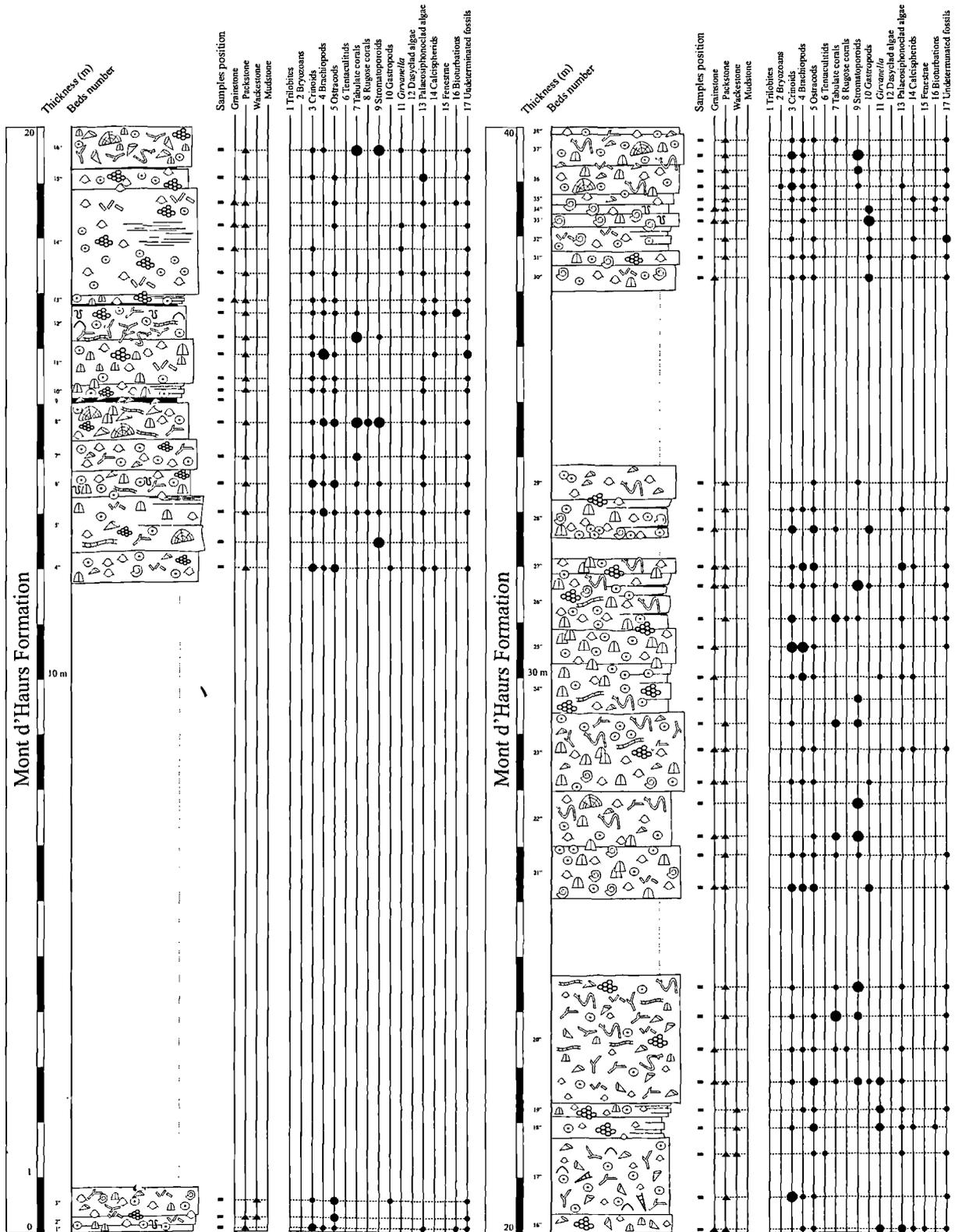


Fig. 2. — Detailed lithology of the succession from 0 to 40 m (Mont d'Hours Formation).

Fig. 2. — Lithologie détaillée de 0 à 40 m (Formation du Mont d'Hours).

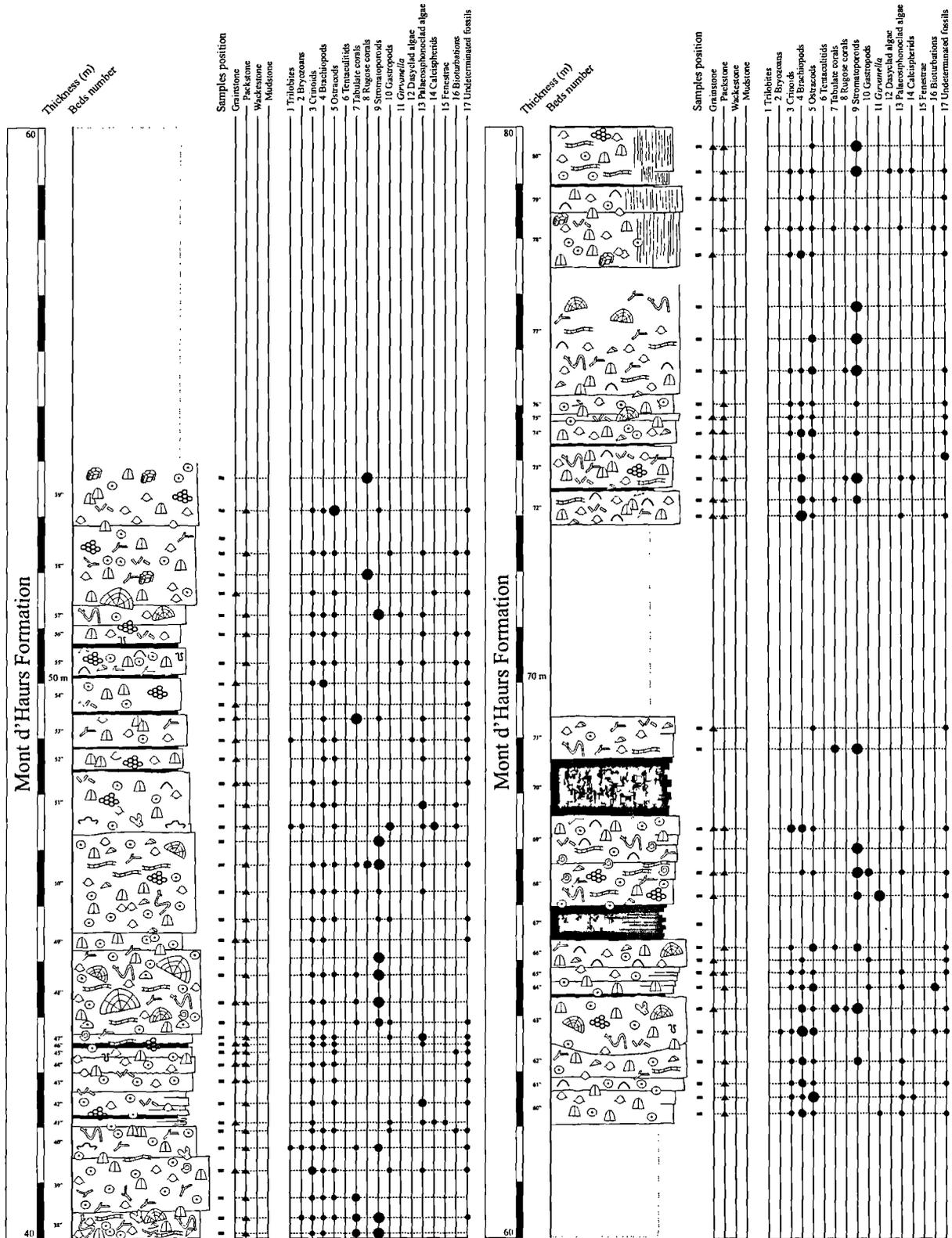


Fig. 3. — Detailed lithology of the succession from 40 to 80 m (Mont d'Hairs Formation).

Fig. 3. — Lithologie détaillée de 40 à 80 m (Formation du Mont d'Hairs).

PRÉAT & CARLIEZ (1994) described the microfacies of the Moulin Boreux Member, focused their study on the meter-scale sedimentary cycles and interpreted them at a larger scale sequence (fifth order) to estimate changes of the relative sea-level.

III. — LITHOLOGY

The “Cul d’Houille” section exposes a large part of the Mont d’Hairs Formation and the quasi-totality of the Fromelennes Formation. The sedimentary series present a sub-vertical bedding (N075 – 70°E). The description is made from the bottom to the top. The authors introduce the term “sedimentary bias” to describe the parts of sections where the sedimentary series are not observed due to the vegetation.

1) The Mont d’Hairs Formation

The Mont d’Hairs Formation is 87 metres thick (about 20 metres are not observed).

0 m to 1 m: Three fine-grained and grey-blue decimetres-thick limestone beds, slightly crinoidal and poorly bioclastic (reworked bioclasts, brachiopods and rare ostracods).

1 m to 11.5 m: Sedimentary bias.

11.5 m to 24.5 m: Massive, bluish limestone, rarely interbedded with centimetres-thick siltstone intercalations. In some levels, limestone is slightly argillaceous and bedded. Beds-number 8”, 16” and 20”, vary from 0.5 to 2 metres-thick, and they consist of biostromal level, rich in branching tabulates and stromatoporoids and solitary rugose. The fauna is diversified and relatively abundant.

24.5 m to 26 m: Sedimentary bias.

26 m to 34 m: Massive, light blue-grey at the base and dark at the top (metres-thick) crinoidal and bioclastic limestone, rich in brachiopods, ostracods, gastropods and algae. Some levels contain branching corals and stromatoporoids (Amphiporids).

34 m to 37 m: Sedimentary bias.

37 m to 54 m: From 37 to 43 metres, bluish, thin bedded limestone (0.05 to 0.5 metre-thick), slightly argillaceous. The upper part (43 to 54 metres) consists of massive grey-blue limestone with siltstone intercalation. The faunal composition is an alternation of rich and large reefal faunas (equivalent to a biostromal level, massive – lamellar – branching stromatoporoids, branching tabulate and solitary rugose) with small brachiopod – ostracods – gastropods assemblage.

54 m to 62 m: Sedimentary bias.

62 m to 69.5 m: 3 metres of blue crinoidal limestone (decimetres-thick) containing mainly brachiopods and ostracods and slightly lamellar stromatoporoids and branching tabulates. The upper part consists of an alternation of massive limestone rich in corals and stromatoporoids (biostrome), and strongly argillaceous bedded limestone.

69.5 m to 73 m: Sedimentary bias.

73 m to 75 m: Massive dark limestone delimited by irregularly undulated surface and with siltstone interbeddings. Fauna is represented by microbioclastic assemblage (bivalves, ostracods, etc).

75 m to 81.5 m: 4 massive weathered grey-blue limestone banks, bedded, with brachiopods, ostracods and lamellar stromatoporoids, and interrupted by centimetres-thick siltstone beds.

81.5 m to 87 m: About 6 metres of reefal limestone with domal, branching and lamellar stromatoporoids and tabulates.

2) The Fromelennes Formation

The Fromelennes Formation is 148.5 metres-thick in the “Cul d’Houille” section. The boundary between the different members of the Fromelennes Formation are particularly unclear, mainly because the presence of numerous sedimentary biases. The change of facies between each member is evident but limits are blurred or non existing. Thus, we have preferred to locate the borders following the previous estimations (BULTYNCK *et al.* 1991).

a) Flohimont Member

87 m to 94.5 m: Alternation of bedded limestone with laminations and feebly argillaceous limestone. The faunal assemblage is principally composed of brachiopods and reefal organisms, following this of gastropods, trilobites and bryozoans.

94.5 m to 103.5 m: Sedimentary bias.

103.5 m to 107.5 m: Shales and nodular shales interrupted rarely by tectonically engaged limestone (ie fault zone) containing rare solitary rugose corals and overlain by 2 metres of bedded limestone rich in gastropods, bryozoans and trilobites.

107.5 m to 119.5 m: Sedimentary bias.

117.5 m to 119.5 m: Nodular limestones with siltstone intercalations.

119.5 m to 123 m: Sedimentary bias.

b) Moulin Boreux Member

123 m to 127 m: Sedimentary bias.

127 m to 133 m: Succession of massive, light bluish dolomitic limestones (decimetres-thick), with rare bioclastic traces (brachiopods, bioturbations and algae).

133 m to 140 m: Massive dolomitic and crinoidal, dark-blue limestones (metres-thick) containing mainly branching tabulates and branching and lamellar stromatoporoids.

140 m to 149.5 m: Succession of thin (centimetres to decimetres-thick) grey-blue limestone, slightly argillaceous, splitted, with regular undulated surface, laminations and styloliths. Diversity and abundance of the fauna increases, and is mainly associated with the reefal environment (stromatoporoids, tabulate and rugose corals).

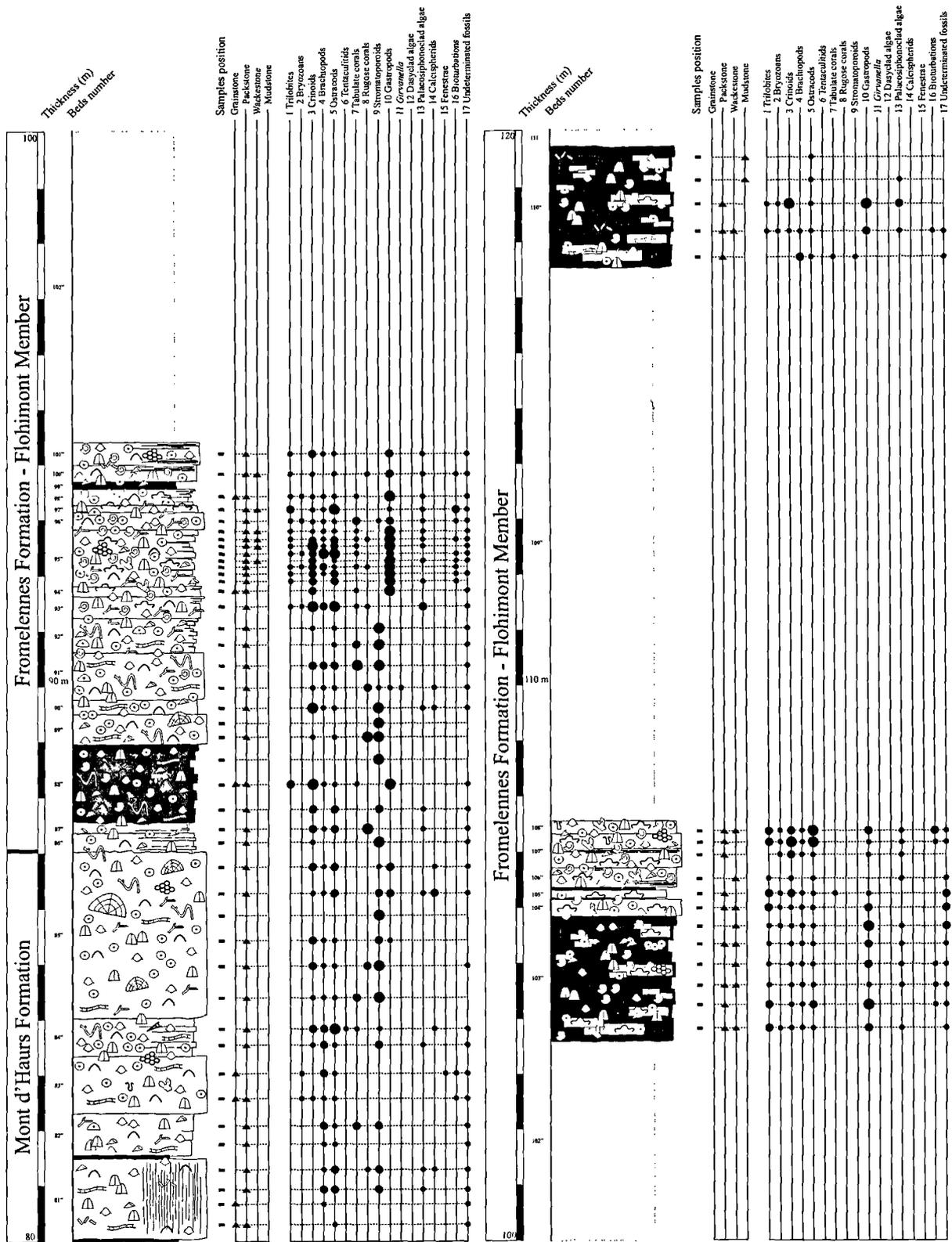


Fig. 4. — Detailed lithology of the succession from 80 to 120 m (Mont d'Hours and Fromelennes (Flohimont Member) Formations).

Fig. 4. — Lithologie détaillée de 80 à 120 m (Formations du Mont d'Hours et de Fromelennes (Membre de Flohimont)).

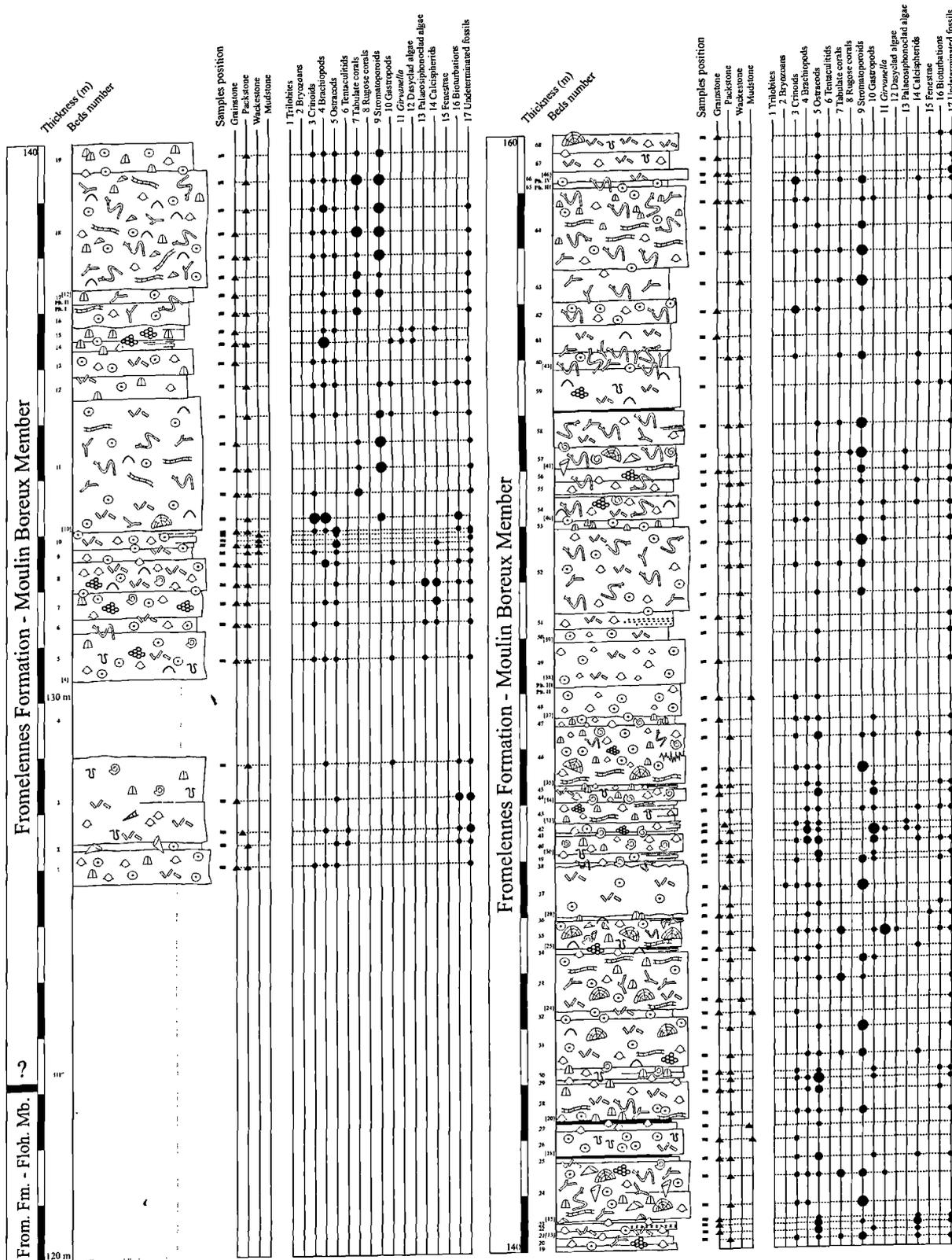


Fig. 5. — Detailed lithology of the succession from 120 to 160 m (Fromelenes Formation - Flohimont and Moulin Boreux Members).

Fig. 5. — Lithologie détaillée de 120 à 160 m (Formation de Fromelenes - Membres de Flohimont et du Moulin Boreux).

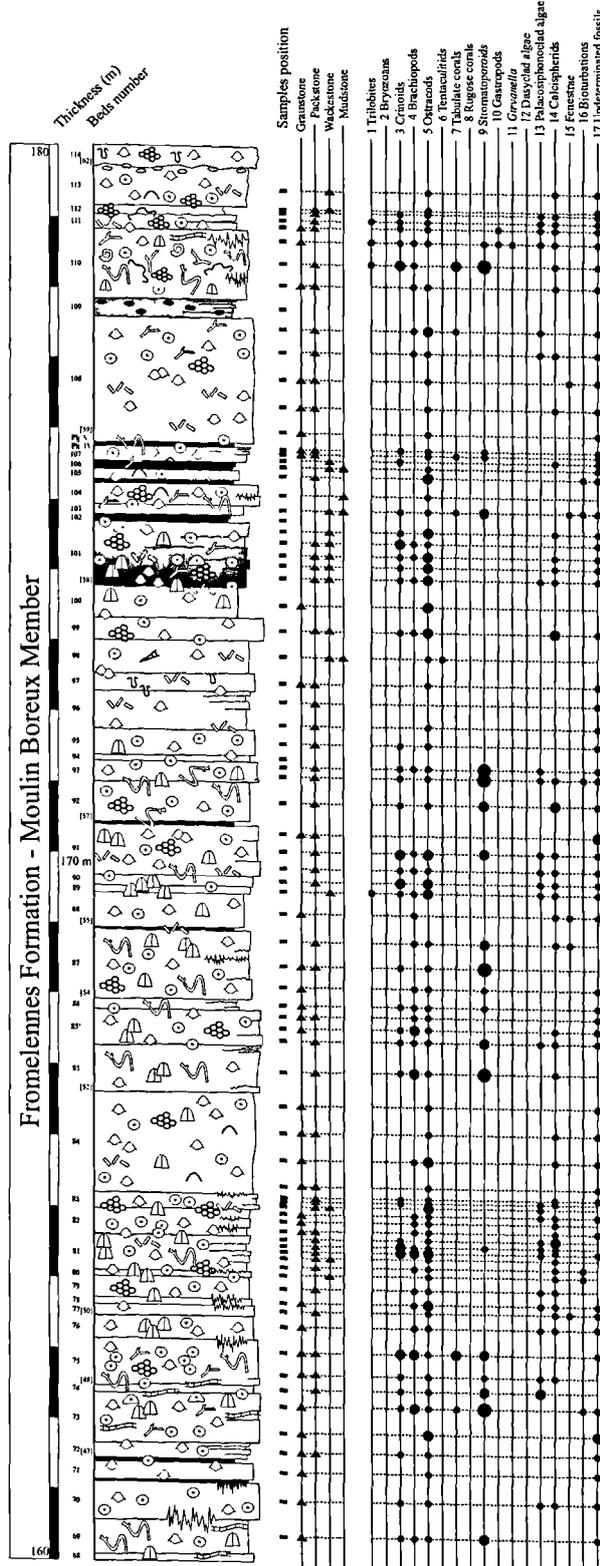


Fig. 6. — Detailed lithology of the succession from 160 to 180 m (Fromelennes Formation - Moulin Boreux Member).

Fig. 6. — Lithologie détaillée de 160 à 180 m (Formation de Fromelennes - Membre du Moulin Boreux).

149.5 m to 160 m: Massive dolomitized light grey-blue limestone, decimetres to metres-thick (0.2 – 1.5 m), marked by a decrease of the abundance of the fauna, which consists of branching corals, stromatoporoids (*Stachyodes* and *Amphipora*), brachiopods, gastropods and crinoids.

160 m to 178 m: 6 last metres of slightly argillaceous limestone (decimetre to metre-thick), bedded, dark grey-blue, with a progressive increase of the fauna (mainly tabulate corals). The last bed consists of argillaceous nodular limestone.

178 m to 195.5 m: Succession of massive light grey-blue limestone and slightly argillaceous grey limestone (9.5 metres-thick). The fauna is composed mainly of dendroid stromatoporoids, ostracods, gastropods and algae. The last bed (136), a metre-thick, is a biostrome with reworked massive stromatoporoids.

2 metres of coralliferous limestone and siltstone interbeds (exposed in the section and a small cave). The fauna is rich, well diversified and consists of stromatoporoids (massive, lamellar and dendroid), tabulates (massive and branching) and solitary rugoses.

6 metres of massive light grey limestone, containing rich and well diversified fauna. The fauna consists of large stromatoporoids, tabulate and rugose corals.

7 metres composed of massive limestone, light grey-blue, with rare reworked corals, stromatoporoids (dominating), algae and coquina beds.

The first 5 metres consist of thin grey-blue limestone, marked by numerous styloliths. This part is rich in algae, brachiopods and gastropods.

195.5 m to 202.5 m: Alternation of splitted limestone and argillaceous beds (decimetres-thick), containing a rich and diversified fauna composed of bryozoans, gastropods, stromatoporoids, brachiopods, crinoids, ostracods and algae.

202.5 m to 208 m: Sedimentary bias.

c) Fort Hulobiet Member

208 m to 215.5 m: Sedimentary bias.

215.5 m to 233.5 m: Alternation of light grey-blue massive limestone (decimetres-thick) and dark bedded limestone (few centimetres thick), occasionally interrupted by argillaceous interbeddings. Fauna is rich and well diversified. The first ten metres contain mainly gastropods and brachiopods, overlain by 3 metres with abundant stromatoporoids, branching tabulate and solitary rugose corals. Finally 2 metres with abundant gastropods. Beds 199 and 209 are rich in disphyllids rugose corals and bed 211 is a bivalve-coquina bed. These three beds can be used for biostratigraphic correlations.

230.5 m to 233.5 m: Sedimentary bias.

233.5 m to 235.5 m: 2 metres of massive limestone and shale with nodular shale containing poor fauna, consisting mainly of rare brachiopods, gastropods and lamellar stromatoporoids (i.e. *Stachyodes*).

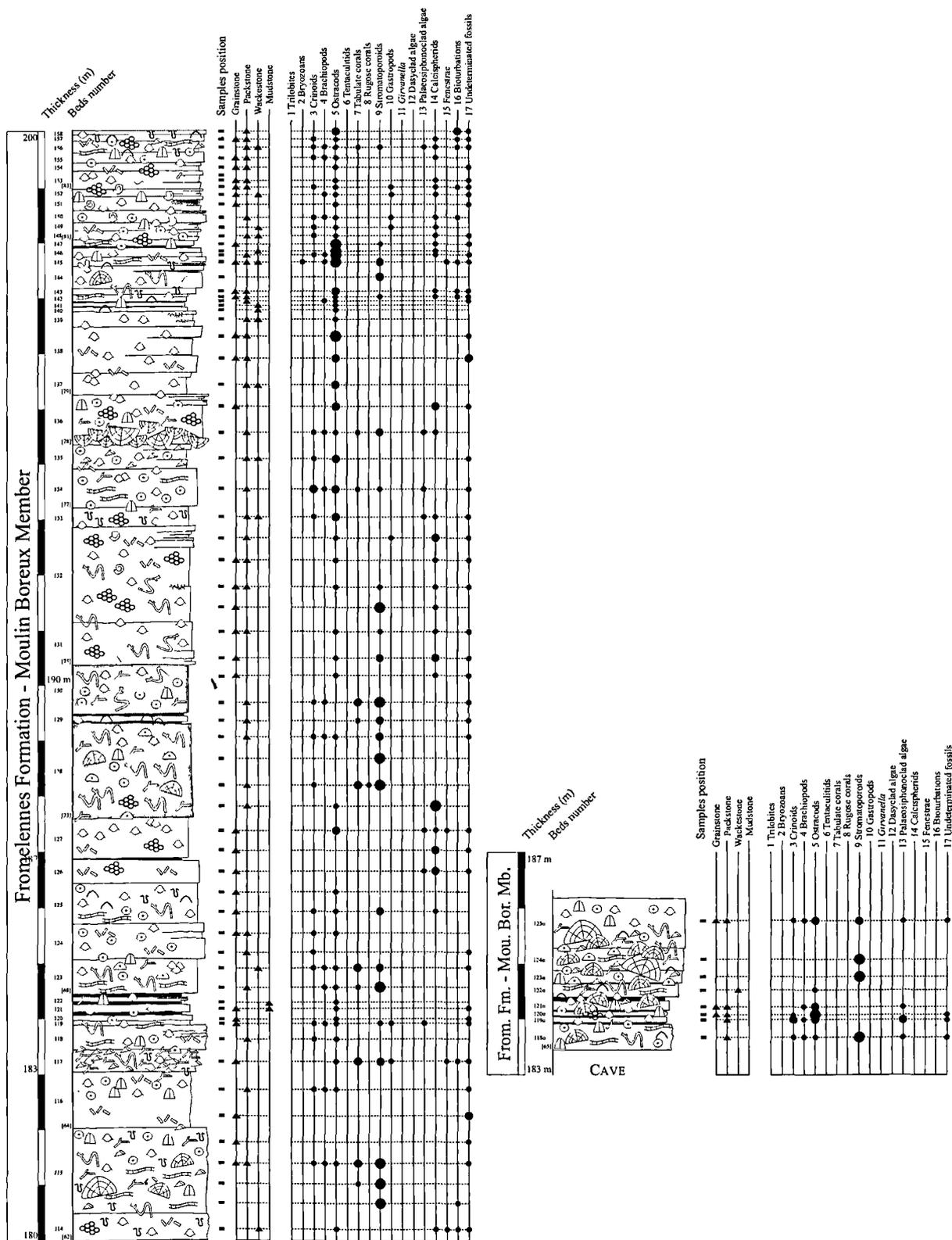


Fig. 7. — Detailed lithology of the succession from 180 to 200 m and of the lateral cave (Fromelenes Formation - Moulin Boreux Member).
 Fig. 7. — Lithologie détaillée de 180 à 200 m et de la grotte adjacente (Formation de Fromelenes - Membre du Moulin Boreux).

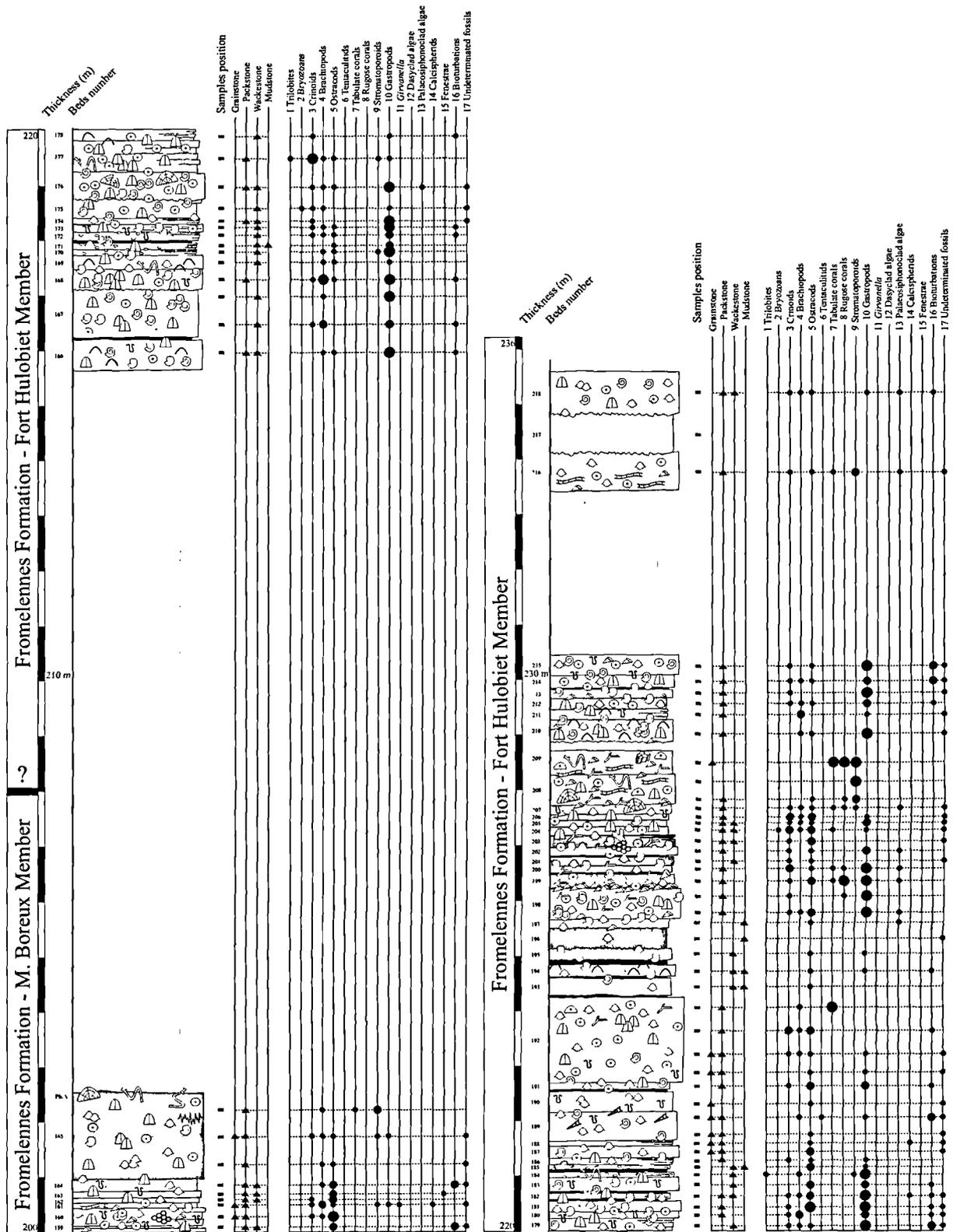


Fig. 8. — D taill e de la succession de 200   235.50 m (Fromelennes Formation - Moulin Boreux et Fort Hulobiet Members).

Fig. 8. — Lithologie d taill e de 200   235.50 m (Formation de Fromelennes - Membres du Moulin Boreux et du Fort Hulobiet).

IV. — CORRELATIONS

The Terres d’Hairs - Mont d’Hairs transition is characterised by the passage of argillaceous limestones (Terres d’Hairs Fm.) to coralliferous limestones (Mont d’Hairs Fm.). The first bank of the formation is a large biostrome, clearly visible at the “Fortification of the Mont d’Hairs” section (HUBERT 2008a) and along the D46 road (PRÉAT & TOURNEUR 1991a). At the “Cul d’Houille” section, the biostrome of the lower part of the Mont d’Hairs Formation is not observed, thereby preventing any evident stratigraphic correlation with others sections.

The limit between the Mont d’Hairs and Fromelennes (Flohimont Member) Formations is well identified at the “Cul d’Houille” section and along the D46 road (PRÉAT & TOURNEUR 1991b). It is marked by the transition between reefal limestone and argillaceous limestone and siltstone. To correlate precisely this boundary (with a biostratigraphic indicator for example), a study bed by bed needs to be performed along the road D46. This work is in progress.

The lower and upper limits of the Moulin Boreux and Fort Hulobiet Members are not clearly observed in the “Cul

d’Houille” section. Nevertheless, two beds are rich in disphyllids rugose corals and characteristic for the Fort Hulobiet Member. The bed 211 corresponds to a coquina bed, particularly rich in large bivalves; moreover a similar bed was found in the section along the D46 road. These different levels will be interesting indicators to make future correlations.

V. — CONCLUSIONS

The “Cul d’Houille” section, located along the “Houille” stream was particularly difficult to sample. Despite discontinuous outcropping conditions, the overall interpretation and correlation of the different formations can be done, thereby allowing enrichment of the sedimentological biofacies database of the Givetian limestones in Northern France.

Acknowledgements. — The authors are especially grateful to P. Deville (Laboratoire de Paléontologie stratigraphique FLST – ISA) for his help during field studies. The authors are deeply grateful to M.K. Zapalski (Institute of Paleobiology, Warszawa) and to O. Averbuch (University of Lille) for critical reading of the manuscript, and to D. Brice for her kind encouragements to perform this work.

BIBLIOGRAPHY

- BULTYNCK P., (1974). — Conodontes de la Formation de Fromelennes du Givétien de l’Ardenne Franco-belge. *Bulletin de l’Institut royal des Sciences naturelles de Belgique*, 50 (10) ; 1-30.
- BULTYNCK P., COEN-AUBERT M., DEJONGHE L., GODEFROID J., HANCE L., LACROIX D., PREAT A., STAINIER P., STEEMANS P., STREEL M. & TOURNEUR F., (1991). — Les formations du Dévonien moyen de la Belgique. *Mémoires pour servir à l’Explication des Cartes Géologiques et Minières de la Belgique*, 30, 1–106.
- COEN M. & COEN-AUBERT M., (1971). — L’assise de Fromelennes aux bords Sud et Est du Bassin de Dinant et dans le Massif de la Vesdre. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 74, 5-20.
- COEN-AUBERT M., (1991). — Formation de Fromelennes. In P. Bultynck, M. Coen-Aubert, L. Dejonghe, J. Godefroid, L. Hance, D. Lacroix, A. Preat, P. Stainier, Ph. Steemans, M. Streel & F. Tourneur (eds), Les formations du Dévonien moyen de la Belgique. *Mémoire pour servir à l’explication des Cartes Géologiques et Minières de la Belgique, Bruxelles*, 30, 61–64.
- CORNET P., (1975). — Morphogenèse, caractères écologiques et distribution des stromatoporoides dévoniens au bord sud du bassin de Dinant (Belgique). *Thèse de doctorat – Université catholique de Louvain*. Louvain la Neuve. 1-195.
- HUBERT B. L. M., (2008a). — Detailed lithology and faunal abundance of the historical Givetian section: the fortifications of the Mont d’Hairs (Givet, France). *Annales de la Société Géologique du Nord*, 15 (2ème série), 45-57.
- HUBERT B. L. M., (2008b). — Glageon Quarry: lithostratigraphy and faunal distribution in the Givetian (Middle Devonian) of Avesnois, France. *Annales de la Société Géologique du Nord*, 15 (2ème série), 67-75.
- HUBERT B. L. M. & MABILLE C. (2009). — Detailed lithology and faunal occurrence of the Marenne - East and Centre sections – Quarry (Givetian, Middle Devonian, Eastern Belgium). *Annales de la Société géologique de Belgique*, (this volume).
- PREAT A. & TOURNEUR F., (1991a). — Formation du Monts d’Hairs. In P. Bultynck, M. Coen-Aubert, L. Dejonghe, J. Godefroid, L. Hance, D. Lacroix, A. Preat, P. Stainier, Ph. Steemans, M. Streel & F. Tourneur (eds), Les formations du Dévonien moyen de la Belgique. *Mémoire pour servir à l’explication des Cartes Géologiques et Minières de la Belgique, Bruxelles*, 30, 55–59.
- PREAT A. & TOURNEUR F., (1991b). — Formation de Fromelennes. In P. Bultynck, M. Coen-Aubert, L. Dejonghe, J. Godefroid, L. Hance, D. Lacroix, A. Preat, P. Stainier, Ph. Steemans, M. Streel & F. Tourneur (eds), Les formations du Dévonien moyen de la Belgique. *Mémoire pour servir à l’explication des Cartes Géologiques et Minières de la Belgique, Bruxelles*, 30, 61–64.
- PREAT A. & CARLIEZ D. (1994). — Microfaciès et cyclicité dans le Givétien supérieur de Fromelennes (Synclinerium de Dinant, France). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 117 (1), 227-243.

Sont en vente au Siège de la Société :

MÉMOIRES (suite) (*)

Tome X	n° 2. — J. LAVERDIERE, <i>Terrains paléozoïques des Pyrénées occidentales</i> , 1931, 132 p., 8 pl.	14,00 €
Tome XII	— D. LEMAITRE, <i>Faune des calcaires dévoniens du Bassin d'Anceis</i> , 1934, 268 p., 18 pl.	30,00 €
Tome XIII	— P. BRICHE <i>et al.</i> , <i>Flore infraliasique du Boulonnais</i> , 1963, 145 p., 11 pl.	25,00 €
Tome XIV	— G. WATERLOT, <i>Les Gigantostracés du Siluro-Dévonien de Liévin</i> , 1966, 23 p., 5 pl.	7,00 €
Tome XV	— J. MANIA, <i>Gestion des Systèmes aquifères. Applications au Nord de la France</i> , 1978, 228 p.	15,00 €
Tome XVI	— A. BOUROZ <i>et al.</i> , <i>Essai de synthèse des données acquises dans la gènèse et l'évolution des marqueurs pétrographiques dans les bassins houillers</i> , 1983, 118 p., 10 pl.	20,00 €

PUBLICATIONS (*)

Publication N° 1.	— J. CHOROWICZ, <i>Etude géologique des Dinarides le long de la transversale Split-Karlovac (Yougoslavie)</i>	10,00 €
Publication N° 2.	— J. CHARVET, <i>Essai sur un orogène alpin : Géologie des Dinarides au niveau de la transversale de Sarajevo (Yougoslavie)</i>	11,00 €
Publication N° 3.	— J. ANGELIER, <i>Néotectonique de l'arc égéen</i>	11,00 €
Publication N° 4.	— J.-J. FLEURY, <i>Les zones de Gavrovo-Tripolitza et du Pinde-Olonos (Grèce continentale et Péloponnèse du Nord). Evolution d'une plate-forme et d'un bassin dans leur cadre alpin</i>	12,00 €
Publication N° 5.	— M. COUSIN, <i>Les rapports Alpes-Dinarides. Les confins de l'Italie et de la Yougoslavie</i>	12,00 €
Publication N° 6.	— F. THIEBAULT, <i>L'évolution géodynamique des Héliénides externes en Péloponnèse méridional</i>	14,00 €
Publication N° 7.	— P. DEWEVER, <i>Radiolaires du Trias et du Lias de la Téthys</i>	13,00 €
Publication N° 8.	— J. FERRIERE, <i>Paléogéographie et tectoniques superposées dans les Hellénides internes : les massifs de l'Othrys et du Pélion (Grèce continentale)</i>	14,00 €
Publication N° 9.	— H. MAILLOT, <i>Les Paléoenvironnements de l'Atlantique sud : Apport de la géochimie sédimentaire</i>	9,00 €
Publication N° 10.	— Cl. BROUSMICHE, <i>Les Fougères sphénoptériennes du Bassin Houllier Sarro-Lorrain</i>	15,00 €
Publication N° 11.	— B. MISTIAEN, <i>Phénomènes récifaux dans le Dévonien d'Afghanistan (Montagnes Centrales). Analyse et systématique des Stromatopores</i>	15,00 €
Publication N° 12.	— T. HOLTZAPFFEL, <i>Les minéraux argileux. Préparation, analyses diffractométriques et détermination</i>	6,00 €
Publication N° 13.	— J.-L. MANSY, <i>Géologie de la Chaîne d'Ormeica des Rocheuses aux plateaux intérieurs (Cordillère Canadienne). Evolution depuis le Précambrien</i>	15,00 €
Publication N° 14.	— C. BECK, <i>Géologie de la Chaîne Caraïbe au méridien de Caracas (Venezuela)</i>	10,00 €
Publication N° 15.	— J.-M. DEGARDIN, <i>Le Silurien des Pyrénées : Biostratigraphie, Paléogéographie</i>	10,00 €
Publication N° 16.	— J. SIGAL, <i>Les recherches sur les Foraminifères fossiles en France des environs de 1930 à l'immédiat après-guerre</i>	7,00 €
Publication N° 17.	— F. DELAY, <i>Etude et cartographie géologiques du Massif pyrénéen de l'Agly (Fasc. 1 : Evolution tectono-métamorphique ; Fasc. 2 : Traitement informatique des microanalyses chimiques ; Fasc. 3 : Carte géol. en couleurs 1/25000 Massif Agly)</i>	27,00 €
Publication N° 18.	— A. KHATIR, <i>Structuration et déformation progressive au front de l'allochtone ardennais (Nord de la France)</i>	11,00 €
Publication N° 19.	— C. LAMOUREUX, <i>Les mylonites des Pyrénées. Classification. Mode de formation. Evolution</i>	11,00 €
Publication N° 20.	— G. MAVRIKAS, <i>Evolution Crétacé-Eocène d'une plate-forme carbonatée des Hellénides externes. La plate-forme des Ori Valtou (Massif du Gavrovo), Zone de Gavrovo-Tripolitza (Grèce continentale)</i>	11,00 €
Publication N° 21.	— P. BRACQ, <i>Effet d'échelle sur le comportement hydrodynamique et hydrodispersif de l'aquifère crayeux, apport de l'analyse morphostructurale</i>	11,00 €
Publication N° 22.	— N. FAGEL, <i>Flux argileux du Néogène au Quaternaire dans l'Océan Indien Nord, mise en évidence et interprétation</i>	11,00 €
Publication N° 23.	— G. BUSSON <i>et A. CORNÉE</i> , <i>L'événement océanique anoxique du Cénomaniens supérieur-terminal</i>	10,00 €
Publication N° 24.	— B. LOUCHE, <i>Limites littorales de la nappe de la Craie dans la région Nord Pas-de Calais. Relations eaux souterraines-eaux superficielles-mer</i>	11,00 €
Publication N° 25.	— J.-G. BREHERET, <i>L'Aptien et l'Albien de la fosse vocontienne (des bordures au bassin). Evolution de la sédimentation et enseignements sur les événements anoxiques</i>	22,00 €
Publication N° 26.	— T. PLETSCHE, <i>Clay minerals in Cretaceous deep-water formations of the Rif and the Betic Cordillera (N. Morocco and S. Spain)</i>	10,00 €
Publication N° 27.	— E. VENNIN, <i>Architecture sédimentaire des Bioconstructions permo-carbonifères de l'Oural méridional (Russie)</i>	13,00 €
Publication N° 28.	— Actes des 1 ^{ères} journées régionales Nord/Pas-de-Calais du Patrimoine géologique.	5,00 €
Publication N° 29.	— F. LACQUEMENT, <i>L'Ardenne Varisque. Déformation progressive d'un prisme sédimentaire préstructuré ; de l'affleurement au modèle de chaîne</i>	12,00 €
Publication N° 30.	— R. PLATEVOET, <i>Diversité des formations pyroclastiques s.l. du strato-volcan du Cantal au Miocène. Elaboration d'une méthodologie de corrélation</i>	12,00 €
Publication N° 31.	— F. PELLEARD (2003) <i>Message terrigène et influences volcaniques dans les bassins de Paris et du sud-est de la France</i>	14,00 €
Publication N° 32.	— S. LALLAHEM, <i>Structure et modélisation hydrodynamique des eaux souterraines. Application à l'aquifère de la bordure nord du bassin de Paris</i>	14,00 €
Publication N° 33.	— C. DERYCKE-KHATIR (2005) <i>Microrestes de vertébrés du Paléozoïque supérieur de la Manche au Rhin</i>	14,00 €

Les membres abonnés bénéficient d'une réduction de 20% sur un exemplaire de chacune de ces publications.

Les prix sont augmentés des frais de port et d'emballage quand les volumes ne sont pas pris directement au dépôt.

(*) Tous les prix sont indiqués hors taxe.

SOMMAIRE

Tome 16 (2^{ème} série)

parution 2009

	pages
Le mot du Président.	1
Francis AMÉDRO. — la Baie de Wissant et la carrière de Lottinghen (Pas-de-Calais) : deux coupes de référence dans l'Albien du Nord de la France.	5
Alain BLIECK. — Biodiversité, environnements et évolution au Paléozoïque : le cas des vertébrés du Cambrien au Dévonien (542 à -359 ma).	19
Denise BRICE. — Révision systématique des rhynchonelles (brachiopoda) dévoniennes (Emsien – base de l'Eifelien) de Fourmies en Avesnois (N. de la France).	35
Benoît L. M. HUBERT et Cédric MABILLE. — Detailed lithology and faunal occurrence of the Marenne - East and Centre sections - Quarry (Givetian, Middle Devonian, Eastern Belgium).	47
Marie LEGRAND-BLAIN. — Brachiopodes productidina du Bashkirien Inferieur (Pennsylvanien) du Bassin Houiller du Nord de la France (collections G. Waterlot et J. Chalard).	55
Denise BRICE et Abdelkader OUALI MEHADJI. — Découverte d'une « faune naine » de pentamerida (brachiopoda dévoniens) à Gara Djebilet (flanc sud du Bassin de Tindouf) en Algérie.	69
Benoît L. M. HUBERT et Emilie PINTE. — Detailed lithology and faunal occurrence of the "Cul d'Houille" section at Flohimont – Ardennes (Givetian, Middle Devonian, N. France).	79

© 2009 Société Géologique du Nord Editeur, Lille

Toute reproduction, même partielle, de cet ouvrage est interdite. Une copie ou reproduction par quelque procédé que ce soit, photographie, microfilm, bande magnétique, disque ou autre, constitue une contrefaçon passible des peines prévues par la loi du 11 mars 1957 sur la protection des droits d'auteurs.

Imprimé en France (Printed in France)