

Société
Géologique du
Nord

ANNALES

Tome 11 (2^{ème} série), Fascicule 3
parution 2004

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 de droit une fois par mois, sauf pendant la période des vacances. Elle peut tenir des séances extraordinaires décidées par le Conseil d'Administration.
- La Société publie des Annales et des Mémoires. Ces publications sont mises en vente selon un tarif établi par le Conseil. Les Sociétaires bénéficient d'un tarif préférentiel (1).

Article 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 et mémoires originaux (texte et illustration) communiqués à la Société et destinés aux Annales doivent être remis au Secrétariat le jour même de leur présentation. A défaut de remise dans ce délai, ces communications prennent rang dans une publication postérieure.

§ 18. - Les Mémoires sont publiés par 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 1/1/2001)

	QUALITÉ	COTISATION	ABONNEMENT aux Annales	TOTAL
FRANCE et C.E.E.	Personnes physiques (2) (3)	7,62 €	25,92 € T.T.C.	33,54 €
AUTRES PAYS	Personnes physiques	7,62 €	28,98 € T.T.C.	36,60 €

Abonnement des non-membres : FRANCE et C.E.E. : 55,60 € H.T. — ÉTRANGER : 64,00 €

ANNALES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

La vente des Annales s'effectue par tomes entières aux prix suivants. Exceptionnellement, et jusqu'à épuisement du stock, certains fascicules sont en vente séparément.

Tomes I à LXXIX (manquent I, II, V à IX, XVI, XXII, XXXIV à XXXVI, XXXIX à XLIII, XLV, XLVII à LVIII).....	30,50 € H.T.
Tomes LXXX à XCV (manque XC I).....	41,20 € H.T.
Tomes XCVI à CV.....	50,30 € H.T.
Tome CVI.....	58,70 € H.T.

TABLES GÉNÉRALES DES ANNALES

Table 1 (Tomes I à XX) - Table 2 (Tomes XX à XXX) - Table 3 (Tomes XXXI à XL) - Table 4 (Tomes XLI à LXXIX)	7,65 € H.T.
Table 5 (Tomes LXXX à CIX).....	par table

Esquisse géologique du Nord de la France, par J. GOSSELET, Fascicule IV (Terrains quaternaires).....	4,40 € H.T.
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.).....	7,65 € H.T.

FASCICULES SPÉCIAUX

"Géologie du Nord de la France" (T. LXXXIX, fasc. 1).....	13,00 € H.T.
"Rupture des roches et massifs rocheux" (T. XCV, fasc. 3).....	10,65 € H.T.
"Données nouvelles sur le Paléozoïque de l'Europe occidentale" (T. XCVI, fasc. 4 et T. XCVII, fasc. 1).....	30,50 € H.T.
"Apports récents à la Géologie du Gondwana" (T. XCVII, fasc. 4).....	23,00 € H.T.
"Géologie de l'Europe, du Précambrien aux bassins sédimentaires post-hercyniens" (T. XCIX, fasc. 1).....	23,00 € H.T.
"Géologie appliquée aux problèmes d'énergie et de matières premières" (T. CII, fasc. 2).....	23,00 € H.T.
"Tectonique cassante en distension et coulissement" (T. CIII, fasc. 2-3).....	38,10 € H.T.
"Aspect de la Géologie de l'Ardenne, hommage au Professeur Beugnies" (T. CV, fasc. 2).....	19,00 € H.T.
"Paléozoïque supérieur continental" (T. CVI, fasc. 2).....	45,75 € H.T.
"Actualisation de quelques thèmes géologiques" (T. CVI, fasc. 4).....	19,00 € H.T.
"Géologie et aménagement régional" (T. CIX, fasc. 2).....	38,10 € T.T.C.
"Le Nord et son environnement géologique." (T. 2, 2 ^{me} série, fasc. 1).....	26,70 € H.T.

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

(2) Les étudiants qui en font la demande annuelle peuvent, par décision du Conseil, bénéficier d'un tarif préférentiel sur l'abonnement (12,20 €), soit un total de 19,85 €.

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

Société

Géologique du

Nord

ANNALES

Tome 11 (2^{ème} série), Fascicule 3
parution 2004

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD
59655 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX

ISSN 0767-7367

CONSEIL D'ADMINISTRATION

— 2004 —

<i>Président</i>	M. N. TRIBOVILLARD
<i>Premier Vice-Président</i>	M. A. BLIECK
<i>Seconds Vice-Présidents</i>	M. F. ROBAZYNSKI
	M. O. AVERBUCH
<i>Conseillers</i>	M. F. AMEDRO
	M ^{me} B. VAN VLIET-LANOE
	M ^{me} S. BECKARY
	M ^{me} C. DERYCKE
	M. J-L. MANSY
	M. B. MISTIAEN
<i>Secrétaires</i>	M ^{lle} C. CRONIER
	M. A. GAUTHIER
<i>Trésorier</i>	M. J.M. DÉGARDIN
<i>Déléguée aux Publications</i>	M ^{me} Paule CORSIN
<i>Bibliothécaire</i>	M. A. TRENTESAUX

CONSEIL SCIENTIFIQUE

— 2004 —

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

CONSEIL ÉDITORIAL

— 2004 —

MM. A. BLIECK, J.F. DECONINCK, J. FERRIÈRE, B. MISTIAEN et J. SOMMÉ
M^{me} Ch. VINCHON.

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

Cette année, la Société géologique du Nord a décidé de publier des résumés étendus des travaux de DEA (Diplôme d'études approfondies) soutenus en Sciences de la Terre en 2004, à l'Université des Sciences et Technologies de Lille (USTL). Les Sciences de la Terre lilloises interviennent dans deux formations doctorales principalement : le DEA "Dynamique et Environnements sédimentaires" (devenu le Master "Géosciences des Milieux sédimentaires" à la rentrée 2004) et le DEA "Biodiversité des Ecosystèmes fossiles et actuels" (devenu Master également en septembre 2004).

Les articles présentés ici sont le reflet de l'activité de recherche menée par les deux équipes labellisées en Géosciences, les unités mixtes de recherche (UMR), reconnues par le Ministère de la Recherche et le CNRS. Ces deux équipes sont l'UMR PBDS "Processus et Bilans en Environnements sédimentaires" et l'UMR LP3 "Laboratoire de Paléogéographie et Paléontologie du Paléozoïque".

En ce qui concerne l'UMR PBDS, les travaux présentés ici rendent compte des différentes facettes de l'activité de cette équipe :

- Interactions fluides - roches (bassins, sols pollués) : processus et évolution.
Y. Rubert, A. Durand

- Dynamique sédimentaire en domaines marins (transfert et dépôt de particules, enregistrements climatiques issus de carottes océaniques) : processus et messages.
A. Van Welden *et al.*, T. Sionneau *et al.*, J. Médina.

- Interactions entre activité tectonique, transfert et sédimentation, cycles tectoniques et climatiques : processus et bilans.
M. Patin, C. Joanne *et al.*, F. Delestret

Les travaux de S. Barbe *et al.*, C. Arioli *et al.*, L. Dubois *et al.*, L. Pille *et al.* rendent bien compte de l'activité de l'UMR LP3.

Bien sûr, les recherches publiées ici ne font pas état de l'ensemble des travaux menés par ces deux équipes, mais elles sont l'écho des études choisies par les étudiants de la promotion 2003-04 parmi l'ensemble des sujets qui leur étaient proposés.

Nous avons voulu rendre grâce à leur travail en permettant aux étudiants de pouvoir faire connaître leurs travaux au-delà des cercles habituellement restreints de diffusion de mémoires d'étudiants. En même temps, les lecteurs des *Annales* de la SGN auront la possibilité d'avoir un coup de projecteur sur les thématiques scientifiques qui mobilisent les Géosciences à l'USTL.

Ce numéro des *Annales* est publié par la SGN avec l'aide financière de l'école doctorale "Sciences des Matériaux, du Rayonnement et de l'Environnement", des UMR LP3 et PBDS, et de la Fédération de Recherche 1818 "Milieux naturels et anthropisés : flux et dynamique". La SGN remercie ces structures pour leur générosité et félicite les étudiants (et leurs encadrants !) pour la qualité de leurs travaux.

Nicolas Tribovillard, le 27 octobre 2004.

VARIATIONS HAUTE RESOLUTION DES APPORTS TERRIGENES DANS LE GOLFE DU LION PENDANT LA DERNIERE PERIODE GLACIAIRE : CARACTERISATION DES EVENEMENTS CLIMATIQUES RAPIDES

High Resolution of Terrigenous Input in the Gulf of Lions during the Last Glacial Period : Caracterization of Rapid Climatic Events

par A. VAN WELDEN (*), V. BOUT-ROUMAZEILLES (*), S. BERNE (**) et C. GORINI (*).

Formée à partir de L'Eocène supérieur, la marge du Golfe du Lion a été fortement érodée lors de la crise Messinienne. Sa reconstruction au cours du Quaternaire s'est effectuée sous le contrôle des cycles de glaciation-déglaciation d'une durée de 100 ka (Excentricité, Rabineau, 2001). Grâce à sa position de moyenne latitude, et à sa nature confinée, la Méditerranée est une zone idéale pour étudier les relations entre hautes et basses latitudes, tout en étant très sensible aux modifications environnementales.

Le Golfe du Lion est une zone d'étude particulièrement intéressante pour étudier l'évolution du message sédimentaire en fonction du climat. En effet la proximité de reliefs importants permet un apport sédimentaire conséquent auquel vient s'ajouter le matériel transporté par les courants marins et les vents. L'arrivée de ces sédiments, couplée à une subsidence moyenne de 240 à 260 m/Ma (Rabineau, 2001) favorise un remplissage progressif de l'espace disponible. L'importance des apports (taux d'accumulation moyen supérieur à 150 cm/ka entre 27 ka cal. BP et 14 ka cal. BP sur l'interfluve Aude-Hérault) permet l'étude des variations climatiques rapides à haute résolution par l'analyse de carottes, prélevées au cours de la campagne IMAGES V (International MARine Global changE Study). L'objectif principal de cette mission était de comprendre les mécanismes et les conséquences des changements climatiques à des échelles allant de la décennie aux variations millénaires. D'une manière générale, les sédiments déposés dans le Golfe du Lion sont principalement inféodés aux apports détritiques du Rhône, qui draine les bassins versants des Alpes. Les apports fluviaux (Pyrénéo-Languedociens), marins (courant Liguro-Provençal) et éoliens sont moindres.

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence le rôle du climat dans la dynamique des apports. Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'URM 17 (Unité de Recherche Marine) et dans le cadre de l'étude intégrée de la marge du Golfe du Lion menée au sein du GDR Marges. Il s'agit d'étudier les variations des apports terrigènes dans le Golfe du Lion en relation avec les modifications rapides qui affectent le climat. Pour cela, nous allons tenter de répondre à plusieurs questions :

Existe-t-il une signature sédimentaire des événements climatiques rapides (tels qu'ils ont pu être définis dans l'Atlantique Nord) dans le Golfe du Lion ?

Comment peut-on caractériser ces événements ?

Quelle est l'influence et la dynamique relative des différentes sources sédimentaires ?

Une analyse haute résolution est donc menée sur deux carottes : la carotte MD99-2348 sur le haut de la pente continentale, interfluve Aude-Hérault (fig. 1), et la carotte MD99-2352, prélevée sur la plate-forme interne (fig.1). Les différentes méthodes employées pour cette étude sont la granulométrie laser (MD99-2352), et la diffraction des rayons X (MD99-2348 et 2352). Les résultats ont également été comparés avec d'autres données (sismique haute résolution, palynologie, enregistrements continentaux). Les modèles d'âge sont établis à partir de données de ¹⁴C AMS.

Le Rhône draine les bassins versants alpins et collecte une partie des fleuves qui drainent les bassins versants du Massif Central. Les minéraux argileux transportés sont plutôt la chlorite et l'illite (Chamley, 1971). Les fleuves Pyrénéo-Languedociens et le courant Liguro-Provençal sont plutôt caractérisés par la smectite (Monaco, 1971) alors que les apports éoliens d'origine nord africaine sont caractérisés par la kaolinite et la palygorskite (Foucault et Mélières, 2000).

Sur la pente continentale, les événements climatiques rapides de Heinrich H1 et H2 sont enregistrés dans les variations des isotopes de l'oxygène mesuré sur des tests de foraminifères planctoniques (*G. bulloides*) à respectivement 16 et 21 ka cal. BP. Au

(*) Université de Lille 1, UMR 8110 PBDS, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex., contact : aurelien.van-welden@ed.univ-lille1.fr

(**) IFREMER, Geosciences Marines, Environnements Sédimentaires, BP 70, 29280 Plouzané Cedex.

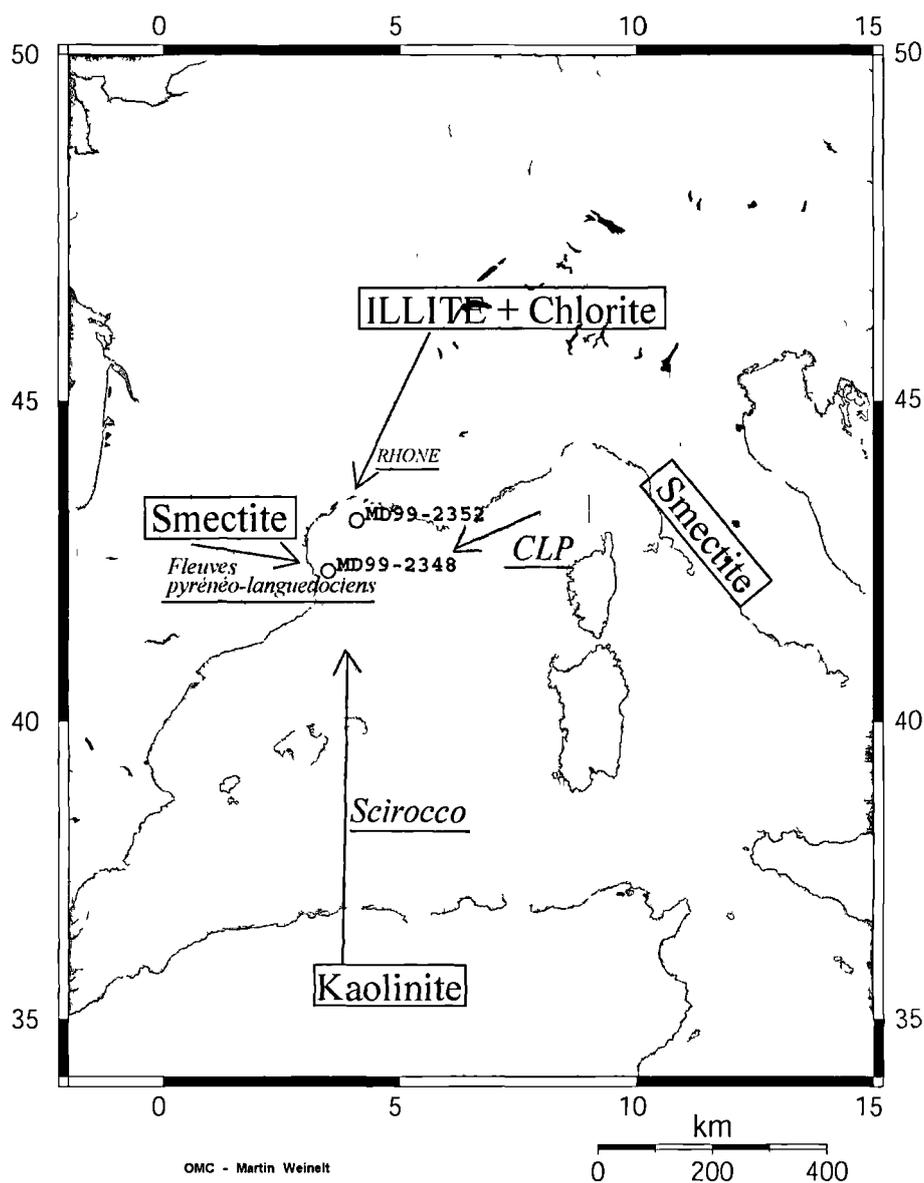


Fig. 1. — Carte de la zone d'étude mettant en évidence les sources des différents minéraux argileux ainsi que les différents agents dynamiques. Le Rhône, qui draine principalement les bassins versants alpins transporte principalement de l'illite et de la chlorite. La smectite peut être apportée par les fleuves Pyrénéo-Languedociens et par le courant Liguro-Provençal (CLP). La kaolinite est apportée d'Afrique du Nord par les vents.

cours de ces événements, on observe des variations du cortège argileux (augmentation relative des proportions de smectite et de kaolinite au détriment de la chlorite et de l'illite). Ces variations indiquent une diminution de l'influence relative du Rhône par rapport aux apports par les fleuves Pyrénéo-Languedociens et aux apports éoliens. Des variations haute fréquence dans le cortège argileux ainsi qu'un point particulier à 24 ka cal. BP sont également observables sans qu'il soit possible de les relier à des événements climatiques particuliers. La carotte MD99-2348 est située loin de l'émissaire rhodanien actuel. La sédimentation à ce site est alors probablement plus largement influencée par les apports détritiques.

Sur le site MD99-2352, la granulométrie étudiée en relation avec la sismique permet de mettre en évidence un bas niveau marin entre 16 et 18 ka cal. BP, suivant le modèle d'âge. Le prisme de haut niveau actuel se serait mis en place depuis moins de 5000 ans. Le taux de carbonates montre une diminution progressive au cours de l'Holocène. La proportion de carbonates détritiques a été estimée à 25% (Rabineau, 2001). La diminution du taux de carbonates total jusque des valeurs inférieures à 15% indiquent une diminution des apports rhodaniens sur ce site d'étude. Les sédiments sont probablement piégés ailleurs, lors de la migration des lobes prodeltaïques vers l'est (Marsset et Bellec, 2002).

L'étude des minéraux argileux permet de mettre en évidence l'événement de Heinrich 1 (augmentation du rapport smectite/illite et diminution du rapport chlorite/kaolinite) vers 15-16 ka cal. BP. La signature sédimentaire du Bølling Allerød est

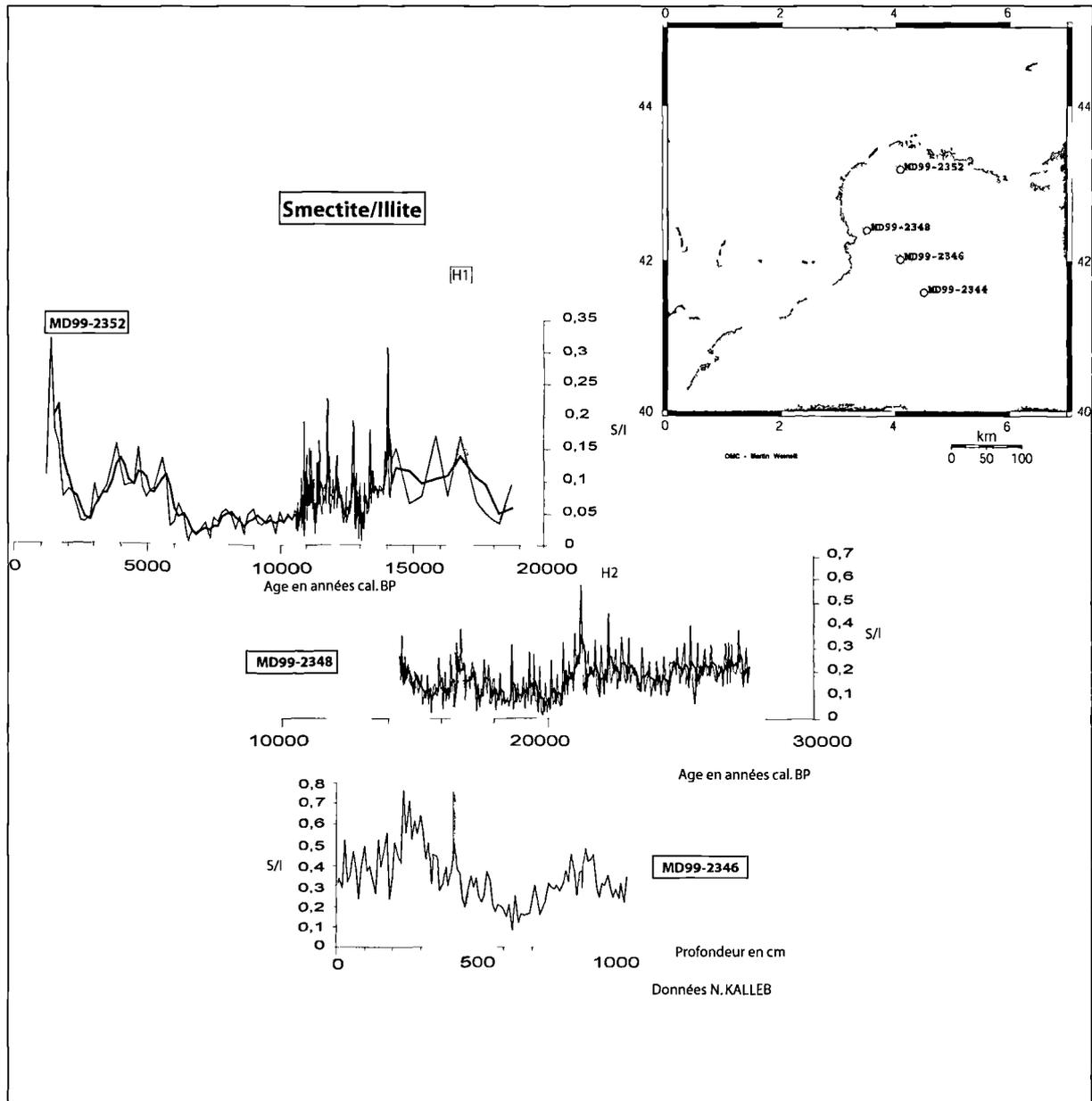


Fig. 2. — Evolution comparative du cortège argileux analysé sur le prodelta du Rhône (MD99-2352), l'interfluve Aude-Hérault (MD99-2348) et sur une ride sédimentaire (MD99-2346). On observe une évolution commune aux différents enregistrements. Lors des événements de Heinrich 1 et 2 le rapport smectite/illite (S/I) est assez important. L'influence relative rhodanienne est plus faible par rapport à celle des fleuves Pyrénéo-Languedociens au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'embouchure. Les variations du cortège argileux correspondant au Bølling Allerød sont cohérentes sur les trois carottes, indiquant qu'il ne s'agit plutôt pas d'une variation des minéraux argileux propre au Rhône, mais bien d'une augmentation des apports soit par les fleuves Pyrénéo-Languedociens, soit par le courant Liguro-Provençal.

celle d'un événement plutôt froid (rapport smectite/illite très important). Ce résultat pourrait être dû aux incertitudes du modèle d'âge ou à la dynamique propre des glaciers.

L'Holocène semble caractérisé par une diminution de l'influence relative du Rhône dans notre zone d'étude par rapport aux apports éoliens et aux apports du courant Liguro-Provençal.

Au vu de la position de la carotte, on peut également envisager une variation de la nature des apports rhodaniens.

En résumé, les résultats obtenus montrent une dominance de l'illite et de la chlorite (supérieures à 80%), ils mettent en évidence une variabilité haute fréquence du cortège argileux lors des événements de Heinrich 1 et 2 (fig. 2), tels qu'ils sont définis en Atlantique Nord. On observe en effet une augmentation des proportions relatives de smectite et de kaolinite au détriment de l'illite et de la chlorite (fig. 2). La palygorskite n'est pas identifiable.

Pendant les périodes froides de Heinrich 1 et 2, l'importance relative des fleuves pyrénéo-languedociens, qui drainent les terrains Pliocènes riches en smectite (Monaco, 1971), aurait augmenté influençant les zones plus distales et notamment l'interfluve Aude-Hérault. Une influence accrue du courant Liguro-Provençal est également envisagée pour le site de la carotte MD99-2352. L'augmentation des proportions de kaolinite témoigne d'une augmentation des apports éoliens d'origine Saharienne.

Les phases de démantèlement des calottes de l'hémisphère nord modifient fortement les environnements continentaux et influencent le fonctionnement des systèmes fluviaux (modification des conditions de drainage du Rhône et des fleuves Pyrénéo-Languedociens), des circulations marines, mais aussi des systèmes atmosphériques (aridité en Afrique du Nord, intensification des vents), notamment par une stabilité anticyclonique accrue (Combourieu-Nebout, 2002). L'influence des variations du niveau marin reste à déterminer.

Afin de déterminer avec précision le rôle des différentes sources de matériel sédimentaire, des analyses isotopiques (Rb/Sr, Sm/Nd, U/Pb) vont être menées. On peut également envisager d'utiliser les minéraux argileux pour affiner les modèles d'âge après avoir étudié plusieurs carottes judicieusement choisies.

Enfin, l'analyse combinée sismique-palynologie-minéralogie des carottes longues du programme PROMESS devraient permettre de comprendre les variations paléo-environnementales à grande échelle de temps de l'ouest méditerranéen. Il serait notamment intéressant d'étudier l'enregistrement sédimentaire dans le Golfe du Lion au cours du stade isotopique 5 (dernier interglaciaire).

BIBLIOGRAPHIE

- CHAMLEY, H. (1971). — Recherches sur la sédimentation argileuse en Méditerranée. *Sci. Géol.* 35 : 207 p.
- COMBOURIEU NEBOUT N., TURON J.L., ZAHN R., CAPOTONDI L., LONDEIX L. et PAHNKE K. (2002). — Enhances Aridity and Atmospheric High-Pressure Stability over the Western Mediterranean during the North Atlantic Cold Events of the past 50 k.y. *Geol. Soc. Of America* 30 (10) : p. 863-866.
- FOUCAULT A. et MELIERES F. (2000). — Palaeoclimatic Cyclicity in Central Mediterranean Pliocene Sediments : the Mineralogical signal. *Pal. Pal. Pal.* 158 : p 311-323.
- MARSSET T. et BELLEC V. (2002). — Late Pleistocene-Holocene Deposits of the Rhône Inner Continental Shelf (France) : Detailed Mapping and Correlation with Previous Continental and Marine Studies. *Sedimentology* 49 : p. 255-276.
- MONACO A. (1971). — Contribution à l'Etude Géologique et Sédimentologique du Plateau Continental du Roussillon (Golfe du Lion). Thèse. Sci. Nat. Montpellier : 295 p.
- RABINEAU M. (2001). — Un Modèle Géométrique et Stratigraphique des Séquences de Dépôt Quaternaires sur la Marge du Golfe du Lion : Enregistrement des Cycles Climatiques de 100 000 ans. Thèse de Troisième Cycle. Université de Rennes I. 455 p.

RELATION ENTRE LES VARIATIONS DE LA CALOTTE GLACIAIRE LAURENTIDE ET L'ENREGISTREMENT SEDIMENTAIRE DANS LE BASSIN D'ORCA (GOLFE DU MEXIQUE)

Relation between Laurentide Ice Sheet variations and sedimentary record in the Orca Basin (Gulf of Mexico).

par Thomas SIONNEAU (*), Viviane BOUT-ROUMAZEILLES (*) et Alain TRENTESAUX (*)

Depuis la fermeture de l'Isthme de Panama, il y a 4,6 Ma, le Golfe du Mexique joue un rôle important dans le système climatique terrestre parce qu'il est le lieu de formation de la « warm-pool » atlantique où prend naissance le Gulf Stream. Ainsi, bien appréhender son histoire, son fonctionnement, ses perturbations, est essentiel à la compréhension du système climatique global. C'est pourquoi de nombreuses études paléoclimatiques y ont été menées. Elles se sont principalement intéressées aux assemblages de foraminifères planctoniques et aux enregistrements du $\delta^{18}\text{O}$. Cependant, peu d'études ont été réalisées sur la fraction terrigène des sédiments, principalement apportée par le Mississippi, alors qu'elles permettraient de faire le lien entre les enregistrements paléoclimatiques continentaux et marins.

Une carotte (MD02-2552), de 34,16 m, a été prélevée dans le Bassin d'Orca (N26°56.80, W091°20.72), petite dépression de 400 km² située à 290 km au sud-ouest de l'actuel delta du Mississippi. Le fond de ce bassin est caractérisé par la présence d'eaux hypersalées anoxiques. Diverses analyses ont été réalisées (granulométrie laser, diffraction des rayons X et études chimiques par ICP) afin de déterminer l'évolution du message sédimentaire depuis 46 ka BP (Sionneau, 2004).

Les résultats obtenus, comparés et corrélés les uns aux autres, avec une courbe du $\delta^{18}\text{O}$ (déterminée sur une carotte jumelle : MD02-2551, Flower et al., 2004 ; sous presse) et une courbe de susceptibilité magnétique, nous ont permis d'identifier trois grandes périodes aux signatures sédimentaires différentes (fig.1).

La première période, avant 38,5 ka BP, est caractérisée par des enregistrements sédimentaires relativement constants et par de plus fortes teneurs en smectite qu'en illite et chlorite. Elle correspond à une phase de stabilité de la calotte Laurentide. La légère fonte que celle-ci subit, sur sa marge sud, libère des eaux qui s'écoulent par les grandes plaines américaines dont les sols sont riches en smectite, expliquant les fortes teneurs de ce minéral dans les dépôts sédimentaires (A, fig.2).

La deuxième période, de 38,5 à 16 ka BP, est caractérisée par des fluctuations importantes des différents paramètres sédimentaires, par une susceptibilité magnétique et des teneurs en illite et chlorite élevées qui diminuent progressivement. A cette époque, la calotte Laurentide est très instable, alternant entre une phase de retrait (40 à 30 ka BP), qui apporte de grandes quantités d'eau de fonte riche en illite et chlorite (minéraux glaciogéniques formés par érosion mécanique du substrat par les glaciers), et une phase de construction (30 à 20 ka BP) durant laquelle les apports détritiques sont de plus en plus faibles (chute de la susceptibilité magnétique) et caractérisés par des teneurs plus importantes en smectite (B et C, fig.2).

La dernière période, depuis 16 ka BP, est caractérisée par un rapport (Illite+Chlorite)/Smectite constant et faible. Elle correspond à la déglaciation de la calotte Laurentide, qui libère alors d'énormes volumes d'eau de fonte, dans les différents océans, dont on retrouve l'enregistrement dans l'évolution du $\delta^{18}\text{O}$. Le fait que les paramètres sédimentaires ne reflètent pas ces apports détritiques massifs, peut s'expliquer par des phénomènes de recristallisation d'illite en smectite sous l'influence des conditions environnementales extrêmes régnant dans le Bassin d'Orca.

Ce schéma général, en trois grandes périodes, est perturbé par un ensemble de fluctuations rapides des différents signaux sédimentaires (fig.1). Elles ont été reliées à des phases d'arrivées d'eau de fonte au sein du Golfe du Mexique en provenance de la calotte Laurentide, sous l'influence de différents phénomènes (41,3, 27,8 et 21,3 ka BP : événements de Heinrich 4, 3 et 2 ; 38,5-37,5 et 34,5-31 ka BP : interstadias 8 et 5-6 ; 18 ka BP : débordement d'un lac proglaciaire).

Ces premiers résultats indiquent donc une bonne corrélation entre l'évolution de la calotte Laurentide, à haute latitude, et l'enregistrement sédimentaire au sein du Golfe du Mexique, à basse latitude.

(*) Université de Lille 1, UMR 8110 PBDS du CNRS, Bat SN5, 59 655 Villeneuve d'Ascq cedex, France. Email : sionneau.thomas@wanadoo.fr

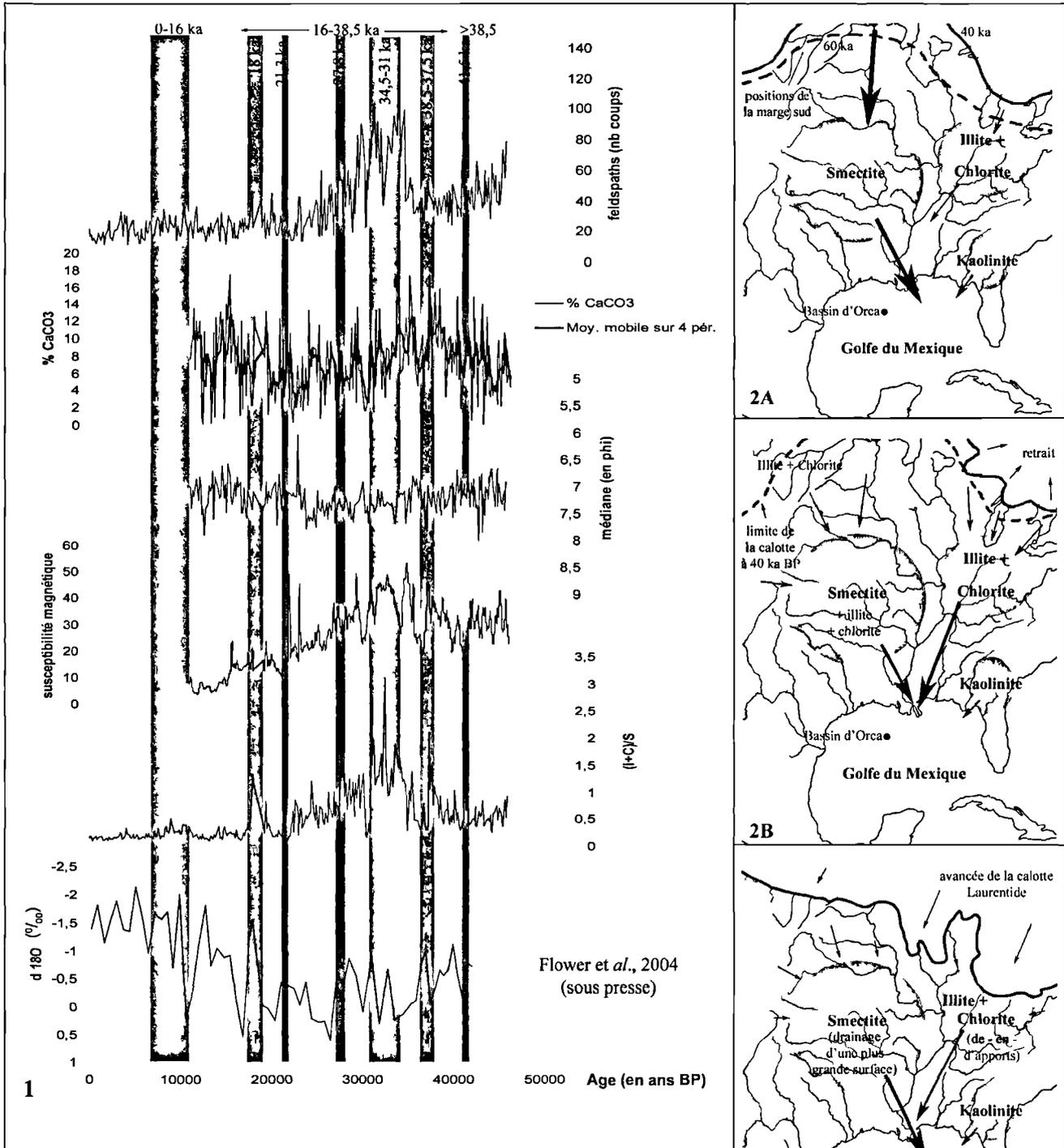


Fig. 1. — Corrélation des différents paramètres sédimentaires ; 2) Dynamique des apports sédimentaires du Mississippi à trois grandes périodes (A : avant 38,5 ka BP, B : entre 38,5 et 30 ka BP, C : entre 30 et 16 ka BP).

BIBLIOGRAPHIE

SIONNEAU T. (2004). — Relation entre les variations de la calotte glaciaire Laurentide et l'enregistrement sédimentaire dans le

Bassin d'Orca (Golfe du Mexique). DEA Dynamique et Environnements Sédimentaire, Université de Lille 1, 56 p.

CARACTERISATIONS MINERALOGIQUES, CHIMIQUES ET MICROTHERMOMETRIQUES DES MINERALISATIONS ASSOCIEES AUX MIGRATIONS DE FLUIDES DANS LE BASSIN DU SUD-EST (FRANCE)

Mineralogical, chemical and thermo-barometric caractérisations of the minéralisations in the "Terres Noires", Southeastern basin (France)"

par Yolaine RUBERT (*)

Les sorties de fluides qualifiés de froids sur le fond de la mer, par opposition aux fluides hydrothermaux, sont dues à des migrations de fluides riches en méthane d'origine thermogénique ou biogénique ou les deux. Elles ont été étudiées sur des sites actifs actuellement (Stakes *et al.*, 1999) ou sur des sites ayant fonctionné au cours du Tertiaire ou du Quaternaire. Ces circulations conduisent à la formation de structures de morphologies variables telles que des tubes, des concrétions, et des croûtes (Stakes *et al.*, 1999). L'échappement de ces fluides sur le fond de la mer entraînent également une concentration de faune (Gay, 2002). Pour les sorties de fluides froids fossiles, les exemples étudiés sont moins nombreux.

Dans le bassin du Sud-Est, des structures similaires ont été observées, dans la série des Terres Noires d'âge jurassique supérieur. Elles ont d'ailleurs été définies comme des marqueurs de sorties de fluides froids (Peckmann *et al.*, 1999), ou comparées au site actuel du bassin du Congo (Gay, 2002). Le site d'étude (Beauvoisin) comprend une zone présentant des concrétions tubulaires ou des complexes noduleux et plus haut dans la série, une deuxième zone où affleurent des biohermes. Ces objets ont souvent été étudiés séparément. Il nous a semblé intéressant de rechercher si il y avait un lien entre eux, selon leur position géographique et stratigraphique. Les tubes pourraient correspondre à l'empreinte de fluides ayant migré à travers les Terres Noires pour atteindre le fond de la mer et entraîner le développement de faune autour de ces sources sous-marines.

1) Contexte géologique

Le site de Beauvoisin est un anticlinal dont le cœur est constitué par la série des Terres Noires. Ce niveau appartient à la série du bassin du Sud-Est (fig. 1). Ce bassin correspond à la marge passive européenne de la Tethys-Ligure. Il s'est formé lors du rifting initié au Trias avec le dépôt d'évaporites et se terminant au Crétacé supérieur par une phase de compression marquant le début de la collision alpine, au Tertiaire (Lemoine et Graciansky 1988 in (Dardeau *et al.*, 1990). Lors de la période de rifting, le jeu de failles a permis la remontée de diapirs évaporitiques triasiques qui peuvent se retrouver à l'affleurement (fig. 1).

2) Etude macro et microscopique

Les marnes encaissantes au tube contiennent une quantité importante de dolomite sous forme de rhomboèdres, des argiles (illite, interstratifié Ill/Smect, kaolinite, chlorite), des bioclastes, de la pyrite et des grains détritiques de quartz et d'albite.

a) Le tube

Il se présente sous forme d'un cylindre de diamètre avoisinant 15 à 20 cm et de hauteur variable (fig. 2). En coupe transversale, le tube se divise en trois parties concentriques :

- le canal central présentant une frange de calcite en dent de chien brune en macroscopie, de la dolomite ferrifère et de la célestine. La limite entre le cortex interne et le canal présente une frange de pyrite euhédrale.
- le cortex interne, composé de célestine millimétrique poecélitique englobant des grains de pyrite framboïdale, de quartz et d'albite néoformés. Cette partie est recoupée par des veines concentriques de calcite, identique celle du canal.
- le cortex externe formé d'une micrite fossilifère contenant de la pyrite framboïdale, des grains détritiques de quartz et d'albite.

(*) DEA « Dynamique et Environnements Sédimentaires », Université de Lille 1, UMR 8110 PBDS du CNRS, Bat SNS, 59 655 Villeneuve d'Ascq cedex, France.. Encadrants : Dubois Michel, Potdevin Jean-Luc, Lopez Michel, Gay Aurélien. Email : rubertyolaine@yahoo.fr

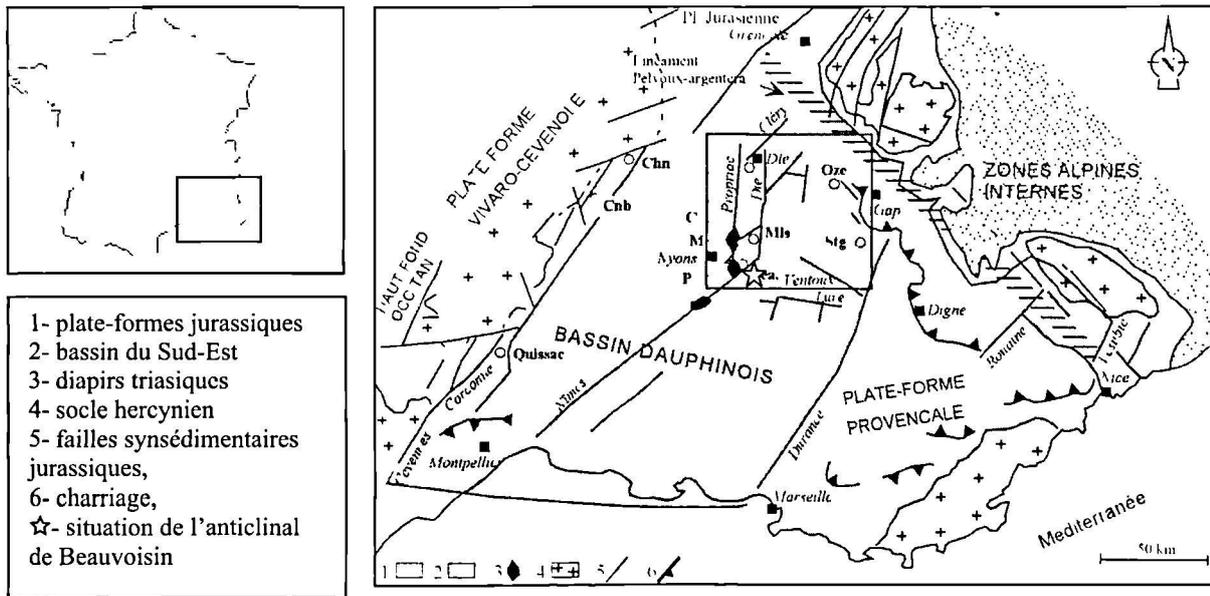


Fig. 1. — Localisation du site de Beauvoisin et schéma structural du bassin du S-E (Pellenard, 2002)

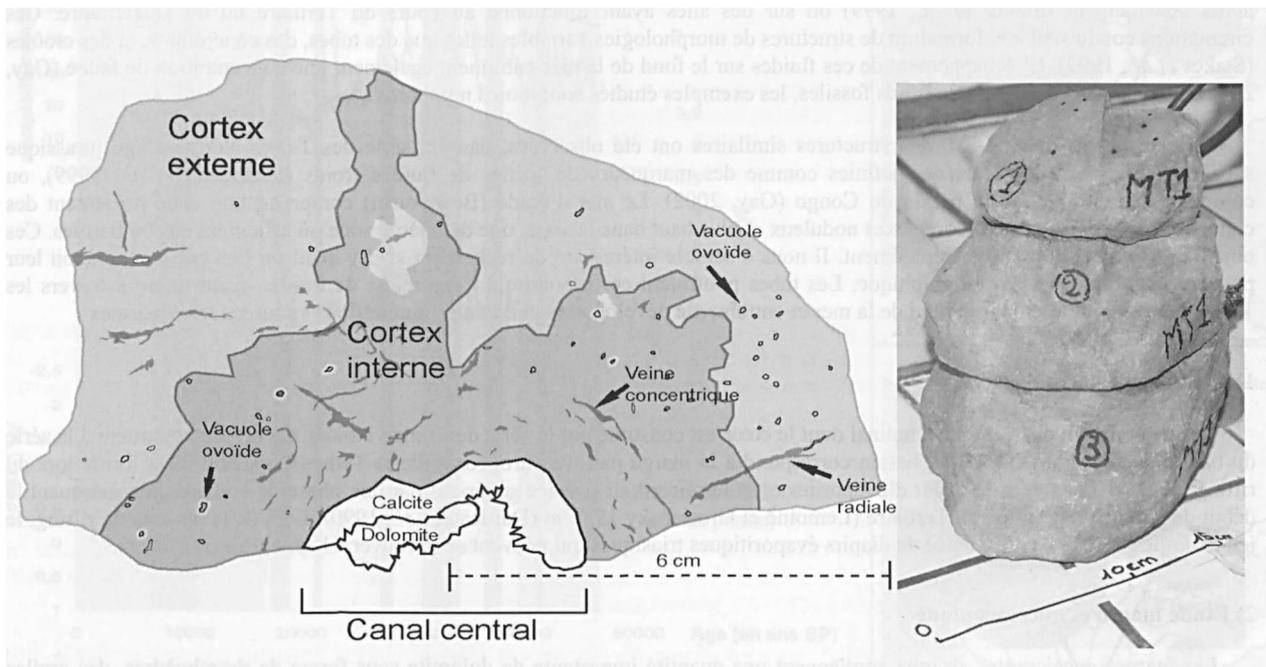


Fig. 2. — Photographie et schéma d'une coupe transversale à l'allongement du tube

Le tube se serait formé en deux étapes. La première correspond à la formation du cortex externe par recristallisation de la calcite des marnes riches en dolomite, puis formation du cortex interne, par la célestine poecélitique remplaçant la micrite du cortex externe. Ces observations minéralogiques sont en accord avec les bilans de matières montrant un apport de Ca, de Sr et de S et une perte en Al, Fe et Mg, au cours des deux étapes.

b) Le bioherme

Le bioherme se présente en deux parties. La première constituée du bioherme proprement dit est formée par un calcaire de texture mudstone contenant des bioclastes et des intraclastes et recoupée par des fractures à remplissage de sulfates de Sr et de carbonates de Ca et Mg. Les zones biohermales et les fractures sont recoupées par de grandes vacuoles centimétriques à décimétriques. Leur colmatage est uniquement carbonaté (calcite, dolomite), avec globalement une calcite en dent de chien brune en macroscopie, une calcite d'origine bactérienne et de la dolomite.

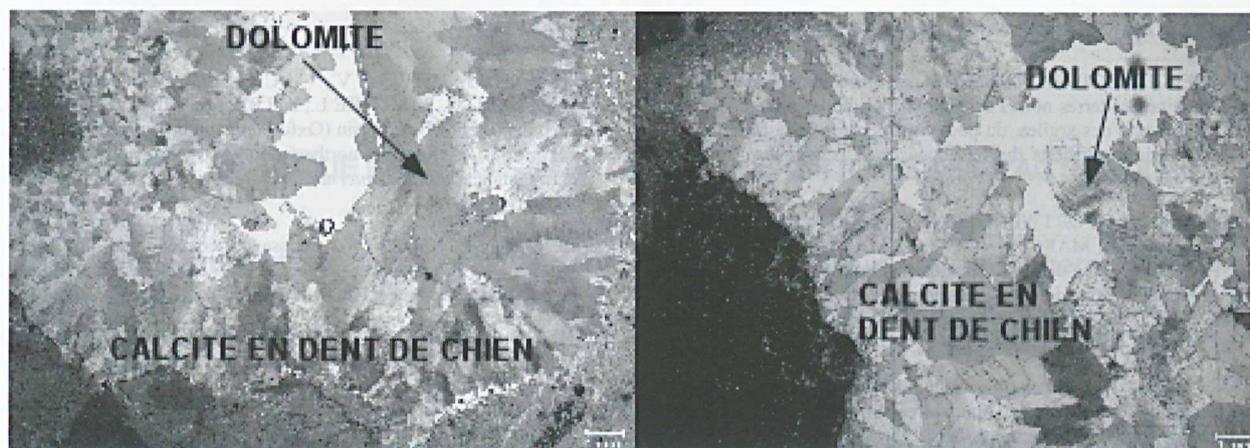


Fig. 3. — Photographie du canal central du tube (gauche) et des vacuoles du bioherme (droite)

c) Comparaison tube/bioherme

Les comparaisons pétrographiques ont mis en évidence des points communs telles que la présence de la calcite en dent de chien qui en cathodoluminescence est également identique pour le tube et le bioherme (fig. 3). La succession des phases de cristallisation (célestine, calcite, dolomite) est aussi similaire pour les deux objets.

Cependant des différences existent. Le tube présente des néoformations (quartz, albite, pyrite), absentes dans le bioherme. En cathodoluminescence, les vacuoles du bioherme sont colmatées par un nombre supérieur de phases de calcites différentes. La différence est de plus visible au niveau des analyses à la microsonde, où la calcite du bioherme possède des teneurs supérieures en Fe et Mn.

3) Les inclusions fluides

L'étude pétrographique et microthermométrique des inclusions fluides pour le tube, montrent trois types de fluides :

- un fluide aqueux représenté par des inclusions biphasées de type secondaire, à remplissage vapeur faible, présentes dans la célestine. Les températures minima de piégeage de ces inclusions sont comprises entre 94 et 213°C. La salinité est comprise entre 4 et 7,2 % éq. NaCl. Le sel en présence est principalement du NaCl. Les profondeurs de piégeages exprimées à partir de la réflectance de la vitrinite de 155 à 185° (Barlier, 1974), sont comprises entre 3,3 et 5,3 km.

- un fluide hydrocarboné représenté par des inclusions fluorescent dans le bleu, à remplissage vapeur variable, de type primaire dans la calcite et de type secondaire dans la célestine. La température minimum de piégeage est comprise entre 90 et 115°.

- un fluide hydrocarboné représenté par des inclusions de type primaire dans la calcite et secondaire dans la célestine et de remplissage vapeur inférieur à 40 %. La fluorescence dans ce cas est de type vert-blanc. Ces inclusions présentent des températures minima de piégeage de 55 à 70°C, plus faibles que celles fluorescent dans le bleu.

Au microscope optique, les fluides hydrocarbonés apparaissent antérieurs aux fluides aqueux.

CONCLUSIONS

L'étude pétrographique, la DRX et les bilans de matière sont en accord avec une formation du tube en deux étapes accompagnée d'un apport de Ca, S, Sr.

La comparaison entre les tubes et les biohermes ne certifie pas une liaison entre ces deux objets mais n'exclue pas cette hypothèse. Si nous avons observé des différences minéralogiques et chimiques, celles-ci peuvent traduire des conditions de cristallisation différentes mais pas obligatoirement des différences dans la nature du fluide minéralisateur.

L'hypothèse d'une circulation de fluide froid est exclue par les résultats de l'étude microthermométrique, qui montrent dans tous les cas des températures supérieures à 55°C. La faible salinité des inclusions aqueuses ne permet pas de prétendre à une origine évaporitique pour les fluides, malgré la proximité des diapirs.

BIBLIOGRAPHIE

- BARLIER J. (1974). — Recherches paléothermométriques dans le domaine des terres noires subalpines méridionales. Données de la minéralogie des argiles, du pouvoir réflecteur de la M.O.D. et de l'étude des inclusions fluides aqueuses et organiques. Université de Paris-Sud, 101.
- DARDEAU G., FORTWENGLER D., GRACIANSKY P.-C.D., JACQUIN T., MARCHAND D., and MARTINOD J. (1990). — Halocinèse et jeu de blocs dans les Baronnies: Diapirs de Propiac, Montaulieu, Condorcet (Département de la Drôme, France). *Bulletin des Centres de Recherche Exploration-Production d'Elf-Aquitaine*, v. Vol. 14, n°No. 1, p. p. 111-159.
- GAY A. (2002). — Les marqueurs géologiques de la migration et de l'expulsion des fluides sédimentaires sur le plancher des marges passives matures. Exemples dans le bassin du Congo. Université des Sciences et Technologies de Lille, Lille, 434 pages.
- PECKMANN J., THIEL V., MICHAELIS W., CLARI P., GAILLARD C., MARTIRE L., and REITNER J. (1999). — Cold seep deposits of Beauvoisin (Oxfordian; southeastern France) and Marmorito (Miocene; northern Italy): Microbially induced authigenic carbonates. *International Journal of Earth Sciences*, v. 88, n°1, p. 60-75.
- PELLENARD P. (2002). — Message terrigène et influences volcaniques au Callovien-Oxfordien dans les bassins de Paris et du sud-est de la France. Univ.Lille 1, 362 p.
- STAKES D.S., ORANGE D., PADUAN J.B., SALAMY K.A., and MAHER N. (1999). — Cold-seeps and authigenic carbonate formation in Monterey Bay, California. *Marine Geology*, v. 159, 93-109.

LE FRONT VARISQUE EN ARTOIS (N FRANCE) : UNE HISTOIRE DE REACTIVATIONS.

Several Stages of Reactivation of The Northern Variscan Front in Artois (Northern France)

par Marie PATIN (*)

Le front septentrional de la chaîne varisque traverse le Nord de la France, depuis les Ardennes jusqu'au Boulonnais. Dans son segment oriental, les géométries sont largement connues, tandis que dans son segment occidental, seules les structures du Boulonnais ont pu être déterminées grâce aux données de terrain. En Artois, les structures varisques restent méconnues, en effet, le Paléozoïque de la région est masqué par une couverture crétacée étendue (fig. 1).

De plus, en Artois le front Nord varisque a une orientation NW-SE qui correspond également à la direction des failles repérées en surface. Y a t'il un lien entre les accidents paléozoïques et méso-cénozoïques dans la région ? Le phénomène de réactivation des accidents préexistants est fréquent. L'inversion tectonique est un mécanisme majeur de la déformation crustale qu'il faut impérativement reconnaître afin de mieux comprendre l'évolution géodynamique d'une zone.

Grâce à une série de onze profils sismiques (fig. 1), des cartes gravimétriques et des données de forages, les géométries du front varisque et leurs relations avec les structures de surface ont pu être définies.

Le front septentrional de la chaîne varisque est souligné par le passage d'un chevauchement majeur à vergence Nord : la Faille du Midi, mise en place à la fin du Westphalien [e.g. Marton et al, 2000]. Elle charrie l'Allochtone Ardennais sur le Parautochtone Brabançon. Une différence entre ces deux domaines est la présence de Dévonien inférieur : il est totalement absent dans le Parautochtone Brabançon.

L'analyse des profils sismiques a permis de mettre en évidence la présence de trois plans de chevauchement varisques (fig. 2) : F1 qui constitue le chevauchement de base ; F2 et F3 qui correspondent à la zone faillée du Midi. On peut définir cinq unités : l'unité 1 : couches du Mésozoïque ; unité 2 : Allochtone Ardennais au toit de la Faille du Midi (F3) ; unité 3 : comprise entre F2 et F3 ; unité 4 : située au toit du chevauchement basal (F1) et au mur de F2 et enfin l'unité 5 : le socle au mur de F1.

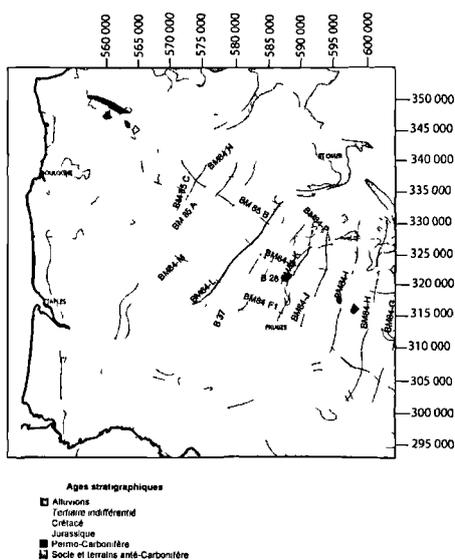


Fig 1. — Localisation de la zone d'étude et plan de position des profils sismique sur un fond de carte géologique simplifiée. [Reproduit avec l'aimable autorisation du BRGM].

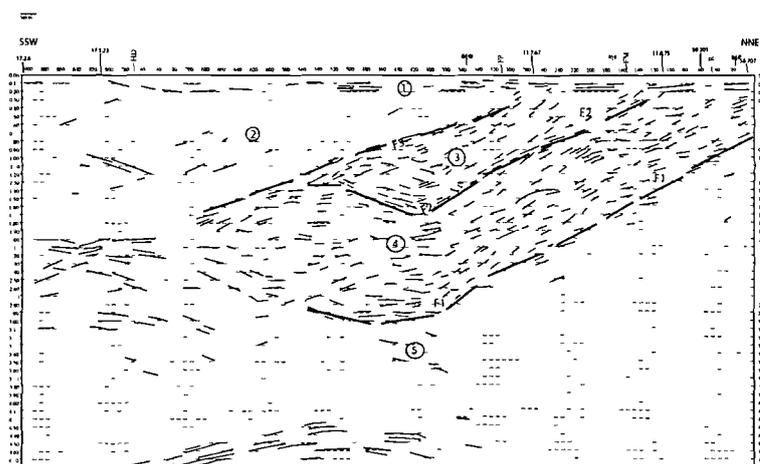
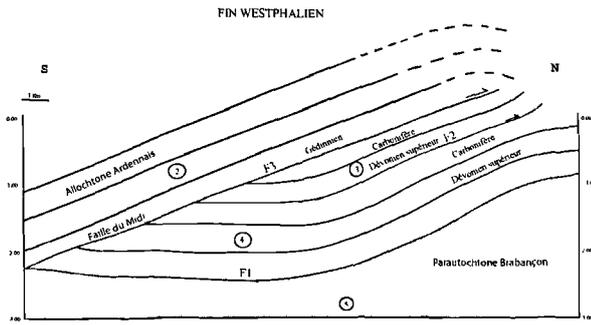


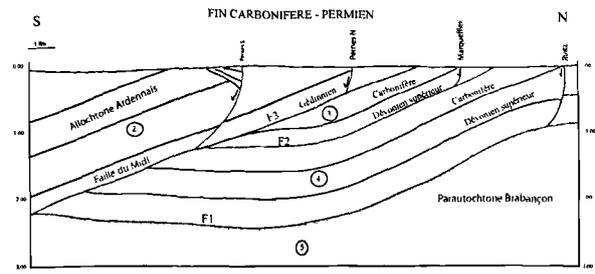
Fig 2. — Pointé des réflecteurs du profil 84 L (voir Fig.1 pour localisation). HD : Faille de Herly-Dannes, FP : Faille de Pernes, FM : Faille de Marqueffles, FR : Faille de Ruitz, les forages sont indiqués avec leur indice BRGM.

(*) Université de Lille 1, UMR 8110 PBDS du CNRS, Bat SN5, 59 655 Villeneuve d'Ascq cedex, France.



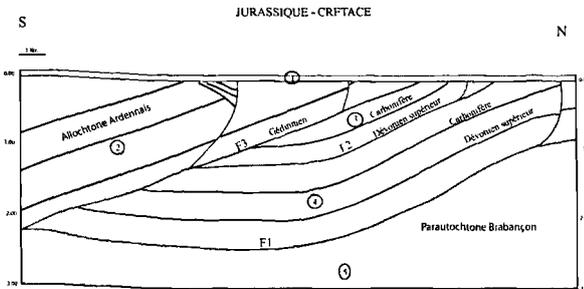
ETAPE 1

Orogenèse varisque et formation des chevauchements F1, F2 puis F3 en hors séquence.
 F1 est le décollement basal et F3 la Faille du Midi, elle charrie l'Allochtone Ardennais sur le Parautochtone Brabançon.
 Les unités 2 à 5 se mettent en place.



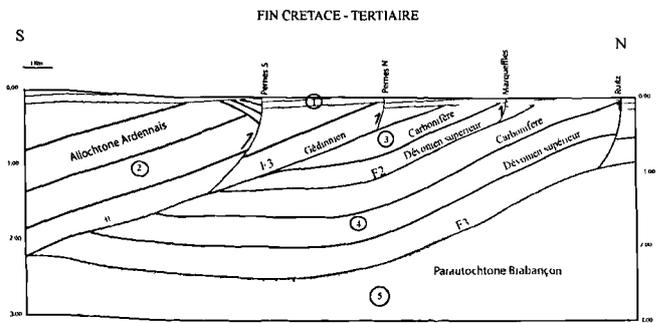
ETAPE 2

Erosion et effondrement de la chaîne hercynienne.
 Mouvements extensifs (NNW-SSE) et de décrochement provoquant la réactivation des chevauchements préexistants et le développement de failles normales sub-verticales qui s'y enracinent.
 Formation de bassins en roll-over dans le bloc Sud, comblés par les conglomérats de l'Artois.



ETAPE 3

Dépôt des terrains crétacés couvrant et nivelant l'ensemble de la région.
 La phase d'extension du Jurassique supérieur visible en Boulonnais [Mansy *et al*, 2003] ne semble pas avoir affecté la zone d'étude.



ETAPE 4

Compression (N-S) fin Crétacé-Tertiaire : réactivation des accidents préexistants. Les failles ont un jeu inverse.
 Le compartiment Sud est cette fois-ci relevé par rapport au bloc Nord.

En surface, les principales failles de l'Artois sont (du Nord au Sud) : Ruitz, Marqueffles et Pernes, elles sont repérées sur les profils (fig. 2).

Ces failles se sont formées à la fin de l'orogénèse varisque lorsque la chaîne s'est effondrée sur elle-même (Lefort et Jaffal, 1994). Elles induisent des décalages de plus d'une centaine de mètres dans le Paléozoïque : le bloc Sud est abaissé et des bassins ont pu s'y développer (par exemple le bassin stéphano-permien le long de la Faille de Pernes contenant les Conglomérats de l'Artois). Sur certains profils, des bassins en roll-over ont été distingués. Ces mêmes failles induisent également des décalages dans les terrains mésozoïques : le compartiment Sud est cette fois relevé par rapport au bloc Nord. Ceci est observé sur l'ensemble des profils. Le rejet moyen est de plusieurs dizaines de mètres.

Les failles de Ruitz, Marqueffles et Pernes en Artois ont donc joué au Paléozoïque puis à la fin du Mésozoïque : elles ont été réactivées.

Les géométries des déformations varisques associées aux différents jeux des failles en surface déterminées par l'étude des profils sismiques permettent de proposer quatre grandes étapes dans l'évolution géodynamique de l'Artois, du Carbonifère au Tertiaire.

L'exploitation des données sismiques, gravimétriques et de forages permet de déterminer la géométrie des structures varisques en Artois. Ces structures sont assez semblables à celles décrites dans le Boulonnais (Averbuch *et al*, 2001 ; Mansy *et al*, 2003) L'histoire géodynamique reconstituée montre deux épisodes d'inversion tectonique : à l'étape 2 et à l'étape 4. La première inversion est une inversion négative (réactive des plans de chevauchement en extension), elle est liée à l'effondrement de la chaîne varisque (Lefort et Jaffal, 1994). La deuxième inversion est positive (réactive des failles normales en compression) et est mise en relation avec les orogénèses alpine et pyrénéenne (Ziegler, 1990).

Nous montrons ainsi que les déformations varisques dans le Nord de la France ont contrôlé l'organisation des structures méso-cénozoïques et l'installation des bassins sédimentaires au cours du temps.

BIBLIOGRAPHIE

- AVERBUCH O., MANSY J.L., LAMARCHE J. (2001). — Déformations tardi-Paléozoïques au front septentrional de la chaîne varisque : l'exemple des massifs paléozoïques du Boulonnais (N France) ; *Ann. Soc. Géol. du Nord* T. 9 (2^{ème} série) 13-24.
- LEFORT J.P., JAFFAL M. (1994). — Les témoins de l'extension post-hercynienne dans la croûte inférieure litée de la Manche occidentale et de la mer Celtique ; *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod Elf Aquitaine* 18.2, 421-436.
- MANSY J.L., MANBY G.M., AVERBUCH O., EVERAERTS M., BERGERAT F., VAN VLIET-LANOE B., LAMARCHE J., VANDYCKE S. (2003). — Dynamics and inversion of the Mesozoic Basin of the Weald-Boulonnais area: role of basement reactivation; *Tectonophysics* 373, 161-179.
- MARTON E., MANSY J.L., AVERBUCH O., CSONTOS L. (2000). — The Variscan belt of Northern France –Southern Belgium : geodynamic implications of new palaeomagnetic data ; *Tectonophysics* 324 57-80.
- ZIEGLER P.A. (1990). — *Geological atlas of Western and Central Europe*, Shell Internationale Petroleum Maatschappij B.V.

PALEOENVIRONNEMENTS A LA LIMITE FRASNIEN/FAMENNIEN DANS L'ANTI-ATLAS MAROCAIN

Palaeoenvironments at the Frasnian/Famennian in the moroccan Anti-Atlas.

par Johann MEDINA (*)

Le Dévonien supérieur se caractérise par la présence d'un grand nombre d'événements environnementaux généralement associés à des horizons noirs, riche en matière organique, tels que l'événement Frasnien à la limite Givétien/Frasnien ou l'événement Hangenberg à la limite Dévonien/Carbonifère. La limite Frasnien/Famennien (environ 374,5 ± 2,6 Ma BP d'après la charte internationale de stratigraphie 2004) est marquée par l'une des cinq plus grandes crises biologiques du Phanérozoïque et par l'omniprésence de faciès noirs: les faciès Kellwasser (Schindler, 1990).

Pour cette étude, nous nous sommes intéressés à trois coupes de l'Anti-Atlas du Maroc, Bou-Tchrafine, Erfoud et Ihrs qui présentent ce faciès noir caractéristique (fig. 1).

Les terrains dévoniens étudiés se situent sur la bordure orientale de l'Anti-Atlas, au niveau de la plate-forme du Tafilalt qui, au Paléozoïque, représentait la marge Nord du continent Gondwana (Scotese & McKerrow, 1990). Les coupes de l'Anti-Atlas présentent une forte condensation; elles s'étendent sur environ dix mètres en bancs centimétriques à décimétriques, du Frasnien basal au Famennien terminal et présentent en majorité des calcaires purs et des calcaires marneux. Le faciès Kellwasser se retrouve de part et d'autre de la limite Frasnien/Famennien et comme montré dans de nombreux secteurs (Tribovillard *et al.*, sous presse), il traduit vraisemblablement une période d'augmentation du caractère dysoxique des eaux marines de fonds.

Plusieurs mécanismes, liés aux variations climatiques et eustatiques, ont été proposés pour expliquer ces événements anoxiques. Cette étude s'est axée principalement sur les variations relatives du niveau marin, et leurs implications sur les changements des apports détritiques dans les bassins de l'Anti-Atlas. Afin de répondre à ces interrogations, une étude pluridisciplinaire alliant la sédimentologie de faciès, la biostratigraphie, la géochimie et le magnétisme des roches a été effectuée. L'établissement des fluctuations du niveau marin par l'étude des microfaciès et l'étude de la susceptibilité magnétique a permis de retracer les fluctuations des apports détritiques.

Une étude préliminaire des cortèges argileux a déterminé les valeurs de l'Indice de Cristallinité de l'illite pour les différentes coupes. Ces valeurs ont été interprétées en terme d'enfouissement des séries et suggèrent des températures inférieures à 210°C ± 20°C (Garcia-Lopez *et al.*, 1997) pour les trois coupes. Elles présentent donc un caractère diagénétique assez poussé. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus à partir de l'analyse de l'Indice d'Altération des Conodontes qui indiquent une température d'enfouissement de l'ordre de 200°C sur la plate-forme du Tafilalt (Belka, 1991).

En couplant les microfaciès et les valeurs de susceptibilité magnétique, une répartition zonale des trois coupes à l'intérieur de la plate-forme de Tafilalt peut être proposée. La coupe d'Ihrs se détache des deux autres par sa distalité plus importante, au niveau de la rampe externe. La coupe d'Erfoud semble la plus proximale et se situe sur la rampe moyenne tout comme la coupe de Bou-Tchrafine.

De plus, l'analyse conjointe de ces deux méthodes a permis de définir l'évolution de la paléobathymétrie à l'échelle régionale (fig. 2). Cette étude pluridisciplinaire a révélé la présence d'une phase transgressive générale du Givétien terminal au Famennien moyen. Cette hausse du niveau marin est ponctuée par deux pics transgressifs à la base de deux faciès noirs correspondant à l'événement Frasnien, situé à la limite Givétien/Frasnien, et à l'événement Kellwasser, qui débute au sommet du Frasnien. Si une élévation relative du niveau marin semble avérée dans le faciès Kellwasser, des doutes subsistent néanmoins quant à la présence d'une régression à la limite Frasnien/Famennien au niveau de la plate-forme de Tafilalt. Au sommet de ce faciès, une lacune sédimentaire couplée à du remaniement semble exister, ce qui pourrait correspondre à une baisse eustatique observée généralement à ce niveau. La faible résolution biostratigraphique obtenue à l'heure actuelle ne permet pas cependant de contraindre précisément cet événement. Enfin, les dépôts fameniens postérieurs à l'événement Kellwasser semblent indiquer une transgression.

(*) UMR-8110 "Processus et Bilans des Domaines Sédimentaires", UFR des Sciences de la Terre, Université des Sciences et Technologies de Lille (Lille 1)

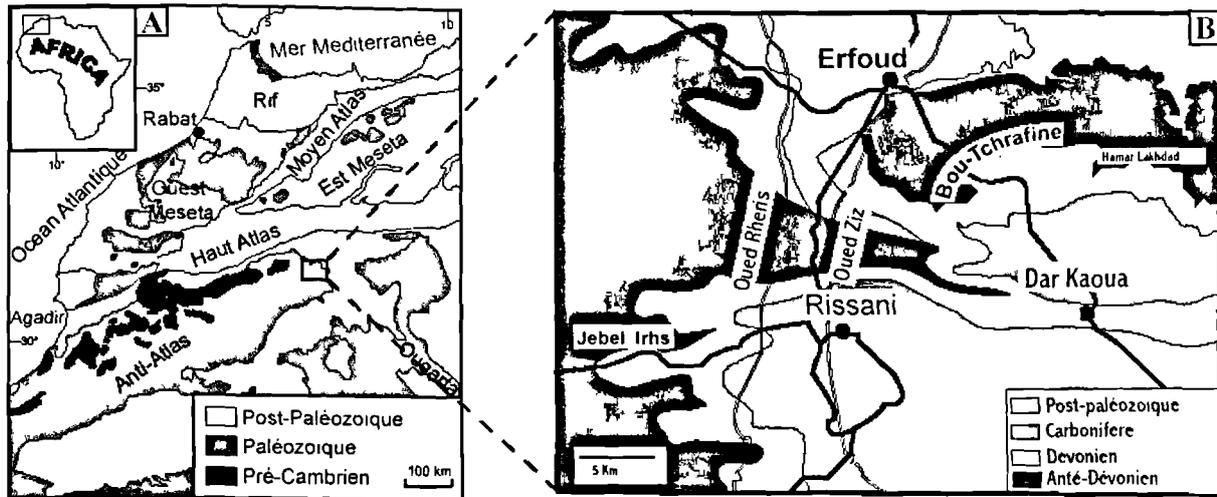


Fig. 1. — Les principaux domaines structuraux du Maroc (A) (modifié de (Pique & Michard, 1989) et localisation des coupes de l'Anti-Atlas : Bou Tchrafine, Jebel Irhs, Djebel Erfoud (B) (modifié de (Walliser, 2000).

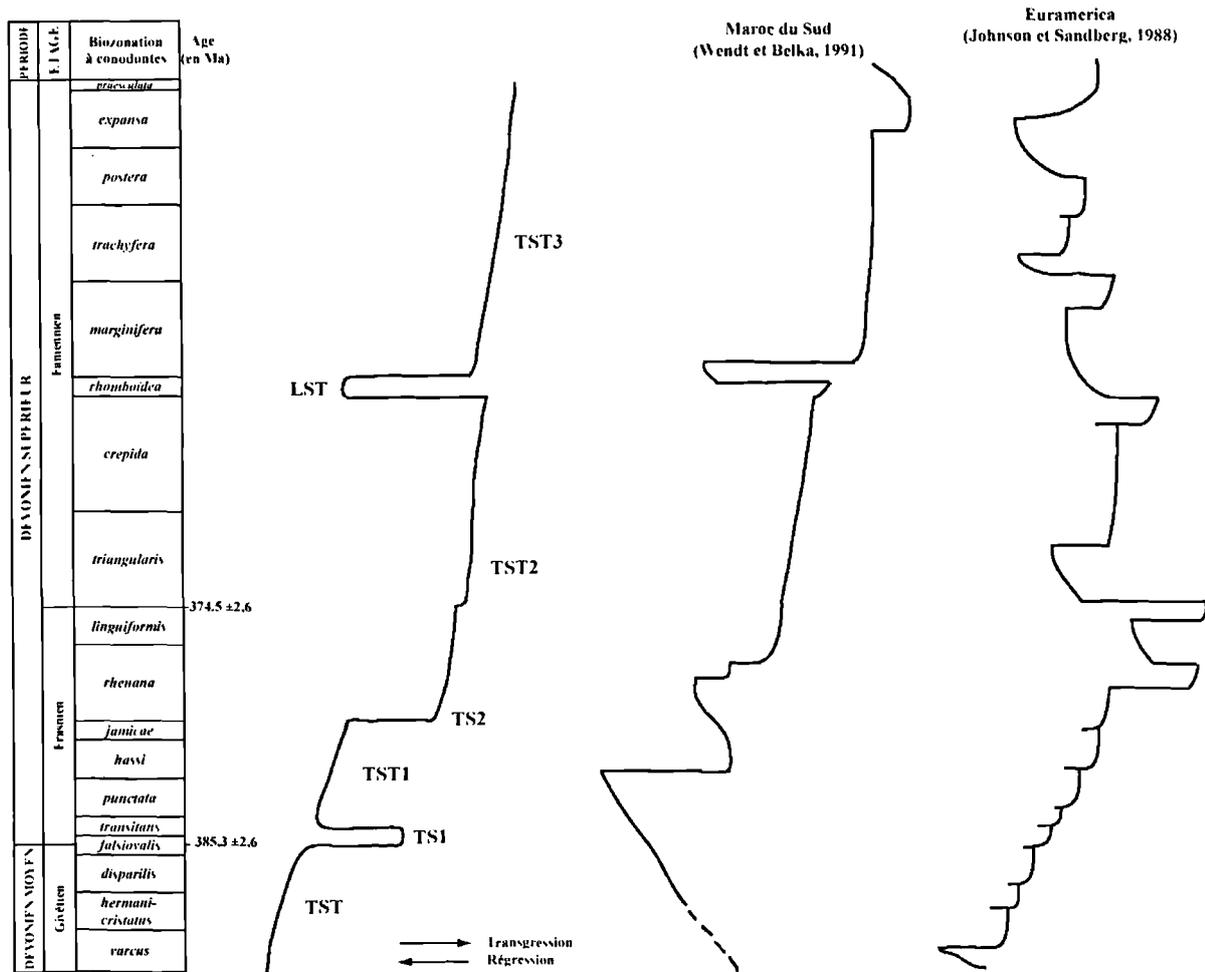


Fig. 2. — Evolution bathymétrique de la plate-forme de Tafilalet (cette étude), de l'Anti-Atlas marocain (Wendt & Belka, 1991) et sur le continent Euramerica (Johnson & Sandberg, 1988)

Cette évolution paléobathymétrique n'est valable qu'au niveau régional (fig. 2). En comparant avec le signal eustatique obtenu par (Johnson & Sandberg, 1988; Sandberg *et al.*, 2002) pour l'Euramerica, seule la transgression frasnienne semble identique et donc globale; les deux régression au niveau de la zone supérieure à *rhenana* (Frasnien supérieur) et de la zone inférieure à *triangularis* (Famennien inférieur) ne sont pas présentes sur les coupes de l'Anti-Atlas. Le Famennien basal est interprété comme une transgression importante. Durant la régression du Famennien, ils observent des transgressions rapides liées à des épisodes interglaciaires. Ces variations ne sont pas corrélables avec les données de cette étude car jusque dans la zone à *velifer* (Famennien moyen et supérieur) (Lazreq, comm. pers.), nous sommes en transgression. Il s'agirait donc de variations eustatiques locales. Wendt & Belka, 1991 ont établi une courbe bathymétrique pour la même région d'étude. Elle semble se corréler relativement bien avec celle proposée dans ce travail. La seule différence notable est une régression dans le Frasnien.

BIBLIOGRAPHIE

- BELKA Z. (1991). — Conodont colour alteration patterns in Devonian rocks of the eastern Anti-Atlas, Morocco. *J. African Earth Sci.*, 12: 417-428.
- GARCIA-LOPEZ S., BRIME C., BASTIDA F. and SARMIENTO G.N. (1997). — Simultaneous use of thermal indicators to analyse the transition from diagenesis to metamorphism : an example from the Variscan Belt of northwest Spain. *Geol. Mag.*, 134: 323-334.
- JOHNSON J.G. and SANDBERG C.A. (1988). — Devonian eustatic events in the western United States and their biostratigraphic responses. In: *Devonian of the World* (Eds N.J. McMillan, A.F. Embry and D.J. Glass), Memoir 14, pp. 171-178. *Canad. Soc. Petrol. Geol.*, Calgary.
- PIQUE A. and MICHARD A. (1989). — Moroccan hercynides: a synopsis. The paleozoic sedimentary and tectonic evolution at the northern margin of west Africa. *Amer. Jour. Sci.*, 288: 286-330.
- SANDBERG C.A., MORROW J.R. and ZIEGLER W. (2002). — Late Devonian sea-level changes, catastrophic events, and mass extinctions. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 356: 473-487.
- SCHINDLER E. (1990). — Die Kellwasser-Krise (holc Frasn-Stufe, Ober-Devon). — *Gött. Arb. Geol. Paläontol.*, 46: 1-125.
- SCOTESE C.R. and MCKERROW W.S. (1990). — Revised world maps and introduction. In: *Paleozoic palaeogeography and biogeography* (Eds W.S. McKerrrow and C.R. Scotese), Memoir 12, pp. 1-21. Geological Society of London.
- TRIBOVILLARD N., AVERBUCH O., DEVLEESCHOUWER X., RACKI G. and RIBOULLEAU A. (sous presse). — Deep-water anoxia during the Frasnian/Famennian boundary events (La Serre, France): an echo of a tectonically-induced Late Devonian oceanic event? *Terra Nova*.
- WALLISER O.H. (2000). — The Jebel Mech Irdane section. *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, 399: 57-62.
- WENDT J. and BELKA Z. (1991). — Age and Depositional Environment of Upper Devonian (Early Frasnian to Early Famennian) Black Shales and Limestones (Kellwasser Facies) in the eastern Anti-Atlas, Morocco. *Facies*, 25: 51-90.

PROCESSUS TECTONIQUES ET SEDIMENTAIRES EN DOMAINE INTERNE DE LA MARGE ACTIVE HIKURANGI, NOUVELLE-ZELANDE : ANALYSE DES RELATIONS ENTRE LES DEFORMATIONS RECENTES ET LA GEOMETRIE DE CORPS SEDIMENTAIRES ASSOCIES

Tectonic and depositional processes in the inner domain of the Hikurangi margin, New Zealand. Relationships between recent deformation and the geometry of associated sedimentary bodies.

par Cathy JOANNE (*), Frank CHANIER (*) et Julien BAILLEUL (*)

L'île Nord de Nouvelle-Zélande, longée à l'Est par la fosse de subduction Hikurangi, est affectée par des épisodes tectoniques successifs depuis le démarrage de la subduction de la plaque Pacifique sous la plaque Indo-Australienne, il y a 25 Ma. Ces épisodes tectoniques se traduisent par une déformation de la marge qui apparaît hétérogène, aussi bien transversalement que longitudinalement.

Hawke Bay, à l'Est de l'île Nord, est ainsi située dans un secteur de transition (fig. 1) :

- transversalement, puisqu'elle se situe entre deux domaines morphostructuraux : le bassin avant-arc et le prisme d'accrétion.
- longitudinalement, puisqu'elle se situe immédiatement au Sud d'une zone de transition entre une marge active sans prisme d'accrétion actif (au Nord) et une marge active avec un prisme d'accrétion bien développé (au Sud).

Cette situation géodynamique confère à la baie des spécificités, notamment au niveau des déformations affectant les séries sédimentaires. Ces particularités concernent, d'une part, l'organisation spatiale de ces déformations et, d'autre part, leur évolution au cours du temps. Une analyse détaillée de données de sismique réflexion a permis d'étudier ces déformations et la géométrie des corps sédimentaires associés.

L'analyse de l'ensemble des profils de sismique industrielle disponibles sur le domaine de Hawke Bay (formant un maillage relativement serré de 2 à 4 km) a permis de reconstituer l'extension longitudinale des principales structures (fig. 2). Les structures observées, d'orientation générale NNE-SSW, sont d'âge et de nature variés et montrent souvent un amortissement longitudinal très rapide (fig. 2).

La nature et la chronologie relative des déformations observables sur l'ensemble de la baie apparaissent clairement sur certaines coupes transversales. La partie Est du profil H90-05 (fig. 3-A) traverse le bassin B1 (fig. 2) dont la géométrie complexe illustre bien le développement structural de Hawke Bay ainsi que la mise en place des ensembles sédimentaires associés aux structures. Une coupe restituée en profondeurs (fig. 3-B) présente notamment les relations chronologiques et géométriques entre ces différentes structures.

Trois séries sédimentaires principales, déposées sur un substratum très déformé, et séparées par des discordances angulaires majeures, sont distinguées : le Miocène moyen-supérieur; le Pliocène et le Quaternaire :

1) Miocène

Les déformations attribuées au Miocène sont scellées par la surface d'érosion de la base du Pliocène. On peut reconnaître deux grands types de structures :

D'importantes rides anticlinales (1 et 2, fig. 3), formées à l'Est de la baie, témoignent d'une phase de compression majeure, à la fin du Miocène (c. 8 - 5 Ma). Ces hauts structuraux, de grande amplitude, constituent les bordures d'un bassin d'une largeur d'environ 15 kilomètres (bassin B1), à l'Ouest de la Ride de Lachlan (RL, fig. 3). D'autre part, de nombreuses structures, de nature variable (structures anticlinales déversées vers l'Est ou l'Ouest et parfois associées à des chevauchements), se développent au sein de la baie et confirment cet épisode compressif affectant l'ensemble de la baie.

(*) UMR-8110 "Processus et Bilans des Domaines Sédimentaires", UFR des Sciences de la Terre, Université des Sciences et Technologies de Lille (Lille 1)

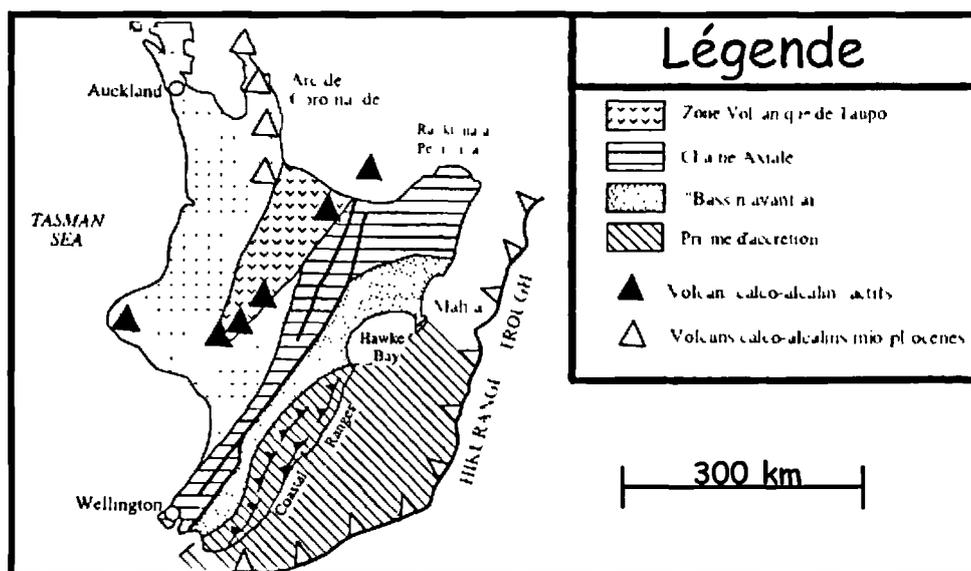


Fig. 1. — Carte schématique des grands ensembles morphostructuraux du complexe de subduction Hikurangi (Chanier et al., 1999)

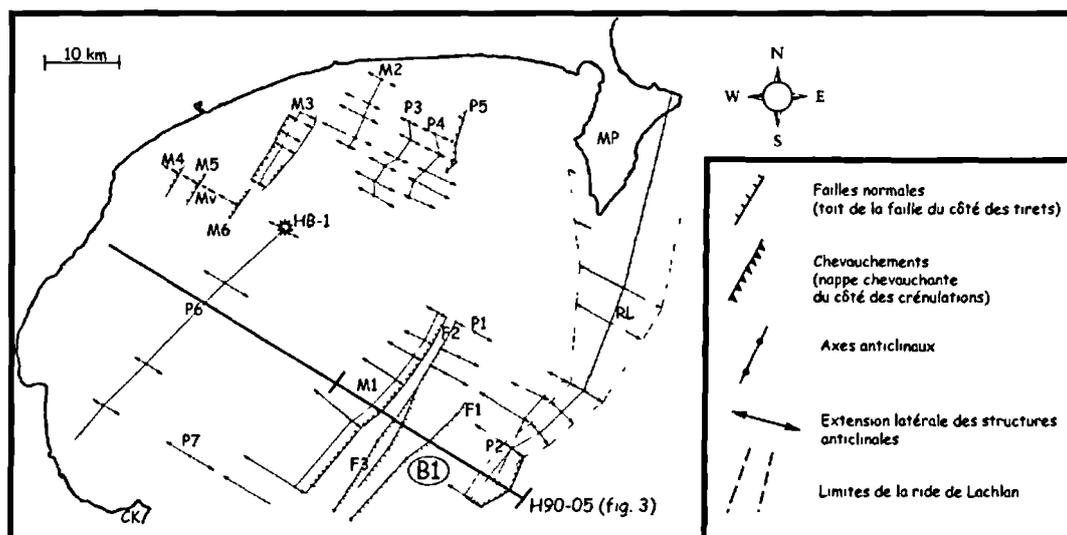


Fig. 2. — Schéma structural de Hawke Bay et localisation de la coupe sismique présentée (partie Est du profil H90-05, fig.3). M1 à M6 et P1 à P7 : principales structures formées respectivement au cours du Miocène et du Pliocène ; F1 à F3 : principales failles normales ; B1 : Bassin pliocène ; HB-1 : forage Hawke Bay 1 ; RL = Ride de Lachlan ; MP = Mahia Peninsula ; CK = Cape Kidnappers.

Des réseaux de failles normales (3, fig. 3) se forment au niveau des grands hauts structuraux développés à l'Est de la baie et témoignent d'un épisode d'effondrement local fini-Miocène (c. 6 - 5 Ma). Ces failles normales sont d'autant plus développées que les hauts structuraux sont importants. Cet effondrement est donc attribué à un phénomène de collapse gravitationnel consécutif à la surrection rapide des hauts structuraux.

2) Pliocène

Les séries pliocènes montrent les spécificités tectoniques et sédimentaires suivantes :

— Un ensemble sédimentaire (4, fig. 3) très épais et progradant vers l'Ouest s'est mis en place à partir de la Rive de Lachlan (RL, fig. 2 et 3). Cette progradation atypique (vers le pôle continental) est expliquée par le développement important de cette ride, présente dès le début du Pliocène inférieur, et qui alimente le bassin en matériel silico-clastique. L'épaisse série sédimentaire déposée caractérise la période Opoitian (c. 5 - 4 Ma), qui correspond donc à une phase de remplissage de bassins, relativement calme d'un point de vue tectonique.

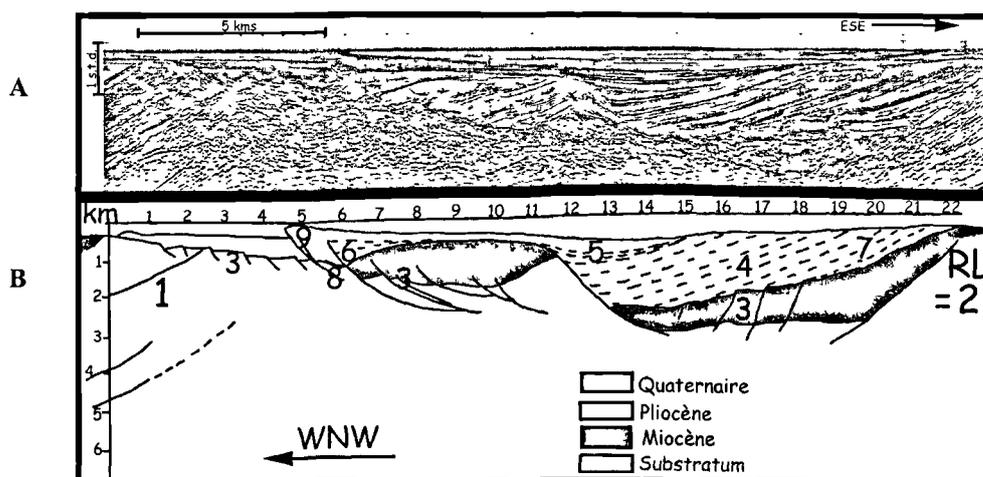


Fig. 3. — A. Partie Est du profil H90-05, traversant le bassin "B1" (localisation fig. 2) ; B. Coupe restituée en profondeur du profil H90-05 et interprétation structurale. RL = Ride de Lachlan, 1 à 9 : éléments structuraux et sédimentaires discutés dans le texte

— Quelques failles normales, formées lors de l'effondrement fini-miocène, rejoignent à la fin de l'Opoitian et au Waipipian (c. 4 – 3 Ma). L'extension est marquée par des géométries en éventail, ainsi que par une flexure des réflecteurs des séries de l'Opoitian et du Waipipian au contact des failles normales (5 et 6, fig. 3). Ces rejeux traduisent des phénomènes d'effondrement très localisés et ne semblent pas témoigner de processus extensifs affectant l'ensemble de la baie.

— Un basculement vers l'Ouest de la série pliocène (7, fig. 3), témoigne d'une reprise en compression de la ride de Lachlan (RL, fig. 3) et traduit l'existence d'un épisode compressif au Pliocène supérieur. Cet épisode tectonique, daté à c. 3,6 – 2,4 Ma, est également à l'origine de la formation de structures anticlinales et de la réactivation de structures miocènes à l'intérieur de la baie. Les structures anticlinales, généralement symétriques, se développent de façon assez homogène au sein de la baie. Cet important épisode compressif a également été identifié à terre et daté successivement à c. 3,7 - 2,5 Ma (Beanland *et al.*, 1998) et c. 3,4 - 2,4 Ma (Nicol *et al.*, 2002).

3) Quaternaire

Les déformations affectant le Quaternaire sont peu nombreuses et de faible amplitude. On rencontre deux types de déformations:

Quelques failles normales (8, fig. 3), datées du début du Pléistocène, se développent sur des structures anticlinales héritées de phases compressives antérieures. Ces failles, de faible rejet, traduisent l'existence d'une phase d'effondrement peu importante au début du Pléistocène.

Deux failles inverses très récentes, associées à des anticlinaux, ont été observées dans la baie (9, fig. 3). Ces structures correspondent à la reprise en compression de failles normales plus anciennes. L'inversion de la faille normale visible sur la coupe (8, fig. 3) semble déformer l'interface eau / sédiments (9, fig. 3). L'épisode compressif, qui n'est identifiable que très localement à l'intérieur de la baie, est d'âge Quaternaire supérieur et vraisemblablement encore actif.

Le nombre élevé de déformations affectant les séries sédimentaires du Miocène et du Pliocène traduit une importante activité tectonique compressive au sein de la baie au cours de ces périodes. La baie se situe alors au sein d'une zone fortement déformée de la marge, c'est-à-dire vraisemblablement la partie supérieure du prisme d'accrétion. La plupart de ces structures sont scellées par les dépôts d'âge Quaternaire. Les séries quaternaires, très peu déformées, indiquent que la zone située à l'Ouest de la Ride de Lachlan constitue, à cette période, un espace de sédimentation relativement calme d'un point de vue tectonique. Ce secteur peut donc être attribué au domaine du bassin avant-arc depuis le début du Pléistocène. Cette étude met ainsi en évidence une migration vers la fosse de la limite structurale entre le bassin avant-arc et le prisme d'accrétion.

CONCLUSIONS

Cette étude a permis de confirmer une orientation générale des structures NNE-SSW, tout à fait similaire à celle identifiée lors d'études à terre (*e.g.* Pettinga, 1982; Beanland *et al.*, 1998), ainsi que lors d'études sismiques antérieures sur la baie (*e.g.* Barnes *et al.*, 2002). De plus, les profils sismiques montrent un net polyphasage de la déformation au cours du Miocène supérieur - Quaternaire, avec notamment trois phases compressives paroxysmales (8-5 Ma, 3,6-2,4 Ma, 1-0 Ma). Ces trois phases ont également été identifiées sur la marge, au Sud de Hawke Bay (Beanland *et al.*, 1998; Nicol *et al.*, 2002). Les

déformations compressives apparaissent donc fortement discontinues alors que la subduction sous l'île Nord est continue depuis 25 Ma. Ces éléments montrent une certaine homogénéité dans l'enregistrement des épisodes tectoniques au sein du domaine interne de la marge active.

Par ailleurs, l'analyse sismique a permis de mettre en évidence une importante hétérogénéité dans la nature et l'amplitude des déformations ayant affecté la baie au cours des 8 derniers millions d'années. La baie montre en effet des structures de vergence variable (Est ou Ouest) et généralement caractérisées par un amortissement extrêmement rapide. Cette variabilité géométrique dans le style structural est tout à fait spécifique à la baie. En effet, plus au Sud sur la marge, les structures montrent une grande continuité longitudinale (sur plus d'une centaine de km) et exclusivement des vergences océaniques.

Les spécificités structurales observées peuvent être mises en relation avec la position géodynamique très particulière de Hawke Bay : (1) d'une part, à la frontière entre le prisme d'accrétion et le bassin avant-arc, cette limite migrant avec le temps; (2) d'autre part, à l'extrémité Nord du prisme d'accrétion. La limite transversale entre la marge avec prisme et la marge sans prisme a aussi probablement migré au cours du temps (notamment du Sud vers le Nord avec le développement progressif du prisme d'accrétion quaternaire). Cette migration peut être responsable de l'amortissement rapide des structures observées.

BIBLIOGRAPHIE

- BARNES P.M., NICOL A. et HARRISON T. (2002). — "Late Cenozoic evolution and earthquake potential of an active listric thrust complex above the Hikurangi subduction zone, New Zealand" *Geological Society of America Bulletin*, vol. 114, no. 11, p. 1379 à 1405.
- BEANLAND S., MELHUIH A., NICOL A. et RAVENS J. (1998). — "Structure and deformation history of the inner forearc region, Hikurangi subduction margin, New Zealand" *New Zealand Journal of Geology & Geophysics*, vol. 41, p. 325 à 342.
- CHANIER F., FERRIÈRE J. et ANGELIER J. (1999). — "Extensional deformation across an active margin, relations with subsidence, uplift, and rotations: The Hikurangi subduction, New Zealand" *Tectonics*; vol. 18; no. 5; p. 862 à 876.
- NICOL A., VAN DISSEN R., VELLA P., ALLOWAY B. et MELHUIH A. (2002). — "Growth of contractional structures during the last 10 m.y. at the southern end of the emergent Hikurangi forearc basin, New Zealand" *New Zealand Journal of Geology & Geophysics*, vol. 45, p. 365 à 385.
- PETTINGA J. R. (1982). — "Upper Cenozoic structural history, coastal Southern Hawke's Bay, New Zealand". *New Zealand Journal of Geology & Geophysics*, vol. 25, p. 149 à 191.

MOBILITE ET PIEGEAGE DES ELEMENTS METALLIQUES DANS UN SEDIMENT POLLUE

Mobility and trapping of heavy metals in a polluted sediment.

par Alexandra DURAND (*)

Certains sites contaminés présentent des concentrations anormalement élevées en éléments métalliques. Ces terrains sont généralement pollués par trois métaux toxiques pour la faune et la flore : le plomb, le zinc et le cadmium. Par ailleurs, ils présentent souvent un déficit nutritif empêchant le développement des végétaux. De telles conditions accroissent, par conséquent, l'érodabilité du sol et entraînent une dispersion des contaminants par des agents physico-chimiques, tels que le ruissellement. L'étude a porté sur la caractérisation de sédiments contaminés provenant d'un site de stockage des Voies Navigables de France, situé sur la commune d'Auby, à 10 Km au nord de Douai (Nord, France). Ces sédiments, issus de la garde d'eau en bordure du canal de la Deûle, sont stockés en bordure d'une ancienne fonderie de plomb et de zinc, mais également à proximité d'un quartier résidentiel. Les éléments métalliques présents sur le site, peuvent donc se retrouver dans le milieu environnant et la chaîne alimentaire. Deux solutions de piégeage des contaminants métalliques ont été envisagées : la phyto-remédiation comprenant la stabilisation et l'extraction par les plantes (phyto-stabilisation/phyto-extraction), ainsi que la sorption par zéolite. Afin d'évaluer l'efficacité de ces solutions, la caractérisation du sédiment, en particulier la détermination des différentes formes physico-chimiques des métaux (spéciation) fut nécessaire. Pour se faire, nous avons utilisé à différentes techniques analytiques complémentaires.

Tout d'abord, l'analyse chimique du sédiment a révélé des teneurs importantes en métaux. Le plomb représente 9,2 % du sédiment total, le zinc, 7 % et le cadmium, 0,5 %. De plus, l'analyse granulométrique laser a montré une texture silteuse (82 % de silts, 10,4 % de sables et 7,6 % d'argiles), qui a été confirmée microscopiquement (fig.1).

Localement, le sédiment est composé de particules opaques (1, fig.1), de fragments végétaux (2, fig.1), de glauconite (3, fig.1) et d'oxy-hydroxydes de fer (4, fig.1). Ces constituants sont associés à des contaminants métalliques. En effet, l'analyse microsonde a révélé la présence de plomb et d'arsenic en association avec de la matière organique ; de plomb, de zinc et d'arsenic en association avec les oxydes de fer ; de zinc en association avec de la glauconite, et de blende (ZnS). Du carbonate de calcium a également été détecté par microsonde et quantifié par calcimétrie (18 % CaCO₃).

L'analyse minéralogique par diffraction des rayons X (DRX) a montré que la fraction silteuse est composée de quartz, de calcite et de feldspaths. De même, la fraction argileuse du sédiment est constituée de smectite, d'illite, de kaolinite et de chlorite. Un essai de détermination de la spéciation des métaux a été effectué par DRX. Cette détermination n'a pas été concluante à l'exception toutefois de la blende, également détecté par microsonde.

Un métal peut être présent dans un sédiment comme dans un sol, sous la forme de carbonates, d'oxydes, de sulfures, associé à de la matière organique ainsi que d'autres formes diverses de composés chimiques. Cette dernière fraction englobe les fractions dites résiduelle et échangeable (Tessier *et al*, 1979). Cette dernière désigne les métaux impliqués dans les processus de sorption/désorption. L'extraction séquentielle (Protocole de Tessier *et al*, 1979) a révélé que le cadmium est facilement mis en solution (fig.2). Ce caractère hydrosoluble est confirmé par les tests de lixiviation à l'eau pure, modélisant l'impact d'une nappe phréatique sur les métaux (jusqu'à 1300 mg.kg⁻¹ de cadmium libéré par le sédiment dans le milieu aqueux).

De la même manière, il a été déterminé que le plomb, le zinc et le cadmium sont principalement associés aux carbonates. Le plomb et le zinc sont également présents en association avec des oxydes de manganèse et de fer.

Le second volet de ce travail porte sur l'impact d'une roche broyée, la zéolite, sur le piégeage des métaux a été évalué. La zéolite est constituée à 80% de clinoptilolite, de montmorillonite, de céladonite et de verre volcanique non altéré (Leggo, 2000). Ce matériau est connu pour son fort pouvoir de sorption. Nous avons donc modélisé par des essais de sorption la capacité de la zéolite à piéger les métaux. Un ordre d'affinité de la zéolite a pu être établi entre les trois métaux étudiés : Pb>>Cd>Zn. De plus, ces expérimentations montrent que dans un milieu à forte compétition ionique, aucun métal n'est sorbé par la zéolite, excepté le plomb. Ce dernier est cependant moins sorbé qu'en l'absence de compétition ionique (fig.3).

(*) UMR-8110 "Processus et Bilans des Domaines Sédimentaires", UFR des Sciences de la Terre, Université des Sciences et Technologies de Lille (Lille 1). E-mail address: alexandradurand@yahoo.fr

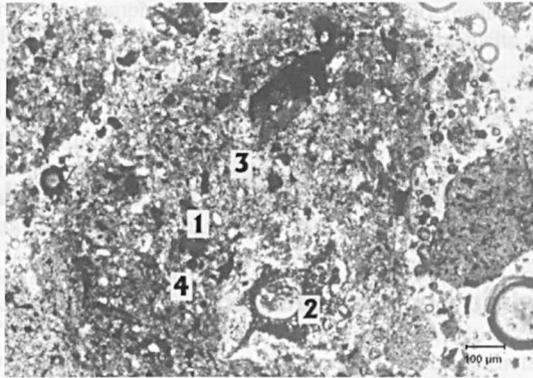


Fig. 1. — Observation au microscope optique en lumière transmise du sédiment d'Auby (légende dans le texte).

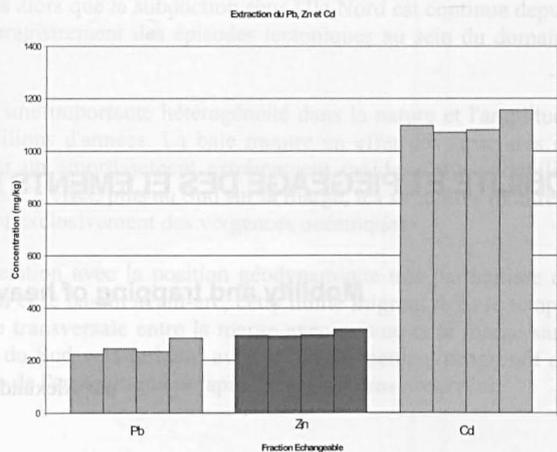


Fig. 3. — Répartition des éléments métalliques dans la fraction échangeable du protocole de Tessier *et al* (1979).

Piégeage du plomb au cours du temps dans différents milieux

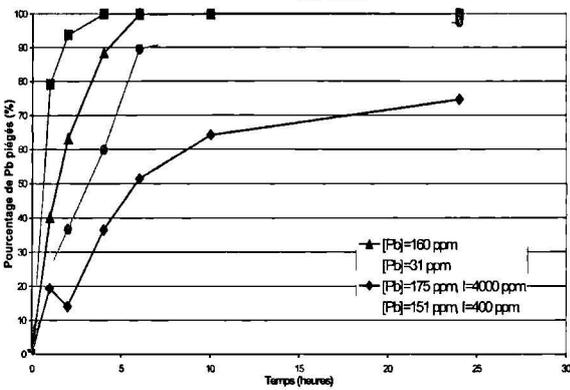


Fig. 2. — Evolution du pourcentage de piégeage du plomb au cours du temps dans différents milieux.

Répartition du Cd dans les feuilles et racines

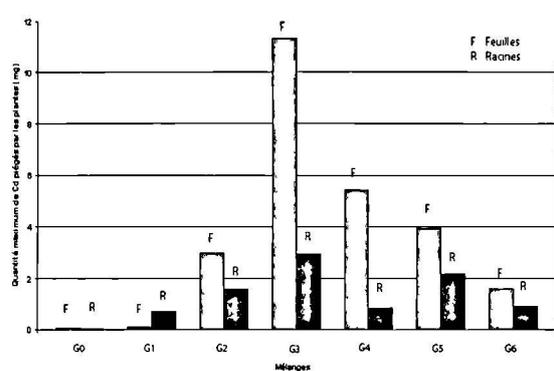


Fig. 4. — Répartition du cadmium dans la totalité des feuilles et des racines suivants différents substrats.

Après avoir évalué l'impact d'un matériau sorbant sur le piégeage des métaux, nous avons étudié l'impact d'un amendement organo-zéolitique sur les éléments métalliques. L'amendement retenu 'z-mix' est composé de zéolite et de fumier de poulet composté (Witter and Lopez-Real (1988), Leggo(2000); Leggo & Ledésert (2001)). Préalablement testé sur du blé, l'efficacité de cet amendement a été évaluée sur *Arabidopsis halleri* (*A. halleri*) : plante se développant spontanément sur des sols contaminés en zinc. Elle est définie dans la littérature comme une plante tolérante et hyper accumulatrice de cadmium et de zinc. Des cultures d'*A. halleri* ont été menées sur différents substrats (G0,...,G6 ; fig.4) composés en proportions diverses de sol de Cambridge (substrat sain, témoin), de sédiment fluviatile d'Auby, de z-mix et de zéolite (Leggo et Ledésert, 2001). Afin de simuler l'impact d'une nappe phréatique sur les métaux contenus dans ces différents substrats, des essais de lixiviation en eau pure ont été menés. Après dosage des métaux en solution, il s'est avéré que la présence d'amendement réduit de près de moitié la quantité de cadmium libéré par le sédiment dans le milieu aqueux. Le cadmium reste pour autant l'élément métallique le plus mobile. L'ajout de zéolite en excès ne semble pas favoriser la libération de plomb, de zinc et de cadmium.

Après culture, nous avons également dosé les métaux piégés dans les végétaux, en séparant les parties aériennes des racines. *A.halleri* accumule particulièrement les métaux dans les tissus aériens, préférentiellement le cadmium et le zinc. Le mélange composé à 65 % de zéolite en excès (G3) conduit à une plus forte accumulation des métaux dans les feuilles et les racines (jusqu'à 11 mg maximum de cadmium piégés dans les feuilles développées sur le substrat G3) (fig.4) en comparaison avec les autres milieux étudiés.

Nous avons ensuite évalué l'influence de la nature du substrat sur le développement végétal. Comme préalablement testé (Leggo & Ledésert, 2001), le z-mix a favorisé un développement racinaire important, améliorant l'ancrage des plantes et la stabilisation de la surface du sol. Le substrat composé à 65 % de zéolite en excès a montré une plus grande efficacité dans le développement végétal, qui est alors proche du témoin non pollué.

En conclusion, la caractérisation du sédiment a mis en évidence la forte mobilité du cadmium au contact de l'eau ; le plomb, quant à lui, est très peu mobile. Etant donné la toxicité de tels métaux, nous avons évalué le piégeage de ces derniers par deux

méthodes. La phyto-extraction s'est révélée adéquate pour extraire le cadmium et le zinc à l'aide d'*A.halleri*. En outre, par le développement racinaire important favorisé par l'amendement 'z-mix', *A. halleri* fixe les particules du sol et par conséquent lutte contre l'érosion. Concernant la zéolite, celle-ci piège de façon préférentielle le plomb. La combinaison des deux compartiments (minéral et végétal) permet donc de piéger le plomb, le cadmium et le zinc, principaux métaux polluants de sols et sédiments. Ces deux approches sont donc complémentaires.

Remerciements. — Ce travail de recherche de DEA est le fruit d'une collaboration entre l'UMR Processus et Bilans des Domaines Sédimentaires, le Laboratoire de Génétique et Evolution des Populations Végétales (P. S aumitou) et le Département Earth Sciences de l'Université de Cambridge (P. Leggo). Je tiens à remercier chaleureusement mes encadrants, B. Ledésert et A. Gauthier, pour leurs précieux conseils et présences.

BIBLIOGRAPHIE

- LEGGO PJ. (2000). — An investigation of plant growth in an organo-zeolitic substrate and its ecological significance. *Plant and soil*. 219. pp 135-146.
- LEGGO PJ & LEDÉSERT B. (2001). — Use of organo-zeolitic fertilizer to sustain plant growth and stabilize metallurgical and wine-waste sites. *Mineralogical Magazine*. 65(5). pp 563-570.
- TESSIER A, CAMPBELL PGC, & BISSON M. (1979). — Sequential extraction procedure for the speciation of particulate metals. *Analytical Chemistry* 51(7). pp 844-851.
- WITTER E & LOPEZ-REAL J. (1988). — Nitrogen losses during the composting of sewage sludge, and the effectiveness of clay soil, zeolites and compost in adsorbing the volatilized ammonia. *Biological Wastes*. 23. pp 279-294.

LES FOSSES DANGÉARD, DES PALÉOVALLÉES TERTIAIRES OU QUATÉRNAIRES ? APPORTS DE LA SISMIQUE HAUTE RÉOLUTION.

par François DELESTRET (*)

Le fond de la Manche est parcouru par un important réseau de paléovallées (Auffret *et al.*, 1980). Parmi elles, les fosses Dangeard sont des fosses sédimentaires de forme oblongue, isolées au milieu du détroit du Pas de Calais. Elles ont été étudiées pour la première fois par Destombes *et al.* (1975) qui les ont interprétées comme des vallées sous-glaciaires saaliennes, bien qu'aucune trace de glaciation n'ait jamais été retrouvée en Manche (Alduc, 1979). Smith (1985) les a plus tard attribuées à un écoulement d'eaux en provenance de la mer du Nord, hypothèse reprise par Gibbard (1995) qui situe cet événement à l'Elstérien et l'associe à l'ouverture du Pas de Calais. Enfin d'après Lericolais (1997), les paléovallées et fosses de la Manche représentent la trace d'un fleuve ayant fonctionné lors des bas niveaux marins du Quaternaire, le Fleuve Manche. Ce fleuve aurait eu pour tributaire les grands fleuves de l'Europe du Nord-Ouest, comme la Seine et la Somme et même, selon certains auteurs, le Rhin et la Tamise (Gibbard, 1995).

Une campagne de sismique haute résolution réalisée en 2002 à l'aplomb des fosses Dangeard a permis de réunir 20 profils, dont 19 sont orientés NE-SW et un seul NW-SE. Parallèlement 25 carottages ont été tentés, dont la plupart ont échoué en raison de la présence d'un gravier de silex sur le fond de la zone. Une seule carotte a pu atteindre le remplissage des fosses et montre deux mètres d'une série silteuse finement laminée, présentant des couches et des lentilles de sable et attribuable à un milieu estuarien.

Une carte d'épaisseur des sédiments (fig. 1) a été réalisée à partir de la numérisation des profils en soustrayant la profondeur du fond des fosses (profondeur calculée en considérant une vitesse des ondes sismiques dans les sédiments de 1800 m.s^{-1}) à la bathymétrie. Elle met en évidence deux fosses, déjà décrites par Destombes *et al.*, (1975). La fosse septentrionale a été nommée fosse Dangeard (Destombes *et al.*, 1975), et est orientée E-SE-W-NW, conformément à la direction des structures tectoniques dans la région (Auffret et Colbeaux, 1977), elle présente une forme rectiligne tandis que la fosse méridionale s'organise en quatre parties : deux bras A et C parallèles à la fosse Dangeard, une fosse centrale B très profonde (100m selon l'estimation de vitesse utilisée), de direction NE-SW s'étendant sur 6 km et atteignant une profondeur de 100m, dont la fosse D constitue la terminaison.

Par ailleurs, les profils sismiques (fig. 2) montrent que les fosses sont constituées d'un remplissage polyphasé d'origine fluviatile caractérisé par quatre phases d'incisions associées à autant d'unités, (D1 à D4 voir fig. 2). Ce remplissage ne semble pas affecté par les failles présentes dans le substrat, même si la fosse Dangeard est incisée au droit de la flexure de Sangatte.

Les fosses s'organisent donc en deux réseaux de vallées, l'un orienté E-O parallèlement aux structures tectoniques (fosses Dangeard, A et C), et l'autre N-S (fosse B), situé dans l'axe du Lobourg (figure 1a), un chenal dépourvu de sédiment connecté au réseau de paléovallées de la Manche, et attribué par Gibbard (1995) à la déviation du Rhin et de la Tamise vers la Manche. Ces deux générations ne peuvent s'expliquer que par l'existence de deux directions d'écoulement différents au cours du Cénozoïque. Le système de vallée E-W représenterait en fait la prolongation du réseau hydrographique terrestre dans le détroit, et se serait incisé pendant ses périodes d'émersion, tandis que la vallée N-S pourrait constituer la trace du passage du Rhin et de la Tamise. La déviation de ces fleuves est toutefois peu vraisemblable (Bridgland et d'Olier, 1995), mais d'autres fleuves ont pu traverser le Pas de Calais, notamment au Messinien et au Saalien en liaison avec les ouvertures du détroit (Van Vliet Lanoë *et al.*, 2004).

Les périodes les plus favorables à la mise en place des fosses se situent entre le Chattien (fin oligocène) et le Messinien (fin Miocène), date de la réouverture du détroit (Van Vliet Lanoë *et al.*, 1998, 2004), et au Pleistocène, entre son exondation à 1,5 Ma et sa dernière ouverture, attribuée à l'Eémien (Meijer et Preece, 1995). Par ailleurs l'importante profondeur des incisions (jusqu'à 100m) nécessite des régressions majeures, l'installation du réseau E-W se serait donc faite soit au Tertiaire, en liaison avec les régressions du Chattien du Burdigalien et du Tortonien, soit au Quaternaire en rapport avec les variations eustatiques associées aux glaciations (stades 22, 16, et 10). Enfin la paléovallée N-S correspondrait à la déviation du Rhin et de la Tamise vers la Manche au cours du Weichselien ou au passage d'un fleuve au travers du détroit en prélude à son ouverture, au Messinien ou au Saalien. Les fosses Dangeard constituent donc une clef pour la compréhension de l'évolution du Pas de Calais et du réseau de paléovallées de la Manche. A ce titre une étude plus détaillée du remplissage à l'aide de sondages carottés profonds fournirait sans aucun doute des éléments importants.

(*) UMR-8110 "Processus et Bilans des Domaines Sédimentaires", UFR des Sciences de la Terre, Université des Sciences et Technologies de Lille (Lille 1)

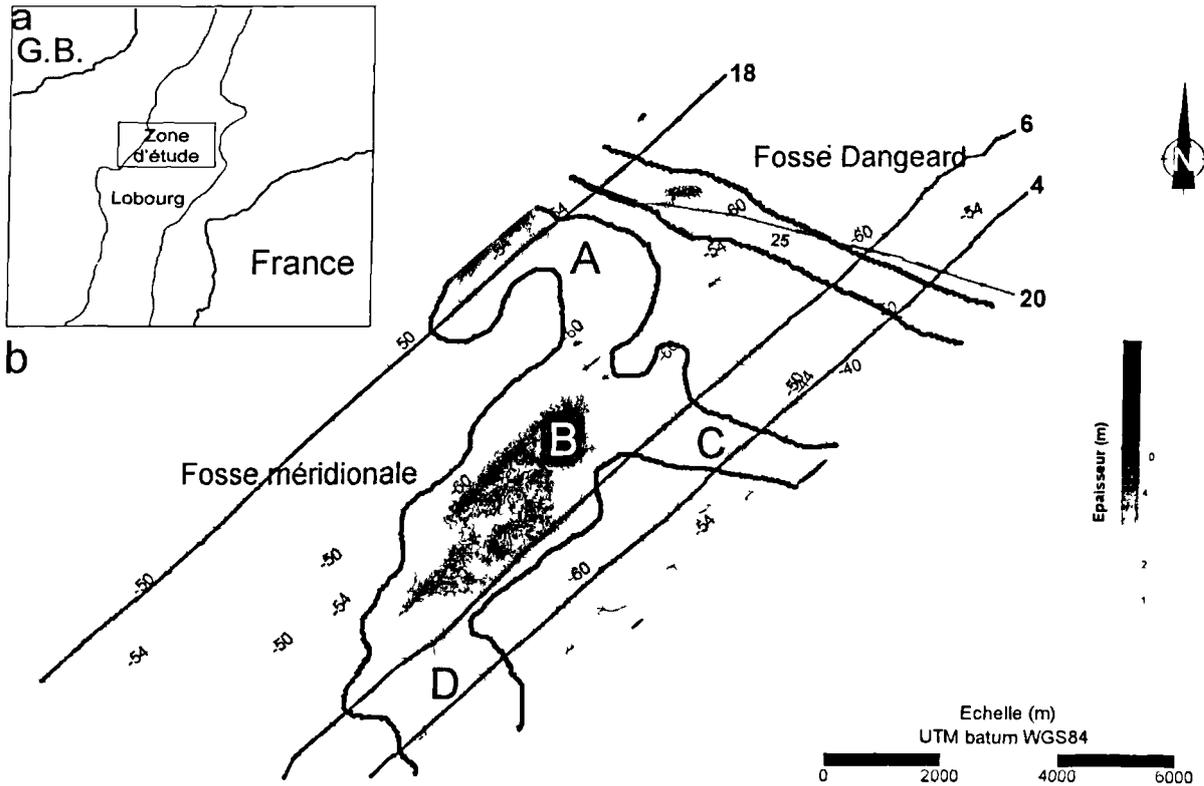


Fig. 1. — a : localisation de la zone d'étude. b : carte d'épaisseur des sédiments dans les fossés et localisation du profil 20.

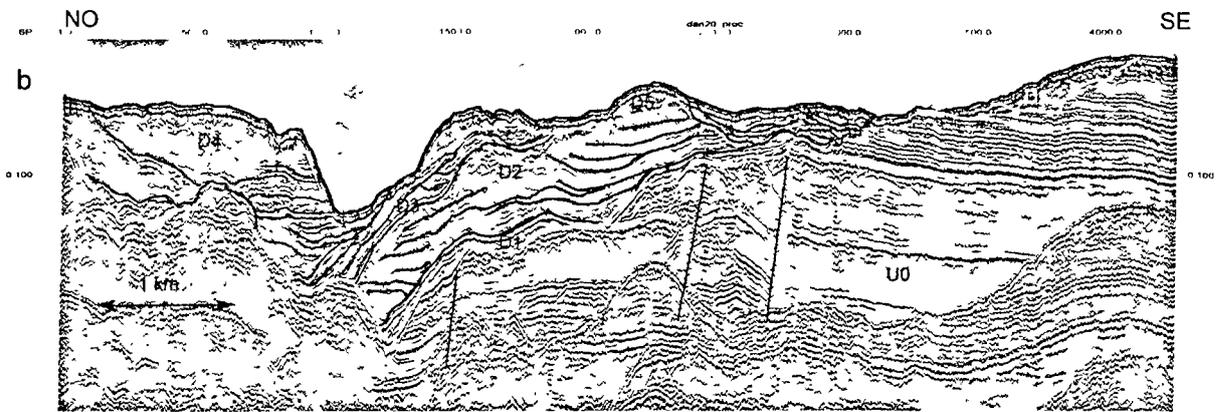


Fig. 2. — Interprétation du profil n°20. Pour la localisation du profil voir figure 1.

BIBLIOGRAPHIE

- ALDUC D., (1979). — La Manche orientale : étude géomorphologique de son réseau de paléovallées. Thèse 3^{ème} cycle, Géographie, Université de Caen, 136p.
- AUFFRET J.P., et COLBEAUX J.P., (1977). — Etude structurale du Boulonnais et de son prolongement sous-marin en Manche orientale. Bull. Soc. Geol. France, 7, t. XIX, n°5, pp. 1047-1055.
- AUFFRET J.P., LARSONNEUR C., et SMITH A.J., (1980). — Cartographie du réseau des paléovallées et de l'épaisseur des formations superficielles meubles de la Manche orientale. An. Inst. Oceanogr. 56, 21-35.
- BRIDGLAND D.R et D'OLIER B.,(1995). — The Pleistocene evolution of the Thames and Rhine drainage systems in the southern North Sea basin., in PREECE R.C, Island Britain: a quaternary perspective, Geological Society Special Publication No. 96, pp 27-45.
- DESTOMBES J.P., SHEPHARD-THORN E.R., et REDDING J.H., (1975). — A buried valley system in the Strait of Dover. Phil. Trans. R. Soc. London, A285, 243-256.
- GIBBARD P.L., (1995). — The formation of the Strait of Dover, in PREECE R.C, Island Britain: a quaternary perspective, Geological Society Special Publication No. 96, pp 15-26.

- LERICOLAIS G., (1997). — Evolution Plio-Quaternaire du Fleuve Manche : stratigraphie et géomorphologie d'une plateforme continentale en régime périglaciaire. Thèse de Docteur Géologie Marine, Université de Bordeaux I ; 265pp.
- MEIJER T. et PREECE R.C., (1995). — Malacological evidence relating to the insularity of the British Isles during the quaternary, in PREECE R.C, *Island Britain: a quaternary perspective*, Geological Society Special Publication No. 96, pp 89-110.
- SMITH A.J., (1985). — A catastrophic origin for the palaeovalley system of the eastern English Channel. *Marine Geology.*, 64, 65-75.
- VAN VLIET-LANOË B., MANSY J.L., MARGEREL J.P., VIDIER J.P., LAMARCHE J., EVERAERTS M., (1998). — Le Pas de Calais : un détroit cénozoïque à ouvertures multiples. *C.R.Acad.Sci*, II a, 326, 729-736.
- VAN VLIET-LANOË B., MANSY J.L., HENRIET J.P., LAURENT M., et VIDIER J.P., (2004). — Une inversion tectonique cénozoïque par étapes : le Pas de Calais. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 2004, t. 175, n°2, pp. 175-195.

MORPHOLOGY AND ULTRASTRUCTURE OF A LOWER CARBONIFEROUS MEGASPORE : *LAGENICULA VARIABILIS* (WINSLOW, 1962) NOV.COMB.

par Caroline ARIOLI (*), Thomas SERVAIS (*) et Charles WELLMAN (**)

Most Paleozoic megaspores were produced by free-sporing, heterosporous, lycopsids. The Early Carboniferous was marked by an increase in the abundance and diversity of several megaspore genera, such as *Lagenicula*, that became dominant in the Upper Carboniferous (Scott and Hemsley, 1996). This rise in abundance/diversity probably reflects the development of forests dominated by large arborescent lycopsids. The study of the megaspore species *Lagenicula variabilis* (Winslow, 1962) nov. comb. from the Lower Carboniferous of Ohio (USA), utilizing LM, SEM and TEM analysis, has provided new information on its gross morphology and wall structure and ultrastructure. This study aims to clarify the taxonomy of this species and its biological affinities, and to draw a reconstitution of the Lower Carboniferous environment.

The specimens investigated come from samples taken from the Cuyahoga and Logan Formations, Wayne County, northeastern Ohio, U.S.A (fig. 1).

The geology of the site as well as the miospore assemblages have been described in detail by Clayton *et al.* (1998). It appears that the Cuyahoga and Logan Formations from Mississippian in age, which corresponds to the Lower Tournaisian in Western Europe based on miospore correlation. Clayton *et al.* (1998) described the depositional environment as nearshore deltaic environment.

Some studies on the light microscope of *Lagenicula variabilis* have been already published (Winslow, 1962 ; Dybova-Jachowicz *et al.*, 1979).

Anteturma *SPORITES* H. Potonié 1893

Turma *TRILETES* (Reinsch 1881) Potonié and Kremp 1954

Subturma *LAGENOTRILETES* Potonié and Kremp (1954) emend. Bhardwaj 1957

Infraturma *GULATI* Bhardwaj 1957

Genus *LAGENICULA* (Bennie and Kidston 1886) Potonié and Kremp 1954, emend. Spinner 1969

Lagenicula variabilis (Winslow, 1962) comb. nov.

1962 *Triletes variabilis* Winslow, p. 34, pl. 7, figs. 3, 4.

1962 *Triletes catenulatus* var. *mixtus* Winslow, p. 33, pl. 7, fig. 2.

1979 *Sublagenicula variabilis* (Winslow) Dybova-Jachowicz *et al.*, p. 415.

1987 *Sublagenicula variabilis* (Winslow) Dybova-Jachowicz *et al.*, p. 10.

Holotype : Winslow (1962), Pl. 7, Fig. 4, Logan Formation, locality 7, maceration 361, slide 3, dry mount (Figure 5).

Occurrence : U.S.A., Cuyahoga, Black Hand and Logan Formation (Lower Mississippian), Ohio (Winslow, 1962).

Description

Megaspores of medium size : overall length (including gula) ranging from 475 μ m to 1,111 μ m; maximum width normal to axis ranging from 424 μ m to 737 μ m, usually compressed laterally or obliquely ; spore body originally probably nearly spherical, pear shaped in profile. Apical prominence (gula) well developed, more or less basally constricted, ranging from 176 μ m to 429 μ m in height and from 198 μ m to 440 μ m in width, sometimes splitting apart into two or three valves. Contact areas relatively

(*) USTL, Sciences de la Terre, SN5, Laboratoire de Paléontologie et Paléogéographie du Paléozoïque, UMR 8014 du CNRS, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, France

(**) The University of Sheffield, Western Bank, Sheffield, S10 2TN, UK



Fig. 1 – Localisation of OHIO, Wayne County and Wooster, the site investigated.

large (about three-fourths of proximal surface in transverse plane). Arcuate ridge often distinct, marked by a crown either of spines of same length as more distal spines, or of closely spaced verrucae (fig. 3). Spore body more or less densely covered by two types of ornamentation : long spines (44.8 to 180 μm tall) and subsidiary small spines (2.5 to 56 μm tall) and/or verrucae (3 to 4 μm tall) (fig.2). Gula and contact areas laevigate or covered by verrucae (2.2 to 6.6 μm tall) and/or small spines (4 to 33 μm tall). Spines discrete, bi- or trifurcate, having a fluted shape with a bulbous base sometimes openwork (fig.4). Spines bases smooth while extremities rather rough.

Ultrastructure

Six specimens were investigated. The exospore is between 15 and 30 μm thick. It is composed of two layers (fig. 5-6) that are a thick, spongy outer layer (outer exospore) and a very thin inner layer (inner exospore or basal lamina). The outer exospore constitutes the almost whole wall thickness. In its inner part, it consists of small sporopollenin elements that are globular or slightly elongated tangentially (i.e. parallel to the spore surface), more or less spaced and hardly interlinked. These units are gradually larger and more closely fused towards the outer spore surface. In the superficial part of the outer exospore, they are often highly crushed and fused, forming a compact network. Their dominant orientation is globally radial (i.e. perpendicular to the wall surface). The inner exospore is a thin layer ($1,5 \cdot 10^{-2} \mu\text{m}$ to $21,7 \cdot 10^{-2} \mu\text{m}$ thick), compact and continuous, lining the lumen (fig. 7). The gula has the same structure than the spore body, but the superficial elements are not highly fused and form a network with numerous small cavities. Ornaments are composed of units of sporopollenin very densely compressed with few cavities.

Discussion

Despite a wide range of variability in morphological features (number, length and structure of spines) observed using LM and SEM, the specimens have a similar ultrastructure (TEM). Thus, we think that they all belong to the same species. *Lagenicula variabilis* presents the structural features of the *Lagenicula* genus and of the ancient and living lycopsid megaspores (Lugardon *et al.*, 2000): a spongy matrix composed of small globular to lamellate units overlying a basal lamina around the spore cavity and more and more large fused units towards the outside of the exospore. The function to the sporoderm is not only to protect the cytoplasmic content but also to allow free passage of substances from the tapetum to the cytoplasm during development. The later forms of *Lagenicula*, which have a very dense exospore, have maybe lost the necessity of water retention, possibly due to dispersal in a moister environment (Hemsley *et al.*, 1994). *Lagenicula variabilis* is clearly morphologically and structurally distinct from Devonian or Lower Carboniferous species like *Lagenicula horrida* Zerdmt, *Lagenicula crassiaculeata* Zerdmt or *Sublagenicula nuda* (Novak and Zerdmt) Dybova-Jachovicz *et al.* *Lagenicula variabilis* rather tends to look like the better known Upper Carboniferous megaspores. This suggests that they may have been produced by lycopsids in similar moist environments and therefore that arborescent lycopsids typical of the Upper Carboniferous Coal Measure forests could be present in the Lower Carboniferous.

Important events in the story of plant terrestrialization, such as rise of heterospory in the Devonian, are poorly known. The ultrastructural study of spores could be of great help for our understanding of land-plant evolution and the affinities between the different groups, but we need further studies, particularly on Devonian and Lower Carboniferous spores. Ontogeny and spore wall functions are very interesting to investigate, but *sporae dispersae* rather than *in situ* spores are much more difficult to interpret, because of the lack of abortive spores which give us the first stages of spore development, and of the lack of the mother-plant which could allow to rely megaspores, miospores and plant taxa.

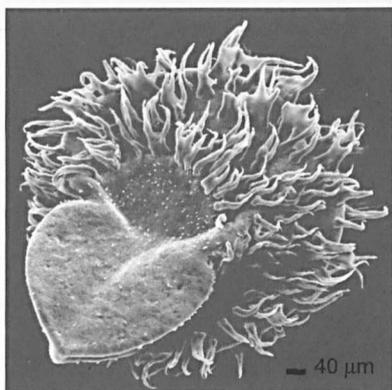


Fig.2. — SEM. Whole megaspore

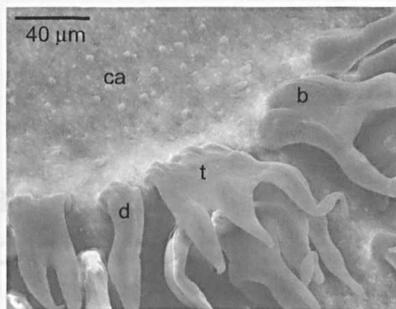


Fig.3. — SEM. Contact area (ca) with its crown of spines, discrete (d), bifurcate (b) and trifurcate (t).

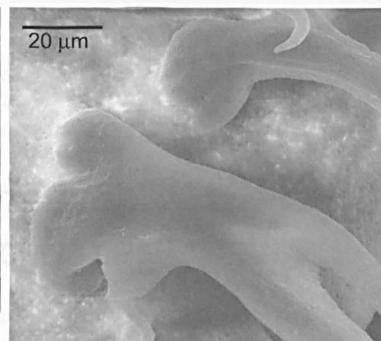


Fig.4. — SEM. Detail of a bifurcate spine with its fluted, bulbous openwork base

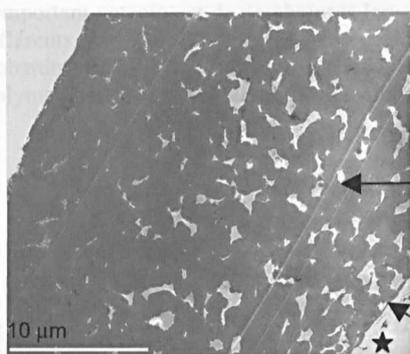


Fig.5. — TEM. Exospore in two layers, inner exospore (ie) and outer exospore (oe). Star = lumen.

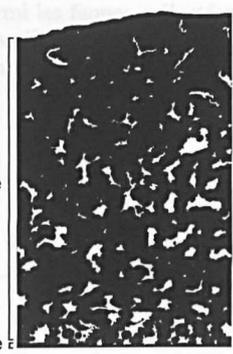


Fig.6. — Ultrastructural block from Fig.5. Scale bar = 10 μ m

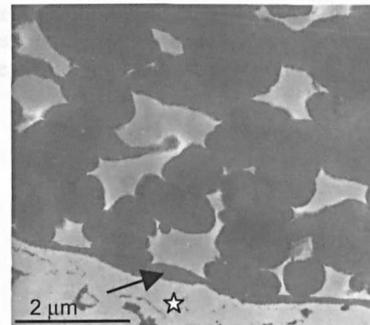


Fig.7. — TEM. Detail of the lumen (star), the inner exospore (arrow) and the outer exospore.

BIBLIOGRAPHIE

- CLAYTON G., MANGER W.L., OWENS B., (1998). — Mississippian (Lower Carboniferous) miospores from the Cuyahoga and Logan formations of northeastern Ohio, USA. *J. micropalaeontol.* 17, 183-191.
- DYBOVA-JACHOWICZ S., JACHOWICZ A., KARCZEWSKA J., LACHKAR G., LOBOZIAK S., PIERART P., TURNAU E., ZOLDANI Z., (1979). — Note préliminaire sur la révision des mégaspores à gula du Carbonifère. Les principes de la classification. *Acta Palaeont. Polon.* 24 (4), 411-422.
- HEMSLEY A.R., CLAYTON G., GALTIER J., (1994). — Further studies on a late Tournaisian (Lower Carboniferous) flora from Loch Humphrey Burn, Scotland: spore taxonomy and ultrastructure. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 81, 213-231.
- LUGARDON B., GRAUVOGEL-STAMM L., DOBRUSKINA I., (2000). — Comparative ultrastructure of the megaspores of the Triassic lycopsid *Pleuromeia rossica* Neuburg. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des Planètes* 330, 501-508.
- SCOTT A.C., HEMSLEY A.R., (1996). — Chapter 18G. Palaeozoic megaspores. In: Jansonius, J., McGregor, D.C. (Eds), *Palynology: principles and applications. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, vol.2*, pp. 629-639.
- WINSLOW M., (1962). — Plant Spores and Other Microfossils from Upper Devonian and Lower Mississippian Rocks of Ohio. *Geol. Surv., Prof. Paper* 364, 1-93.

BIODIVERSITE ET BIODISPARITE : LES ASSOCIATIONS DE TRILOBITES ORDOVICIENS DE MANCHE

par Laurent DUBOIS (*), Catherine CRÔNIER (*) et Philippe COURVILLE (**)

Les trilobites du Massif Armoricain ont déjà fait l'objet de nombreux travaux (Henry, 1982, 1989). Plusieurs gisements inédits du Cotentin (Nord du Massif Armoricain, fig. 1) ont livré récemment des faunes abondantes et bien conservées, comportant notamment de nombreuses larves. Parmi les faunes collectées dans des argilites silteuses, 134 spécimens préservés à différents stades de l'ontogenèse ont été étudiés. Ils proviennent des "Schistes à Calymènes" auct. (F. de Beaumont *sensu* Robardet, 1981), d'âge Darriwilien (Ordovicien moyen). Ces spécimens appartiennent à quatre principales familles : Illaenidae, Calymenidae, Homalonotidae et Dalmanitidae.

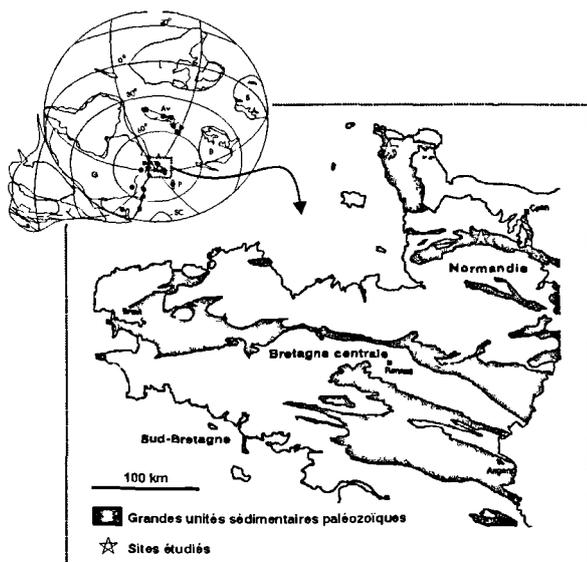


Fig. 1. — Localisation géographique des sites étudiés. Massif Armoricain : cadre géographique modifié d'après Robardet, 1981 ; fond palinspastique modifié d'après Servais *et al.* 2003.

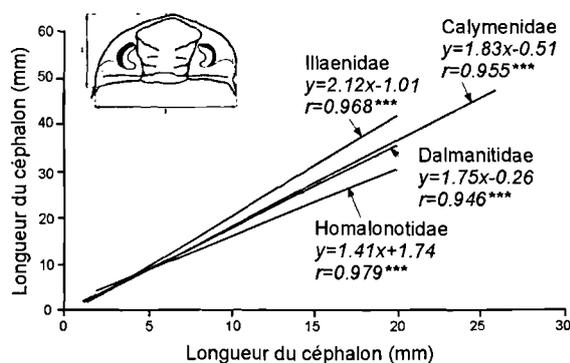


Fig. 2. — Diagramme de dispersion longueur vs largeur (céphalons).
Illaenidae : n=15; Calymenidae : n=37; Dalmanitidae : n=63 ;
Homalonotidae : n=9).

L'étude des changements au cours de la croissance, de la largeur du céphalon en fonction de sa longueur, a montré des trajectoires similaires pour *Neseuretus* et *Salterocoryphe*, la trajectoire de *Kerfornella* étant indépendante (fig. 2) ; ceci va dans le sens de la classification utilisée depuis le milieu des années 90, *Neseuretus* et *Salterocoryphe* étant attribués aux Calymenidae, *Kerfornella* aux Homalonotidae. De nombreux stades juvéniles de Dalmanitidae apparaissent dans nos échantillons. La comparaison avec les courbes précédentes montre des similitudes de développement avec les Calymenidae, excepté en fin de croissance.

Afin de compléter l'analyse bivariée, les méthodes de morphométrie géométrique ont été utilisées.

(*) USTL, Sciences de la Terre, SN5, Laboratoire de Paléontologie et Paléogéographie du Paléozoïque, UMR 8014 du CNRS, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, France

(**) Université de Rennes 1, Bât. 15, Géosciences Rennes, UMR 6118 du CNRS, 35042 Rennes Cedex, France

L'analyse des déformations relatives (Bookstein, 1996), recommandée par Rohlf (1993) pour les études exploratoires, décrit la morphologie des organismes par un ensemble de points homologues (Bookstein, 1991).

La variabilité morphologique des Dalmanitidae a été étudiée à partir de 51 céphalons attribués aux genres *Eodalmanitina*, *Dalmanitina* et *Crozonaspis*. Les deux premiers axes de forme suffisent à définir 52,16 % de la variabilité (fig. 3). Le premier axe de forme (31,49%) traduit les variations des proportions de la glabelle, visualisées par des vecteurs exprimant la direction et l'amplitude des mouvements de chacun des points homologues (fig. 3A). Les trois genres ne sont pas différenciés sur cet axe. Deux raisons sont possibles : caractère non pertinent ou compression/dilatation trop accentuées. Le deuxième axe de forme (20,67%) traduit les variations de la proportion relative de l'œil. *A priori*, les trois genres sont différenciés sur cet axe : *Dalmanitina* est caractérisé par de petits yeux, *Crozonaspis* par des yeux moyens et *Eodalmanitina* par de grands yeux.

Les affinités écologiques des trilobites du Massif Armoricain ont déjà été évoquées par Henry (1980, 1989). Il y définit plusieurs associations fauniques à valeurs environnementale et/ou biochronologique.

Nos prélèvements mettent en évidence une diversité plus grande que celle connue dans la Formation de Beaumont, ou que celle évoquée par Henry pour la Formation de May. Ont été reconnus d'autres Dalmanitidae, mais aussi plusieurs Calymenidae, Asaphidae, Lichidae, Odontopleuridae, Cheiruridae, Homalonotidae, Illaenidae... (= "association 2" (?) ou "association 3" (?), plutôt llandeilienne? in Henry, 1980) (fig. 4).

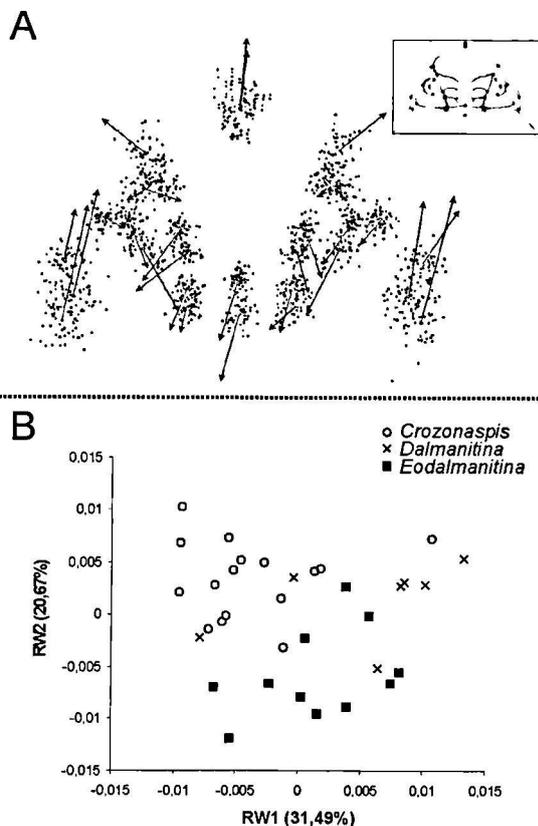


Fig. 3. — A) Vecteurs exprimant la direction et l'amplitude des mouvements de chacun des points homologues selon le premier axe de forme ; B) distribution des Dalmanitidae dans l'espace de forme défini par les deux premiers axes.

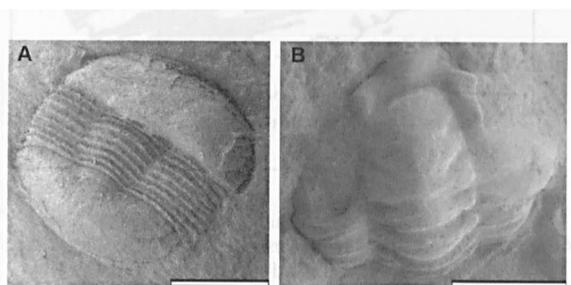


Fig. 4. — Trilobites du Cotentin d'âge Darriwilien. A) *Ectillaenus giganteus* (Burmeister, 1843) ; B) *Neseuretus tristani* (Brongniart, 1822). Echelle : 2 mm.

La diversité élevée de ce gisement s'explique au moins partiellement par un mélange de faunes regroupées dans le milieu de dépôt : celui-ci est caractérisé par la décantation de particules fines ("argilites"), typique d'un réceptacle marin relativement distal et/ou profond.

A ce titre, les Dalmanitidae et les Illaenidae, dont les larves sont également abondantes, constituent vraisemblablement la frange autochtone de la faune. Leur conservation complète, soit à l'état de mues, soit en individus intègres, va également dans ce sens. A l'inverse, comme déjà évoqué dans la littérature, *Neseuretus*, est plus rare, et pourrait être issu de milieux plus

proximaux et/ou moins profonds. Ces trilobites sont représentés par des individus incomplets, généralement des cranidium ou des segments isolés et fragmentés.

En fait, deux modes de fossilisation existent dans le gisement : (1) un premier, correspondant à des fossiles rencontrés dans la masse du sédiment, et dans lequel les éléments exotiques peuvent être acheminés avec une grande régularité par des courants le long d'une pente faible ; les éléments autochtones y sont très largement prédominants ; (2) un second, correspondant à des fossiles accumulés et extrêmement fragmentés sur des surfaces de bancs ; elles traduisent des arrivées brutales et massives d'éléments allochtones où la plupart des organismes sont détruits. Ces surfaces de bancs livrent très majoritairement des *Neseuretus*. La mise en place rythmique de ces niveaux peut être expliquée par des événements violents et instantanés (tempêtes), détruisant les communautés en amont.

Remerciements. — Les auteurs remercient F. Paris, M. Robardet et A. Bernard (Géosciences Rennes) pour leurs aides et conseils.

BIBLIOGRAPHIE

- BOOKSTEIN F. L., (1991). — Morphometric tools for Landmark data-geometry and biology. *Cambridge University press*, Cambridge, p. 1-435.
- BOOKSTEIN F. L., (1996). — Combining the tools of geometric morphometrics. *NATO ASI (Adv. Sci. Inst.) Ser. Ser. A Life Sciences*, 284, p. 131-151.
- HENRY J.-L., (1980). — Trilobites ordoviciens du Massif armoricain. *Mém. Soc. Géol. Minéral. Bretagne*, 22, p. 1-250.
- HENRY J.-L., (1989). — Paléoenvironnements et dynamique de faunes de trilobites dans l'Ordovicien (Llanvirn supérieur - Caradoc basal) du Massif armoricain (France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 73, p. 139-153.
- ROBARDET M., (1981). — Evolution géodynamique du Nord-Est du Massif armoricain au Paléozoïque. *Mém. Soc. géol. minéral. Bretagne*, 20, p. 1-84.
- ROHLF F. J. (1993). — Relative warp analysis and an example of its application to mosquito wings. In : Marcus, L. F., Bello, E. et Garcia-Valdecasas, A. (eds.), *Contributions to Morphometrics. Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC)*, Madrid, p. 131-159.
- SERVAIS T., LI, J., MOLYNEUX S., RAEVSKAYA E., (2003). — Ordovician organic-walled microphytoplankton (acritarch) distribution: the global scenario. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 195, p. 149-172.

VARIATIONS OU RUPTURES DANS LA BIODIVERSITE AUTOUR DE LA LIMITE TRIAS- JURASSIQUE : L'EXEMPLE DES MICRORESTES DE VERTEBRES DANS LES ENVIRONNEMENTS PARALIQUES

par Steven BARBE (*), Philippe COURVILLE (**), Claire DERYCKE (*) et Catherine CRÔNIER (*)

Le Rhétien correspond à un étage mal défini, généralement reconnue par un faciès transgressif. Etudié à Tegernsee en 1831 par von Buch et défini dans les Alpes Rhétiques, il a souvent été considéré comme infra-liasique. Il n'a été établi comme dernier étage du Trias que récemment. Depuis 1979, la « Subcommission on Triassic Stratigraphy » a choisi d'intégrer le Rhétien au Trias ; cette décision a été entérinée en 1992. Définies par des transitions fauniques majeures, les limites de systèmes sont corrélées avec d'importants renouvellements fauniques ("crise biologique"). Actuellement, la réalité de ces événements est discutée, particulièrement pour la limite Trias/Jurassique. En Europe nord occidentale, cette limite est marquée par un bone-bed rhétien. Les faunes de Bourgogne ont été étudiées, avec pour objectifs : (1) établir l'inventaire α -taxonomique ; (2) mettre en évidence les renouvellements en comparant les faunes ; (3) évaluer l'origine des changements éventuellement observés. Les points de prélèvements se situent à Vitteaux (Côte d'Or) et à Milly-Lamartine (Saône-et-Loire). Du matériel d'autres localités et de plusieurs collections a également été pris en compte : collection Courville (Rennes), collection du Musée municipal de Semur-en-Auxois (Côte d'Or), échantillons de Lorraine française et du Grand-Duché de Luxembourg. Plusieurs dizaines de kilogrammes de sédiments ont été prélevés pour étude dans les niveaux encadrant la limite Trias/Jurassique. La morphologie, l'ultrastructure et l'histologie des microrestes ont été analysées au MEB et/ou au microscope polarisant. Les collections d'âge Norien et Rhétien de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique et du Musée National d'Histoire Naturelle du Grand-Duché de Luxembourg ont été examinées afin de préciser les déterminations.

La limite Trias/Jurassique est très rarement observable en Bourgogne. Les niveaux détritiques argileux ou gréseux autour de cette limite n'affleurent de façon pérenne qu'à Vitteaux. Le niveau conglomératique ressemble au niveau connu dans d'autres localités de l'Est de la France : grès ocre orangé, compact, avec inclusions. Les dépôts encadrant le conglomérat rhétien sont constitués de minéraux argileux et micacés (sils). L'absence d'éléments grossiers suggère un milieu de dépôt de faible énergie. A Milly-Lamartine, a été observé un sable quartzéux, très argileux, proche de ce qui est connu en Lorraine. L'analyse morphoscopique et exoscopique des grains de quartz montrent la double provenance marine ou continentale des grains (émoussés-luisants traduisant une usure d'origine marine ; ronds-mats indiquant une usure d'origine éolienne suggérant la proximité d'un désert aride). Certains de ces grains présentent des traces d'une reprise de l'usure tendant alors vers le stade émoussé-luisant, suggérant une remobilisation par la houle (usure éolienne, puis usure hydraulique) (Le Ribault, 1977).

Les principaux taxons identifiés (*Hybodus minor* AGASSIZ, 1837, *Lissodus minimus* AGASSIZ, 1834 et *Pseudocetorhinus pickfordi* Duffin, 1980) sont caractéristiques du Rhétien européen (Cuny, 1993). Ces espèces dominent la paléoichthyofaune, si on considère le nombre élevé de dents retrouvées. Les convergences de forme entre les dents (et les écailles) de taxons différents conduisent à une sous-estimation de la biodiversité. Près de la moitié des couronnes de *L. minimus* présente des traces d'abrasion, lesquelles peuvent être aussi bien dues à une usure normale du vivant de l'animal (nutrition), qu'à une usure mécanique post-mortem liée à la turbidité du milieu (une grande partie des couronnes pourraient avoir une origine allochtone). L'abondance relative des synechodontes est estimée, quant à elle, à partir des écailles. De fait, les Synechodontiformes ont une forte représentativité au sein des sclaciens. Deux dents attribuables à des reptiles mammaliens (cynodontes) ont été découvertes à Milly-Lamartine (*Pseudotriconodon* sp., *Gaumia* sp.). Elles ne satisfont pas aux critères diagnostiques pour une identification spécifique. La faune indique un milieu aquatique, marin et peu profond. La proximité du littoral est suggérée par des éléments paléontologiques (abondance des Hybodontiformes, présence de débris ligneux) et des indices sédimentologiques (grains de quartz éoliens). L'absence de pièces osseuses en connection anatomique et l'état fragmentaire des macrorestes montrent que le milieu est agité ; cette turbidité gêne la préservation éventuelle de malacofaune.

Au niveau générique, et d'après nos données (Barbe, 2004), la biodiversité change peu entre le Trias et le Jurassique (fig. 1). Chez les sclaciens, seuls *Pseudodalatias* et *Pseudocetorhinus* ne passent pas la limite. Ces formes sont spécifiques de la transgression norio-rhétienne. Leur extinction répond à la régression qui s'est amorcée dès la fin du Rhétien. Bien qu'assez moderne, *Synechodus* est déjà connu au Norien. Certains de ces morphotypes denticulaires se retrouvent dans le Ladinien

(*) USTL, Sciences de la Terre, SN5, Laboratoire de Paléontologie et Paléogéographie du Paléozoïque, UMR 8014 du CNRS, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, France

(**) Université de Rennes 1, Bât. 15, Géosciences Rennes, UMR 6118 du CNRS, 35042 Rennes Cedex, France

canadien. Chez les actinoptérygiens, les changements semblent plus importants. Les phytosaures (*Rutiodon*) persistent jusqu'au début de l'Hettangien. Au niveau spécifique, l'absence de fossiles hettangiens donne une image biaisée de la biodiversité régionale. En écologie, la notion de diversité recouvre deux aspects : la richesse, c'est-à-dire le nombre de catégories d'éléments de la ou des communautés considérées, et la régularité, c'est-à-dire la répartition du nombre total des éléments recensés parmi les catégories (para)taxonomiques. Les indices de Shannon-Weaver et de régularité de Pielou révèlent une diversité faible et une régularité médiocre. Certaines des (para)espèces sont probablement synonymes : cas de *H. minor*, *H. sublaevis* et *N. monilifer*. Les synonymes peuvent « enfler » artificiellement la biodiversité et l'importance d'un renouvellement faunistique en véritable crise biologique.

En fait, l'association rhétienne comprend *H. minor*, *L. minimus*, *P. pickfordi*, *Gyrolepis* sp., *B. acuminata*, *S. tomicus*, etc. Pourtant, seule l'espèce *P. pickfordi* est exclusivement rhétienne. Cette association présente des éléments bien établis au Trias, mais également des taxons qui perdurent jusque dans l'Hettangien et le Sinémurien, tels que les néosélaciens avec des formes intermédiaires entre les Hybodontiformes et les Synechodontiformes : « *Hybodus* » *minor* ; *Romphaiodon nicolensis* ; et des formes plus modernes : *Synechodus rhaeticus* ; *P. pickfordi* ; *Grozonodon candau*. Le remplacement des eusélaciens par les néosélaciens est progressif. Cela s'accompagne d'un changement de régime alimentaire puisque les hybodontes (eusélaciens) deviennent durophages et les néosélaciens, des prédateurs (Cuny, 1993).

A Vitteaux comme dans l'Est de la France, la transgression rhétienne a induit le développement, et permis la préservation d'une ichthyofaune riche et variée ; les sédiments sont liés à des milieux de dépôt franchement marins, bien que non isolés des influences terrestres. Localement, la tendance régressive fini-rhétienne se traduit par des niveaux argileux noirs sans faune apparente, de milieu paralytique ou continental. Le nouvel épisode transgressif hettangien réintroduit, dans la série, des faciès analogues à ceux du premier épisode rhétien (de milieu analogue?), mais dans lesquels de petits coprolites ont seuls été récoltés. Postérieurement, les niveaux sinémuriens traduiront une « marinité » de plus en plus prononcée, avec leur cortège « classique » de poissons, crocodiliens, ichthyosauriens...

Du point de vue diversité, notre documentation paléobiologique est très faible de part et d'autre de la limite Trias/Jurassique : absence fini-rhétienne et très forte réduction hettangienne. Cette faiblesse pourrait dépendre *pro parte* de problèmes de préservation, et *pro parte* des changements environnementaux contrôlés par les pulsations régressives-transgressives. Il n'est pas possible de démontrer que l'absence ou la rareté des microrestes de vertébrés soit la traduction d'une crise biologique.

En fait, nos données et les informations de la littérature suggèrent la relative faiblesse des changements fauniques entre le Trias et le Jurassique en Europe : il n'y a pas de bouleversement radical d'un étage à l'autre. Par contre, la limite Carnien-Norien semblerait correspondre à une période de crise (Cuny, 1993). Notons que la diversité des vertébrés hettangiens est sans doute insuffisamment connue. *A priori*, le terme « événement biologique » paraît inapproprié, tant à l'échelle locale qu'europpéenne.

	TRIAS				JURASSIQUE	
	Ladinien	Carnien	Norien	Rhétien	Hettangien	Sinémurien
<i>Acrodus</i>	—	—	—	—	—	—
<i>Hybodus</i>	—	—	—	—	—	—
<i>Polyacrodus</i>	—	—	—	—	—	—
<i>Lissodus</i>	—	—	—	—	—	—
<i>Pseudodalatias</i>			—	—		
<i>Synechodus</i>	—	—	—	—	—	—
<i>Pseudocetorhinus</i>				—		
<i>Saurichthys</i>	—	—	—	—	—	—
<i>Gyrolepis</i>	—	—	—	—	—	—
<i>Birgeria</i>	—	—	—	—	—	—
<i>Colobodus</i>	—	—	—	—	—	—
<i>Sargodon</i>	—	—	—	—	—	—
<i>Lepidotes</i>				—	—	—
<i>Pseudolepidotes</i>			—	—		
<i>Dapedium</i>			—	—	—	—
<i>Ceratodus</i>	—	—	—	—	—	—
<i>Ichthyosaurus</i>				—	—	—
<i>Rutiodon</i>	—	—	—	—	—	—
<i>Pseudotricodon</i>			—	—		

Fig. 1.— Distribution des principaux genres de part et d'autre de la limite Trias/Jurassique.

Remarquons que cela avait déjà été constaté dès 1863 par Martin. Bien que ce dernier reconnaissait le rattachement du Rhétien au Trias pour des raisons lithologiques et stratigraphiques, ses observations paléontologiques lui firent conclure que la faune rhétienne ne présentait pas de différence remarquable avec la faune hettingienne. Le Rhétien apparaît ainsi comme triasique par sa lithologie, mais aussi liasique par son contenu paléontologique.

BIBLIOGRAPHIE

- BARBE S., (2004). — Variations ou ruptures dans la biodiversité autour de la limite Trias-Jurassique : l'exemple des microrestes de vertébrés dans les environnements paraliques. Mémoire DEA BEFA, USTL, Villeneuve d'Ascq, p. 1-59.
- CUNY G., (1993). — Evolution des faunes de vertébrés à la limite Trias-Jurassique en France et au Luxembourg : implications à l'Europe Occidentale. Unpubl. PhD., Université Pierre et Marie Curie-Paris 6, Paris, p. 1-234.
- LE RIBAUT L., (1977). — L'exoscopie des quartz. Techniques et méthodes sédimentologiques. Collection publiée sous la direction de A. Rivière, édition Masson.
- MARTIN J., (1863). — De la zone à *Avicula contorta* et du bone-bed de la Côte d'Or. *Mémoires de l'Académie des Sciences, Arts et Belles Lettres de Dijon*, tome XI, p. 1-79.

BIODIVERSITE DES VERTEBRES EODEVONIENS A PARTIR DE L'ETUDE DES GISEMENTS DE WIHERIES ET DE PALISEUL (BELGIQUE)

par Lucie PILLE (*), Alain BLIECK (*), et Catherine CRONIER (*)

Le Dévonien inférieur de l'Ardenne belge renferme de nombreuses localités fossilifères, telles que Wihéries et Paliseul. Les Vertébrés récoltés dans ces carrières sont essentiellement des Ptéraspidiformes ("Agnathes", Hétérostracés). Ceux-ci ont fait l'objet de nombreuses études et servent notamment à établir des corrélations biostratigraphiques ou participent à l'interprétation du milieu de sédimentation des Vieux Grès Rouges (VGR), encore très controversée de nos jours (Pille, 2004).

Le matériel provenant des grès et quartzites de la Formation du Bois d'Ausse de la carrière de Wihéries, datée du Praguien supérieur, a déjà été étudié mais il nécessitait une révision. Celui de Paliseul, récolté récemment dans les "schistes aimantifères" de la Formation de St Hubert, datée du Lochkovien, est étudié en vue d'être identifié. Ce matériel fossile est constitué essentiellement de macrorestes de Vertébrés (plaques dermiques et écailles) et plus particulièrement d'Hétérostracés. Il est abondant et comprend la quasi-totalité des différentes plaques caractéristiques d'un Ptéraspidiforme. Ces fossiles proviennent d'individus à divers stades de leur développement. Certains spécimens sont fragmentaires ou déformés.

Différentes études ont été effectuées : une étude taxonomique en vue de décrire et de classer les macrorestes, une étude biométrique pour permettre l'attribution à un genre des plaques dermiques isolées, une analyse cladistique pour situer les genres étudiés au sein des Ptéraspidiformes et une contribution aux problèmes de stratigraphie et de paléoécologie.

Deux espèces de Ptéraspidiformes sont définies pour le gisement de Wihéries, à savoir *Althaspis leachi* (White, 1938) et nov. gen. 1 *wiheriesiensis*. Cette dernière espèce, connue depuis plus d'un siècle, ne correspondait à aucun genre déjà étudié. En effet, le patron général des plaques principales, c'est-à-dire leur nature et leur disposition, permet de rattacher ces spécimens à l'ordre des Ptéraspidiformes mais le genre est en revanche plus difficile à déterminer (fig.1). Certains caractères comme la forme de la plaque pinéale, le système sensoriel ou encore les longues plaques branchiales, nous permettraient a priori de l'attribuer au genre *Europrotaspis* White, 1961. Cependant, sur les spécimens étudiés, les rapports des plaques branchiales et du disque dorsal, ainsi que l'emplacement de l'orifice branchial ne correspondent pas à ce genre. L'organisation de la région branchiocornuale ne concorde pas à celle que White (1961) a proposée pour *Europrotaspis*. D'après cet auteur, l'ouverture branchiale est limitée latéralement par une plaque cornuale étroite située au coin postérolatéral du disque dorsal. Sa région branchiocornuale particulière, son absence de plaques cornuales et ses longues plaques branchiales arquées impliquent l'appartenance de cette espèce à un nouveau genre. Les spécimens inédits provenant de Paliseul sont rapportés quant à eux à l'espèce *Althaspis leachi*. Cela permet une comparaison entre les spécimens d'*Althaspis leachi* de Paliseul et de Wihéries. Cette dernière localité délivre essentiellement des stades juvéniles identifiés grâce à l'analyse biométrique tandis que les Hétérostracés rencontrés à Paliseul ne représentent que des stades adultes.

La variabilité du système sensoriel en fonction du stade de développement correspond à l'un des points intéressants de cette étude. L'observation des différents spécimens de Ptéraspidiformes montre une disposition du système sensoriel différente suivant les stades de développement et une croissance des disques dorsaux et ventraux plus rapide à l'avant qu'à l'arrière. En effet, l'observation du tracé des commissures transversales de ce système nous montre que la croissance s'effectue par stades successifs : un stade juvénile au cours duquel les commissures sont orientées vers les bords extérieurs et un stade adulte au cours duquel elles sont tournées vers l'avant.

L'interprétation des caractères morphologiques permet de mettre en relation la faune et les lithofaciès. Chaque faciès est caractérisé par une faune spécifique. Paliseul et Wihéries sont considérées comme appartenant à l'ichthyofaciès IIA (sensu Blicck, 1982). Les ichthyofaciès possèdent une signification géographique, paléontologique et sédimentologique. Ils se distinguent surtout par leur contenu faunique (essentiellement les assemblages successifs de Vertébrés aquatiques) et leur faciès sédimentaire (Blicck, 1985). L'ichthyofaciès IIA est représenté par des formes possédant des structures homologues très réduites, telles que les plaques cornuales. Celles-ci sont absentes chez nov. gen. 1 *wiheriesiensis*. La morphologie traduit une adaptation au milieu hydrodynamique. Ainsi une forme plus allongée comme celle d'*Althaspis leachi* permet une meilleure adaptation à la nage tandis qu'une forme plus large et plus aplatie comme celle de nov. gen. 1 *wiheriesiensis* traduit une adaptation à la vie benthique.

(*) U.S.T.L., Sciences de la Terre, UMR 8014 du CNRS LP3, 59655 Villeneuve d'Ascq cedex, France. Email : Lucie_7777@hotmail.com

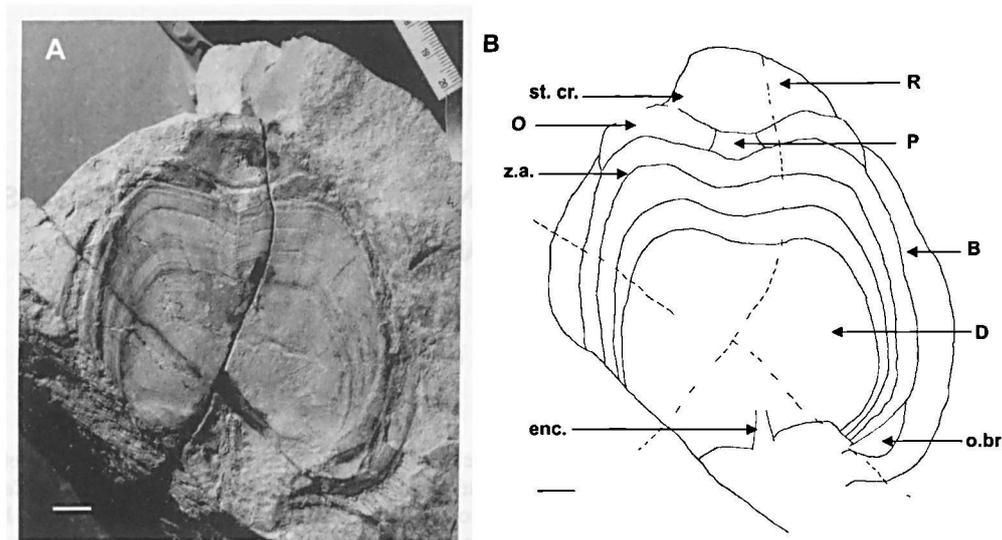


Figure 1. — nov. gen. 1 *wiheriesiensis*, carrière Racheneur, Wihéries, Praguien supérieur (Dévonien inférieur), Formation du Bois d'Ausse.
 A-photographie du spécimen 7156a fpm (collection de la Faculté Polytechnique de Mons), lectotype ;
 B-schéma interprétatif du même spécimen. Légendes : R - plaque rostrale, P - plaque pinéale, O - plaque orbitaire, B - plaque branchiale, D - disque dorsal, o.br. - orifice branchial, z.a. - zone d'accroissement, enc. - encoche, st. cr. - stries de croissance. Le trait représente 1 cm.

La détermination du matériel étudié permet de conforter les hypothèses concernant les mises en relation des niveaux à Hétérostracés du Dévonien inférieur. A l'aide de l'essai de corrélation des niveaux à Hétérostracés du Dévonien inférieur d'Artois-Ardenne (Blieck, 1982) et de la détermination des spécimens de Paliseul et de Wihéries, des hypothèses peuvent être proposées quant aux relations entre les deux sites. La biodiversité des Hétérostracés, très importante au Dévonien inférieur, a permis une très large extension horizontale, et une répartition dans de nombreuses régions du monde. L'étude de la biodiversité dans certaines formations peut devenir un élément fondamental dans l'interprétation biostratigraphique. La première biozonation des VGR dans les séries de Grande-Bretagne a été fondée sur le groupe des Ptéraspidiformes (White, 1961). Pour proposer des corrélations correctes entre le Dévonien inférieur de Podolie, de Grande-Bretagne, d'Artois-Ardenne ou du Spitsberg, il est nécessaire que la systématique de ces Ptéraspidiformes soit révisée internationalement. Ce problème se pose également pour l'essai phylogénétique. En effet, pour coder les caractères de façon précise et objective, il est nécessaire d'avoir accès à un nombre élevé de spécimens, représentant un maximum de genres. Or ces spécimens sont souvent dispersés dans diverses collections à travers le monde. L'essai d'analyse phylogénétique de cette étude a montré de grandes tendances évolutives tel qu'un passage progressif de plaques cornuales longues vers des plaques réduites puis absentes.

BIBLIOGRAPHIE

- BLIECK A., (1982). — Les grandes lignes de la biogéographie des Hétérostracés du Silurien supérieur-Dévonien inférieur dans le domaine Nord-Atlantique. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 38, pp. 283-316.
- BLIECK A., (1984). — Les Hétérostracés Ptéraspidiformes: systématique, phylogénie, biogéographie. *Cahiers de Paléontologie (section vertébrés)*, 51p.
- BLIECK A., (1985). — Paléoenvironnements des Hétérostracés, Vertébrés agnathes ordoVICIENS à dévONIENS. *Bull. Mus. natn. Hist. nat.*, Paris, 4^e sér., 7, section C, n° 2, pp. 143-155.
- PILLE L., (2004). — Biodiversité des Vertébrés éodévONIENS à partir de l'étude des gisements de Wihéries et de Paliseul (Belgique). DEA Biodiversité des Ecosystèmes Fossiles et Actuels (BEFA), université de Lille I, 48 p.
- WHITE E.I., (1961). — The Old Red sandstone of Brown Cleve Hill and the adjacent area, II : Paleontology. *Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.)*, Geol., 5 (7), pp. 243-310.

Sont en vente au Siège de la Société :

MÉMOIRES (*)

Tome I	n° 1. — Ch. BARROIS, <i>Recherches sur le terrain crétacé de l'Angleterre et de l'Irlande</i> , 1876, 232 p.	51,20 €
	n° 2. — P. FRAZER, <i>Géologie de la partie Sud-Est de la Pennsylvanie</i> , 1882, 178 p.	38,40 €
	n° 3. — R. ZEILLER, <i>Mémoire sur la flore houillère des Asturies</i> , 1882, 24 p.	5,50 €
Tome IV	n° 1. — J. GOSSELET, <i>Etudes sur les variations du Spirifer Verneuilli</i> , 1894, 63 p., 7 pl.	13,75 €
Tome VI	n° 1. — P. BERTRAND, <i>Etude du stipe de l'Adelophyton jutieri</i> , B. Renault, 1907, 38 p., 4 pl.	13,00 €
	n° 2. — J. GOSSELET <i>et al.</i> , <i>Faune siluro-dévonienne de Liévin</i> , 1912-1920. Fasc. 2	51,20 €
	n° 3. — V.COMMONT, <i>Saint-Acheul et Montières : Notes de Géologie, de Paléontologie et de Préhistoire</i> , 1909, 68 p., 3 pl.	23,75 €
Tome VII	n° 1. — P. BERTRAND, <i>Etude des Stipes d'Asterochloena laxa</i> , Stenzel, 1911, 72 p., 6 pl.	15,55 €
Tome VIII	n° 2. — Ed. LEROUX, <i>Le tunnel de l'Ave Maria</i> , 1929, 50 p., 5 pl.	18,30 €
Tome IX	n° 1. — G. DUBAR, <i>Etude sur le Lias des Pyrénées françaises</i> , 1925, 332 p., 7 pl.	65,85 €
	n° 2. — G. FOURNIER <i>et al.</i> , <i>Poissons élasmodontes de Denée</i> , 1926, 23 p., 6 pl.	14,65 €
Tome X	n° 2. — J. LAVERDIERE, <i>Terrains paléozoïques des Pyrénées occidentales</i> , 1931, 132 p., 8 pl.	27,50 €
Tome XII	— D. LEMAITRE, <i>Faune des calcaires dévoniens du Bassin d'Ancenis</i> , 1934, 268 p., 18 pl.	51,20 €
Tome XIII	— P. BRICHE <i>et al.</i> , <i>Flore infraliasique du Boulonnais</i> , 1963, 145 p., 11 pl.	38,40 €
Tome XIV	— G. WATERLOT, <i>Les Gigantotrachés du Siluro-Dévonien de Liévin</i> , 1966, 23 p., 5 pl.	13,00 €
Tome XV	— J. MANIA, <i>Gestion des Systèmes aquifères. Applications au Nord de la France</i> , 1978, 228 p.	27,50 €
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.	38,10 €

PUBLICATIONS (*)

Publication N° 1. — J. CHOROWICZ, <i>Etude géologique des Dinarides le long de la transversale Split-Karlovac (Yougoslavie)</i>	20,00 €
Publication N° 2. — J. CHARVET, <i>Essai sur un orogène alpin : Géologie des Dinarides au niveau de la transversale de Sarajevo (Yougoslavie)</i>	23,00 €
Publication N° 3. — J. ANGELIER, <i>Néotectonique de l'arc égéen</i>	22,00 €
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>	26,70 €
Publication N° 5. — M. COUSIN, <i>Les rapports Alpes-Dinarides. Les confins de l'Italie et de la Yougoslavie</i>	26,70 €
Publication N° 6. — F. THIEBAULT, <i>L'évolution géodynamique des Hellénides externes en Péloponnèse méridional</i>	28,20 €
Publication N° 7. — P. DEWEVER, <i>Radiolaires du Trias et du Lias de la Téthys</i>	27,50 €
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>	28,20 €
Publication N° 9. — H. MAILLOT, <i>Les Paléoenvironnements de l'Atlantique sud : Apport de la géochimie sédimentaire</i>	20,00 €
Publication N° 10. — Cl. BROUSMICHE, <i>Les Fougères sphénoptériennes du Bassin Houllier Sarro-Lorrain</i>	30,00 €
Publication N° 11. — B. MISTIAEN, <i>Phénomènes récifaux dans le Dévonien d'Afghanistan (Montagnes Centrales). Analyse et systématique des Stromatopores</i>	30,00 €
Publication N° 12. — T. HOLTZAPFFEL, <i>Les minéraux argileux. Préparation, analyses diffractométriques et détermination</i> T.T.C.	13,75 €
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>	30,00 €
Publication N° 14. — C. BECK, <i>Géologie de la Chaîne Caraïbe au méridien de Caracas (Venezuela)</i>	19,00 €
Publication N° 15. — J.M. DEGARDIN, <i>Le Silurien des Pyrénées : Biostratigraphie, Paléogéographie</i>	19,00 €
Publication N° 16. — J. SIGAL, <i>Les recherches sur les Foraminifères fossiles en France des environs de 1930 à l'immédiat après-guerre</i> T.T.C.	15,00 €
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> T.T.C. (les 3 fasc.)	54,90 €
Publication N° 18. — A. KHATIR, <i>Structuration et déformation progressive au front de l'allochtone ardennais (Nord de la France)</i> T.T.C.	23,00 €
Publication N° 19. — C. LAMOUREUX, <i>Les mylonites des Pyrénées. Classification. Mode de formation. Evolution</i>	23,00 €
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>	23,00 €
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>	23,00 €
Publication N° 22. — N. FAGEL, <i>Flux argileux du Néogène au Quaternaire dans l'Océan Indien Nord, mise en évidence et interprétation</i>	23,00 €
Publication N° 23. — G. BUSSON <i>et A. CORNÉE</i> , <i>L'événement océanique anoxique du Cénomaniens supérieur-terminal</i>	19,00 €
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>	23,00 €
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>	46,00 €
Publication N° 26. — T. PLETSCH, <i>Clay minerals in Cretaceous deep-water formations of the Rif and the Betic Cordillera (N. Morocco and S. Spain)</i>	19,00 €
Publication N° 27. — E. VENNIN, <i>Architecture sédimentaire des Bioconstructions permo-carbonifères de l'Oural méridional (Russie)</i>	27,50 €
Publication N° 28. — Actes des 1 ^{ères} journées régionales Nord/Pas-de-Calais du Patrimoine géologique.....	15,00 €
Publication N° 29. — F. LACQUEMENT, <i>L'Ardenne Varisque. Déformation progressive d'un prisme sédimentaire préstructuré ; de l'affleurement au modèle de chaîne</i>	26,70 €
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>	26,70 €

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, sauf indication contraire (T.T.C.).

SOMMAIRE

Tome 11 (2^{ème} série), Fascicule 3

parution 2004

	pages
Aurélien VAN WELDEN, Viviane BOUT-ROUMAZEILLES, Serge BERNE et Christian GORINI. — Variations haute résolution des apports terrigènes dans le Golfe du Lion pendant la dernière période glaciaire : caractérisation des événements climatiques rapides.....	79
Thomas SIONNEAU, Viviane BOUT-ROUMAZEILLES et Alain TRENTESAUX. — Relation entre les variations de la calotte glaciaire Laurentide et l'enregistrement sédimentaire dans le Bassin d'Orca (Golfe du Mexique)	83
Yolaine RUBERT. — Caractérisations minéralogiques, chimiques et microthermométriques des minéralisations associées aux migrations de fluides dans le bassin du Sud-Est (France).	85
Marie PATIN. — Le Front Varisque en Artois (N France) : Une histoire de réactivations	89
Johann MEDINA. — Paléoenvironnements à la limite Frasnien/Famennien dans l'Anti-Atlas marocain.....	93
Cathy JOANNE, Frank CHANIER et Julien BAILLEUL. — Processus tectoniques et sédimentaires en domaine interne de la marge active Hikurangi, Nouvelle-Zélande : Analyse des relations entre les déformations récentes et la géométrie de corps sédimentaires associés	97
Alexandra DURAND. — Mobilité et piégeage des éléments métalliques dans un sédiment pollué.....	101
François DELESTRET. — Les fosses Dangeard, des paléovallées tertiaires ou quaternaires ? Apports de la sismique haute résolution	105
Caroline ARIOLI, Thomas SERVAIS et Charles WELLMAN. — Morphology and Ultrastructure of a Lower Carboniferous Megaspore : <i>Lagenicula variabilis</i> (Winslow, 1962) nov.comb	109
Laurent DUBOIS, Catherine CRÔNIER et Philippe COURVILLE. — Biodiversité et biodiversité : les associations de trilobites ordoviciens de Manche.....	113
Steven BARBE, Philippe COURVILLE, Claire DERYCKE et Catherine CRÔNIER. — Variations ou ruptures dans la biodiversité autour de la limite Trias-Jurassique : l'exemple des microrestes de vertébrés dans les environnements paraliques	117
Lucie PILLE, Alain BLIECK et Catherine CRONIER. — Biodiversité des Vertébrés éodévoniens à partir de l'étude des gisements de Wihéries et de Paliseul (Belgique).....	121

© 2004 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)