

ROYAL BELGIAN INSTITUTE OF NATURAL SCIENCES

MEMOIRS OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF BELGIUM  
N. 54 - 2007

## Le Miocène du Deurganckdok à Doel

Jacques HERMAN & Robert MARQUET



SERVICE GEOLOGIQUE DE BELGIQUE  
BELGISCHE GEOLOGISCHE DIENST

INSTITUT ROYAL DES SCIENCES  
NATURELLES DE BELGIQUE

KONINKLIJK BELGISCH INSTITUUT  
VOOR NATUURWETENSCHAPPEN

ROYAL BELGIAN INSTITUTE OF NATURAL SCIENCES

MEMOIRS OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF BELGIUM  
N. 54 –2007

**Observations paléontologiques réalisées dans les terrains néogènes belges de 1971 à 2004 entre Kallo et Doel, Port d'Anvers, Rive gauche (Flandre-Orientale, Belgique)**

**Le Miocène du Deurganckdok à Doel**

Jacques HERMAN<sup>1</sup> et Robert MARQUET<sup>2</sup>

Supplément 1

**Quelques bois fossiles du Miocène de Doel**

Hugues DOUTRELEPONT<sup>3</sup>

Supplément 2

**Dinoflagellate cysts of a lower Miocene sequence at Doel**

Stephen LOUWYE<sup>4</sup> & Kenneth MERTENS<sup>4</sup>

<sup>1</sup> IRSNB Service géologique de Belgique, 13 rue Jenner, B-1000 Bruxelles

<sup>2</sup> KBIN Paleontologie, Vautierstraat 27, B-1000 Brussel

<sup>3</sup> MRAC Préhistoire et Archéologie, Leuvensesteenweg 13, B-3080 Tervuren

<sup>4</sup> UGent Research Unit Palaeontology, Krijgslaan 281/S8, B-9000 Gent

(149 pages, 2 figures, 4 tableaux, 47 planches)

*Illustration de la couverture* : Groupe de Ceramaster cf. polonicus Nosowska, 1997 (Collection Eric Wille), cf. p. 27 et pl. 25.

# CONTENTS

Résumé .....	1
Samenvatting.....	1
Zusammenfassung .....	2
Summary .....	3
AVANT PROPOS .....	3
1. Introduction .....	4
1.1. Organisation du chantier du Deurganckdok.....	4
1.2. Nature du Miocène du Deurganckdok et objet principal de la présente étude.....	5
1.3. Observations réalisées et données de chantier .....	5
1.4. Matériel examiné et découvertes.....	7
2. Les lithifications .....	8
2.1. Constitution et désignation.....	8
2.2. Dimensions et formes.....	8
2.3. Altérations diverses .....	9
2.3.1. L'Horizon in situ, ses altérations et recouvrements (Planches 8 à 10).....	9
2.3.2. Les lithifications déplacées .....	9
2.4. Zonéographie.....	9
2.4.1. Historique des observations .....	9
2.4.2. Zonéographie nord – sud des lithifications, hypothèse proposée (chantier II).....	10
3. Inventaire systématique commenté .....	11
3.1. Remarque préliminaire .....	11
3.2. Invertebrata .....	11
3.2.1. Porifera.....	11
3.2.2. Annelida, ou Ichnofossilia leurs attribués.....	12
3.2.3. Crustacea.....	14
3.2.4. Bryozoa - Cheilostomata .....	14
3.2.5. Echinodermata (Echinozoa – Asterozoa).....	15
3.2.6. Mollusca.....	18
3.2.7. Absence des autres groupes d'invertébrés et tentative d'interprétation.....	19
3.3. Vertebrata .....	20
3.3.1. Mammalia - Odontoceta .....	20
3.3.2. Absence totale d'autres groupes : Elasmobranches, Téléostéens, Chéloniens, Aviens.....	21
3.4. Végétaux .....	22
3.4.1. Restes de végétaux observés, traces ou fragments de racines et bois flottés, et indication de milieu.....	22
3.4.2. Remarques concernant les restes de végétaux, leur rareté, l'absence de feuille et de tout carpolithe.....	23
4. Taphonomie .....	23
5. Age, milieu et synthèse des événements .....	25
5.1. L'âge du sol à mangroves et des lithifications .....	25
5.2. L'environnement et son évolution .....	26
5.3. La mort de la mangrove, est-elle due à une émergence l'ayant exondée et asséchée ou à une immersion l'ayant noyée ?.....	26
5.4. Proposition de succession des événements miocènes à pliocènes, survenus en la région de Doel - Deurganckdok .....	27
6. The molluscan fauna of the Miocene at Doel.....	28
6.1. Introduction .....	28
6.2. Systematic description .....	29
6.2.1. Classis Bivalvia Linnaeus, 1758.....	29
6.2.2. Classis Gastropoda Cuvier, 1797.....	35
6.3. Conclusions .....	39

7.	Conclusions générales .....	41
7.1.	Synthèse générale des données apportées par les divers auteurs .....	41
7.2.	Les Grès du Deurganckdok, nouvelle unité lithostratigraphique du Miocène belge .....	42
8.	Remerciements .....	42
9.	Références bibliographiques et bibliographie thématique.....	43
Supplément 1: Quelques bois fossiles du Miocène de Doel.....		49
1.	Les échantillons de bois miocènes du Deurganckdok à Doel .....	49
1.1.	Matériel examiné.....	49
1.2.	Méthodologie .....	49
2.	Position systématique de trois bois fossiles provenant des lithifications miocènes du Deurganckdok. Examen microscopique et description anatomique succincte .....	50
2.1.	Echantillon 1 n° SGB 14E 283 – 1 .....	50
2.2.	Echantillon 2 n° SGB 14E 283 – 2.....	50
2.3.	Echantillon 3 n° SGB 14E 283 – 3.....	51
3.	Bibliographie .....	52
Supplément 2: Dinoflagellate cysts of a lower Miocene sequence at Doel .....		53
1.	Introduction .....	53
2.	Material and method.....	53
3.	Biostratigraphy, relative dating and correlation .....	53
4.	Recorded palynomorphs.....	54
5.	References .....	54
Planches 1 à 47 .....		55

**OBSERVATIONS PALÉONTOLOGIQUES RÉALISÉES  
DANS LES TERRAINS NÉOGÈNES BELGES DE 1971 À 2004  
ENTRE KALLO ET DOEL, PORT D'ANVERS, RIVE GAUCHE  
(FLANDRE-ORIENTALE, BELGIQUE)  
LE MIOCÈNE DU DEURGANCKDOK À DOEL**

Jacques HERMAN<sup>1</sup> et Robert MARQUET<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IRSNB Service géologique de Belgique, 13 rue Jenner, B-1000 Bruxelles

<sup>2</sup> KBIN Paleontologie, Vautierstraat 27, B-1000 Brussel

**Résumé.** Ce travail signale la découverte dans le Miocène belge de la rive gauche de l'Escaut, à l'ouest d'Anvers, de restes de mangroves (traces de racines et bois de palétuviers), de quelques communautés biologiques plus ou moins étroitement liées à leur environnement, la disparition et la mort soudaines de celles-ci. La plupart des restes examinés proviennent de blocs indurés de compositions variables, qualifiés pour cette raison de *lithifications*. Toutes auraient pour origine un horizon commun qui a pu être repéré *in situ*. Cet horizon particulier constitue une entité lithostratigraphique en soi au sein du Membre des Sables de Kiel de la Formation de Berchem. Le nom *Grès du Deurganckdok* désignera ce *Lit*. Les restes d'invertébrés ont subi une décalcification et une éventuelle opalisation qui rend délicate leur détermination. Seuls les restes d'échinodermes ont mieux résisté à cette double agression chimique.

Des bois de Rhizophoraceae et de Pinaceae, des astéries mudicoles goniastériformes, des échinides irréguliers, des ichnofossiles très diversifiés et quelquefois d'une extraordinaire finesse de préservation, 46 espèces de mollusques dont deux nouvelles espèces et une nouvelle présence d'un ptéropode, un crâne d'archaéocète et un crâne de delphinidé, ont été découverts dans ces blocs indurés.

La présence des deux taxa de gastéropodes *Vaginella austriaca* Kittl, 1886 et *Semicassis (S.) miolaevigatum gliberti* nov. subsp. caractérise cet horizon. La présence des bivalves *Glossus lunulatus crassus* (Nyst & Westendorp, 1839) et *Glossus burdigalensis cypriniformis* (Nyst *in* Dewalque, 1868) est tout aussi importante. Deux taxa, nouveaux pour la science, sont décrits: le bivalve *Allogramma miocaenica* sp. nov. et le gastéropode *Semicassis (S.) miolaevigatum gliberti* nov. subsp.

Chaque groupe biologique représenté fait l'objet d'un examen systématique accompagné de commentaires écologiques et de références bibliographiques les concernant. Les conditions de vie, de décès et d'enfouissement des divers groupes présents, la rareté ou l'absence complète de certains taxa, sont précisées et expliquées autant que faire se puisse. L'anatomie des bois fossiles a été étudiée et leur position systématique précisée (*cf.* Suppléments 1).

Une interprétation de la succession des événements alors survenus est proposée. Ces lithifications sont postérieures aux Sables d'Edegem et antérieures aux Sables d'Anvers, et représenteraient par conséquent un faciès particulier des Sables de Kiel. Outre le contexte géologique régional, une espèce de ptéropode et l'assemblage de dinoflagellés y recensés (*cf.* Supplément 2) justifient cette supposition. Les relations de ces faunes avec diverses faunes européennes sont discutées, en particulier avec la faune du Badénien des Holy Cross Mountains en Pologne.

**Mots clés :** Miocène, Burdigalien, mangrove, rhizophoracées, pinacées, dinoflagellés, astéries, échinides, mollusques, *Squalodon*, *Schizodelphis*, Formation de Berchem, Sables de Kiel, Sables d'Edegem, Grès du Deurganckdok.

**Samenvatting:** Paleontologische waarnemingen in de Neogene afzettingen van België, van 1971 tot 2004, tussen Kallo en Doel, Haven van Antwerpen, Linkerhoeven (Oost-Vlaanderen, België). Het Mioceen in het Deurganckdok te Doel. In deze publicatie wordt het voorkomen van mangroves (met resten van wortels en hout) en van het ermee geassocieerde ecosysteem voor het eerst in Belgische Miocene afzettingen aangetoond. Ze werden aangetroffen westelijk van Antwerpen, op de linkeroever van de Schelde. Het plotse afsterven en verdwijnen van deze levensgemeenschap wordt beschreven. Het grootste deel van de onderzochte resten is afkomstig van verharde blokken steen van verschillende samenstelling, aangeduid als *lithificaties*. Deze zijn alle afkomstig uit een horizon die *in situ* waargenomen kon worden. Dit laagje is een lithostratigrafische eenheid, een *Bed*, in het Lid van de Zanden van Kiel, Formatie van Berchem, en werd benoemd als *Deurganckdok Zandstenen*.

De invertebratenresten zijn veelal ontkalkt en soms geopaliseerd, wat hun identificatie bemoeilijkt. Enkel de overblijfselen van echinodermata bleken beter bestand tegen deze dubbele chemische aantasting. De fossiele houtresten werden anatomisch bestudeerd en hun systematische positie werd bepaald (cf. Supplement 1).

In deze verharde blokken werden de volgende vondsten gedaan: hout van Rhizophoraceae en Pinaceae, goniaster-achtige in het slijk wonende zeesterren, onregelmatige spatangiforme zeeëgels, een grote verscheidenheid aan dikwijls zeer gedetailleerd bewaard gebleven ichnofossielen, 46 soorten mollusken, waaronder een voor België onbekende pteropodensoort en twee onbeschreven taxa, schedels van archeoceten en dolfijnen.

Twee taxa van gastropoden, *Vaginella austriaca* Kittl, 1886 en *Semicassis* (*S.*) *miolaevigatum gliberti* nov. subsp., kenmerken deze horizon. De associatie van de twee bivalven *Glossus lunulatus crassus* (Nyst & Westendorp, 1839) en *Glossus burdigalensis cypriniformis* (Nyst in Dewalque, 1868) is ook merkwaardig. Twee nieuwe taxa zijn beschreven, één bivalvia, *Allogramma miocaenica* sp. nov., en één gastropoda, *Semicassis* (*S.*) *miolaevigatum gliberti* nov. subsp.

Elke dieren- en plantengroep wordt systematisch onderzocht en de ecologie wordt behandeld; de relevante bibliografie wordt telkens vermeld. De mollusken worden apart in het tweede deel van dit werk behandeld. De levensvoorwaarden, het afsterven en de inbedding van de verschillende groepen, de zeldzaamheid of afwezigheid van bepaalde taxa worden zo veel mogelijk verklaard.

Een interpretatie van de opeenvolgende gebeurtenissen wordt voorgesteld. De lithificaties zijn jonger dan de Zanden van Edegem en ouder dan deze van Antwerpen en vertegenwoordigen dus waarschijnlijk een facies van de Zanden van Kiel. Buiten de regionale geologische context bevestigt het voorkomen van een bepaalde pteropodensoort en de dinoflagellaten associatie (cf. Supplement 2) deze veronderstelling. De relatie van de fauna met diverse andere Europese fauna's wordt besproken, in het bijzonder met deze van het Heilig Kruis Gebergte in Polen (Badeniaan).

**Sleutelwoorden:** Mioceen, Burdigaliaan, mangrove, rhizophoraceae, pinaceae, dinoflagellaten, asteriden, echiniden, mollusken, *Squalodon*, *Schizodelphis*, Formatie van Berchem, Zanden van Kiel, Zanden van Edegem, Doel, Deurganckdok Zandsteen, Oost-Vlaanderen, België.

**Zusammenfassung: Paläontologische Ergebnisse von Neogänen Ablagerungen in Belgien, von 1971 bis 2004, zwischen Kallo und Doel, Hafen von Antwerpen Linkerufer, (Ost-Flandern, Belgien). Das Miozän im Deurganckdok zu Doel** In dieser Veröffentlichung wird die Anwesenheit von Mangrovenresten (Resten von Wurzelteilen und Holz) und dem damit assoziierten Ökosystem zum ersten Mal in belgischen Miozänen Ablagerungen gefunden. Sie wurden angetroffen westlich von Antwerpen, am linken Ufer der Schelde. Das plötzliche Absterben und Verschwinden dieser Lebensgemeinschaften wird beschrieben. Das grösste Teil der untersuchten Resten kommen von verhärteten Steinblöcken von unterschiedlichen Zusammenstellung, angedeutet als *Lithifikationen*. Diese kommen alle aus einem Horizont die *in situ* wahrnehmbar war. Dieser Horizont (Bett), genannt *Deurganckdok Sandsteine*, ist eine neue lithostratigrafische Einheit im Kiel Sande Glied der Berchem Formation.

In diesen verhärteten Blöcken wurden folgendes angetroffen : Holz von Rhizophoraceae und Pinaceae, goniaster-artige im Schlamm wohnende Seesterne, irreguläre spatangiforme Seeigel, eine grösse Verschiedenheit an oft sehr detailliert konservierte Ichnofossilien, 46 Arten Mollusken, darunter eine für Belgien neue Pteropodenart und zwei unbeschriebene Taxa, Schädel von Archeoceten und Delfine. Die Invertebratenreste sind meistens entkalkt und manchmal opalisiert, was ihre Identifikation verschwert. Nur die Echinodermata-Reste zeigen besser widerstandsfähig zu sein gegen diesen doppelten chemischen Angriff. Die fossile Holzreste wurden anatomisch untersucht und ihre systematische Position wurde bestimmt (cf. Supplement 1).

Zwei Gastropodentaxa, *Vaginella austriaca* Kittl, 1886 und *Semicassis* (*S.*) *miolaevigatum gliberti* nov. subsp. charakterisieren dieser Horizont. Die Assoziation der beiden Bivalven *Glossus lunulatus crassus* (Nyst & Westendorp, 1839) und *Glossus burdigalensis cypriniformis* (Nyst in Dewalque, 1868) ist auch merkwürdig. Zwei neue Taxa wurden beschrieben, einer Bivalvia *Allogramma miocaenica* sp. nov., und einer Gastropoda *Semicassis* (*S.*) *miolaevigatum gliberti* nov. subsp.

Jede Tier- und Pflanzengruppe wird systematisch untersucht und die Ökologie wird behandelt; die relevante Bibliografie wird immer vermeldet. Die Mollusken werden separat in dem zweiten Teil dieser Arbeit behandelt. Die Lebensbedingungen, das Absterben und die Einbettung der verschiedene Gruppen, die Seltenheit oder Abwesenheit bestimmter Taxa werden soviel wie möglich erklärt.

Eine Interpretation der auffolgenden Ereignisse wird vorgeschlagen. Die Ablagerungen sind jünger als die Sänden von Edegem und älter als die Sande von Antwerpen und vertreten also wahrscheinlich eine Fazies von den Sande von Kiel. Ausserhalb der regionale geologische Kontext bestätigen das Vorkommen einer bestimmten Pteropodenart und ganz die Dinoflagellaten Flora (*cf.* Supplement 2) diese Voraussetzung. Die Relation der Fauna mit verschiedenen anderen Europäischen Faunas wird behandelt, ins besondere mit der vom Heiligenkreuzgebirge in Polen (Badenium).

**Schlüsselwörter:** Miozän, Burdigalium, Mangrove, Rhizophoraceae, Pinaceae, Dinoflagellaten, Asteriden, Echini-den, Molluske, *Squalodon*, *Schizodelphis*, Formation von Berchem, Sande von Kiel, Sande von Edegem, Deurganckdok Sandstein, Doel, Ost-Flandern, Belgien.

**Summary: Paleontological observations on Neogene deposits in Belgium, Antwerp Harbour, from 1971 to 2004, between Kallo and Doel, Antwerp Harbour, Left Bank (East-Flanders, Belgium). The Miocene in the Deurganck-dok, Doel.** This publication reports the first discovery of mangrove remnants (traces of roots and wood) in the Belgian Miocene deposits and its associated ecosystem. They were found west of Antwerp, on the left bank of the Scheldt. The sudden death and disappearance of this living community are described. The greater part of the examined remnants comes from hard stone blocks of different composition, indicated as *lithifications*. All of them originate from a horizon which could be observed *in situ*. This level may be considered as a lithostratigraphical unit, a *Bed*, named *Deurganckdok Sandstone*.

In these hard blocks the following fossils were found: wood from Rhizophoraceae en Pinaceae, gonioaster-like starfish living in mud, irregular spatangiform sea urchins, a great diversity of often very well preserved ichnofossils, 46 species of molluscs, among which a for Belgium unknown pteropod species and two non-described taxa, and skulls of archeoceta and dolphins. Only the remnants of echinodermata seemed to better withstand the twofold chemical aggression. The anatomy of the wood remains was examined and their systematic position precised (*cf.* Supplement 1).

The sandstones of this Member are characterised biostratigraphically by the presence of the gastropod taxa *Vaginella austriaca* Kittl, 1886 and *Semicassis (S.) miolaevigatum gliberti* nov. subsp. Also the association of the bivalves *Glossus lunulatus crassus* (Nyst & Westendorp, 1839) and *Glossus burdigalensis cypriniformis* (Nyst *in* Dewalque, 1868) is significant. Two taxa, new to science, are described: the bivalve *Allogramma miocaenica* sp. nov., and the gastropod *Semicassis (S.) miolaevigatum gliberti* nov. subsp.

Each animal and plant group is systematically examined and the ecology is dealt with, the relevant bibliography each time being mentioned. The molluscs are treated separately in the second part of this issue. The life conditions, the death and the burying of the various groups, the rarity or absence of certain taxa are explained as far as possible.

An interpretation of the subsequent events is put forward. The lithifications are younger than the Edegem Sands and older than the Antwerp Sands and may consequently represent a facies of the Sands of Kiel.

In addition to the regional geological context, the presence of a particular pteropod species and the dinoflagellate as-sociation discovered (*cf.* Supplement 2) confirm this assumption. The relation of the fauna with diverse other European faunas is discussed, in particular that from the Holy Cross Mountains in Poland (Badenian).

**Key words:** Miocene, Burdigalian, Mangrove, Rhizophoraceae, Pinaceae, Dinoflagellate, Asterids, Echinids, Molluscs, *Squalodon*, *Schizodelphis*, Berchem Formation, Kiel Sands, Edegem Sands, Deurganckdok Sandstone, Doel, East-Flan-ders, Belgium.

## AVANT PROPOS

Les auteurs désirent présenter quelques observations personnelles et originales qu'ils réalisèrent tout au long d'une trentaine d'années de suivi régulier de l'avancement des terrassements effectués dans les terrains néogènes de cette région. Le but principal de cette série de notes est de mettre en évidence diverses particularités taphonomiques et leurs implications paléo-environnementales. Un inventaire systématique commenté de tous les groupes de fossiles rencontrés dans chaque niche écologique particulière accompagnera ces observations. Les faunes ichthyologique et malacologique seront traitées par les auteurs en détail en ces mêmes notes. L'étude détaillée des autres composants faunistiques a été confiée à divers spécialistes belges ou étrangers. Les résultats de ces recherches pourront être intégrés à cette série ou publiés indépendamment.

Parmi les singularités les plus remarquables qui devraient chacune faire l'objet d'un opuscule de cette série, citons de façon non exhaustive les quelques thèmes suivants :

*Le Miocène du Deurganckdok (Lambeau à Doel)*: sol et bois de mangroves, astéries, échinides et faune malacologique restreinte mais originale.

*Le Gravier de base des Sables du Kattendijk (de Kallo à Doel)*: constantes et variantes, composants du gravier et contenu faunistique, différence entre ceux-ci lorsque surmontant directement l'Argile de Boom ou recouvrant des dépôts miocènes, restes de vertébrés et d'invertébrés présentant un intérêt particulier.

*Les Sables du Kattendijk (Kallo – Verrebroek – Doel)*: chenaux divers, terriers métriques d'organismes marins divers, nids ou concentrations locales de petits mollusques et ou brachiopodes, associations malacologiques particulières, horizons à restes de cétacés, bancs de térébratules, bancs de Petaloconchus.

*Les Sables du Luchtbal (biseau à Doel)*: empilements hélicoïdaux de valves de pectinides, concentrations de bryozoaires géants, échinides réguliers et comatules.

*Les Sables d'Oorderen (Kallo – Verrebroek – Doel)*: divers faciès malacologiques particuliers (horizons à *Atrina*, *Cultellus*, *Angulus benedeni*), concentrations extraordinaires de petits cirripèdes, strates à cirripèdes géants.

*Les Sables du Kruisschans et les Sables de Merksem (à Kallo et Doel)*: horizons à corbules, petits batoïdes, gadiformes pachyostoses, horizons à concrétions de type *Tasselia*.

*Les dépôts pleistocènes et holocènes (à Kallo et Doel)*: chenaux à remplissages complexes, faunes malacologiques terrestres et fluviales particulières.

## 1. Introduction<sup>1</sup>

### 1.1. Organisation du chantier du Deurganckdok

L'avancement progressif vers le sud-ouest du creusement du Deurganckdok<sup>2</sup> a rendu possible dès octobre 2001 l'observation sporadique du sommet du Miocène local sous le Gravier de base des Sables du Kattendijk qui représente en cette région la base du Pliocène (Planchette Lillo, Geo-Doc archives SGB 14E 283 et 14E 284, figure 1, planches 1 et 2). La subdivision des chantiers en « moot » (coulée de béton) de 20m de longueur facilita grandement le repérage des échantillonnages successifs. Les responsables de cet énorme chantier nous facilitèrent accès et prospections à la seule restriction de ne jamais entamer la sole du radier de base des fondations. Ceci interdisait la réalisation d'une tranchée importante qui aurait inévitablement menacé la stabilité des fondations, nous limita à quelques observations ponctuelles et nous obligea à suivre la progression quotidienne des terrassements, transmise par la direction du chantier, afin de s'assurer de la provenance précise des déblais, unique source potentielle des matériaux, que nous voulions récolter et examiner.

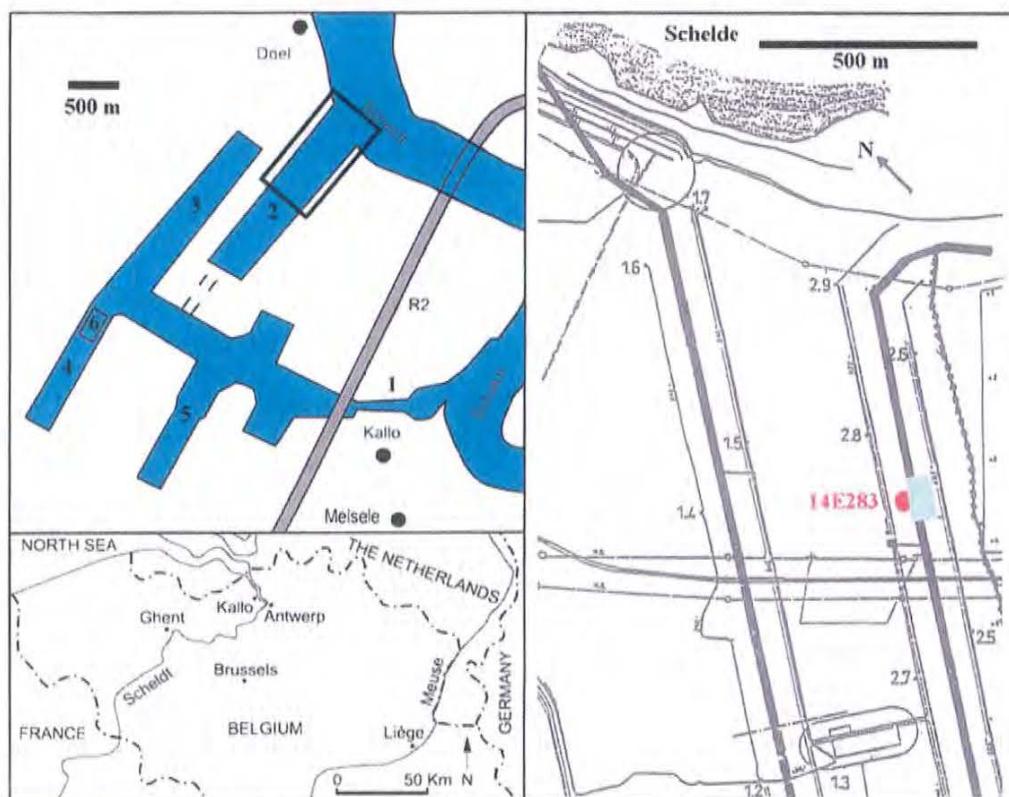
Les deux premières planches (Planches 1 et 2) permettent de visualiser le site et de saisir la complexité des fouilles à entreprendre. Il fallait le vendredi, après fermeture

du chantier, dégager les zones à prospecter, prévenir le résultat d'éventuels écoulements torrentiels résultant de précipitations imprévisibles en établissant quelques digues de retenues, et assurer pente et stabilisation de la piste d'évacuation des sédiments à traiter en fonction de nos véhicules. Après la fouille, il fallait remettre la surface explorée au niveau du radier existant. Toutes ces opérations devaient impérativement être menées à bien avant l'aube du lundi suivant. En dix campagnes de fouilles, la cohésion de l'équipe fit qu'il n'y eut aucun raté.

Par souci de réutilisation sélective, chacune des diverses couches rencontrées lors du creusement de la tranchée était enlevée distinctement. Chaque niveau évacué allait constituer un ou plusieurs monticules de déblais jamais mélangés. Lorsque rencontrée, l'Argile de Boom et le gravier de base la couvrant formera un déblais bien isolé, la masse des sables miocènes et le Gravier de base des Sables du Kattendijk de même. Très souvent les deux entités sableuses constitutives des Sables du Kattendijk se retrouveront en déblais distincts ; la raison étant que l'inférieure était plus argileuse. Les lumachelles du Luchtbal, lorsque présentes, seront également mises en amas isolés. Les masses très coquillères des Sables d'Oorderen et des Sables de Kruisschans-Merksem formeront de longs cordons bien isolés des précédents. La tourbe et les dépôts sableux du Quaternaire en seront écartés.

<sup>1</sup> par J. Herman

<sup>2</sup> Ce dock a reçu en cours de travaux les appellations suivantes: Containerdok, Containertijdok, Deurganckdok, toutes appellations qui se retrouvent sur les étiquettes des diverses collections examinées. Lors de son inauguration officielle il a été dédié à S.M.R. Albert II de Belgique et portera désormais le nom de Albert II dok.



**Figure 1** : Localisation des échantillonnages. Schémas (R. Marquet, 2005, Textfigure 1) et plan de la partie nord du chantier (document de travail Ir. J. Appaerts & R. Sieckelinck 2001).

Légende : 1 : Zeesluis Kallo, 2 : Deurganckdok, 3 : Doeldok, 4 : Verrebroekdok, 5 : Vrasenedok, 6 : Zinkstukken. Bleu : surfaces sous eaux, rouge : point d'observation des lithifications in situ, vert : surface de récolte des lithifications ( M17 à M28).

### 1.2. Nature du Miocène du Deurganckdok et objet principal de la présente étude

Le Miocène était en la plupart des cas constitué de sables très glauconifères plus ou moins argileux et apparemment stériles. En de rares occasions, des petites excavations permirent toutefois d'observer quelques vestiges d'un sol de type particulier qui s'avérera s'être formé en milieu mangrovien sur une ride érosive de l'Argile de Boom, des fonds à pétoncles (*Glycymeris*) ou à cyprines (*Arctica*) attribuables aux Sables d'Edegem, ainsi que la présence d'un horizon induré ou lithifié fortement bioturbé et localement fossilifère situé dans la partie supérieure d'une masse de sables très glauconifères décalcifiés attribuable aux Sables de Kiel (voir Planches 3 à 6). Ce sont les contenus des éléments dispersés de cet horizon induré disloqué et des sables sous-jacents qui feront l'objet de ce présent travail.

En résumé, le Miocène en cet endroit présentait un biseau ou lambeau de Sables d'Edegem reposant à même le sommet fortement altéré de l'Argile de Boom. Ce biseau butait contre le pied d'un ancien petit relief de l'Argile de Boom. Cette ride présentait vraisemblablement quelques passes qui permirent à de faibles incursions marines très

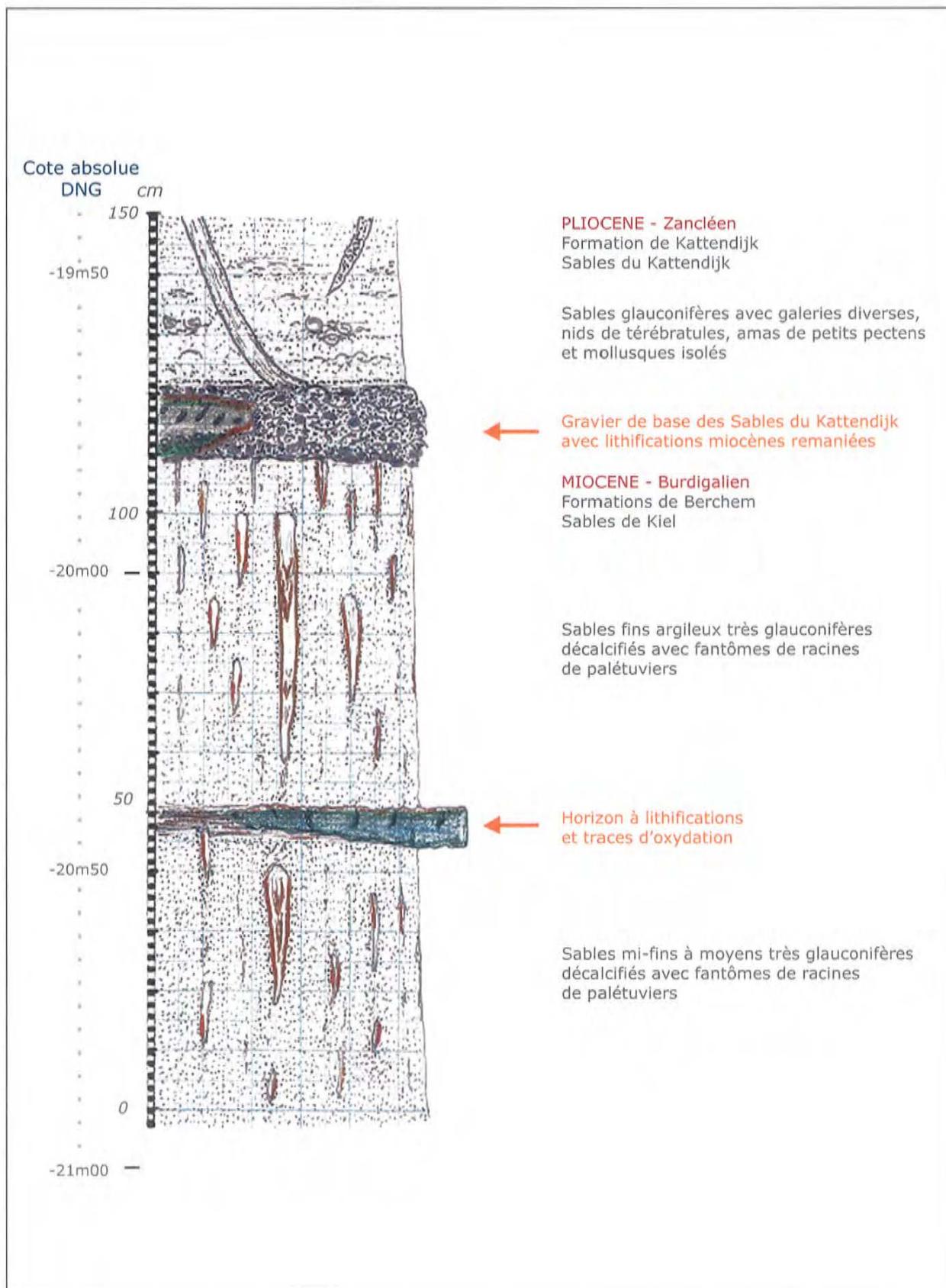
limitées de la contourner. Quelques trois cent mètres plus au sud, le Gravier de base des Sables du Kattendijk (Pliocène) repose sans intermédiaire sur le sommet abrasé de l'Argile de Boom.

Localement (14E 283), peut-être au droit d'une ces passes évoquées, les Sables d'Edegem étaient recouverts sinon incisés par les Sables de Kiel porteur d'un horizon à surfaces indurées.

Par souci de complétion, signalons que se rencontrèrent mêlés dans la masse des déblais du Gravier de base du Kattendijk des petits amas de sables noirâtres ultra glauconifères contenant quelques valves très massives plus ou moins abrasées d'une grande espèce d'Ostreidae et d'assez nombreux spécimens, individus complets ou valves isolées, d'une très grande et très massive térébratule à valves épaisses et à foramen pédonculaire minuscule. Ces restes forcément postérieurs aux strates ci-étudiées seront traités avec les autres fossiles d'invertébrés contenus dans le Gravier de base des Sables du Kattendijk.

### 1.3. Observations réalisées et données de chantier

Il a semblé raisonnable de référer l'ensemble des données concernant les lithifications au point de leur découverte in



**Figure 2 :** Coupe géologique du point 14 E 283.

La coloration partielle a pour but de mettre les traces d'oxydation en évidence. Les lithifications étudiées proviennent du niveau in situ ou du Gravier de base des Sables du Kattendijk et sont qualifiées de in situ ou remaniées selon le cas. Elles sont les représentants d'une entité lithologique (Lit) au sein du Membre des Sables de Kiel, pour lequel le nom de Grès du Deurganckdok est proposé.

situ : 14 E 283 Deurganckdok – Tranchée orientale – Deel II, qui correspond approximativement à la partie centrale de leur aire de dispersion et dont les coordonnées Lambert sont x : 143 050 et y : 220 750. Le niveau du Gravier de base enrobant ces pièces étant : -20m50 DNG.

Les deux crânes d'odontocètes, provenant vraisemblablement d'une aire un rien plus septentrionale, ont fait l'objet d'une indexation particulière : 14 E 284 Deurganckdok – Tranchée orientale – Deel II, dont les coordonnées Lambert sont x : 143 100 et y : 220 800. La cote estimée du gisement est -21m00 DNG.

En un secteur précis du chantier (point 14 E 283 de nos Archives, voir Figure 1), s'observèrent deux niveaux superposés présentant des lithifications de même type (voir Figure 2 et Planche 5). Les foreurs de la Société SMET S.A. confirmèrent qu'en ce secteur, sur quelques cinq cent mètres, il y avait deux niveaux avec des grandes pierres, séparés par 0.50 m à 1.0 m de sable.

Le niveau inférieur, présentait un horizon à indurations ou lithifications en place enchâssé entre deux masses sableuses très glauconifères d'âge miocène et porteuses de traces d'un sol mangrovié. Il signalait l'existence d'un événement particulier ayant détruit cette mangrove, s'étant produit au cours du Miocène et dont divers témoins étaient restés préservés *in situ* et d'autres éparpillés dans le secteur.

Cet horizon induré présentait une constitution lithologique, des ichnofossiles et une succession d'altérations caractéristiques.

Les foreurs de la Société SMET S.A. dirent *ne l'avoir jamais rencontré, ni plus au sud, guère (une ou deux fois peut-être) plus au nord.*

Le niveau supérieur se situait au sommet des dépôts miocènes abrasés et appartenait à la surface transgressive du Gravier de base des Sables du Kattendijk. Ses lithifications étaient d'évidence remaniées, certaines avaient même été renversées. Il contenait de très nombreux fragments de lithifications semblables à celles du niveau inférieur. Leurs dimensions, épaisseurs, et formes étaient très variables, leurs contours toujours manifestement érodés. Ces fragments présentaient même constitution lithologique, mêmes ichnofossiles et les mêmes premières traces d'altérations que celles de l'horizon inférieur *in situ*.

Les foreurs de la Société SMET S.A. dirent *n'avoir jamais rencontré, ni plus au sud, ni plus au nord semblables pierres dans le gravier.* Notre suivi des variations d'épaisseur et de contenu de ce gravier depuis plus de deux ans dans le secteur nord du chantier, et plus tard dans la partie sud allait nous conduire à la même évidence.

Aurait-il pu exister un ensemble de deux niveaux distincts réellement superposés, dont seul le supérieur eut été remanié ?

A la lecture des paragraphes précédents, il est clair qu'il ne se rencontra aucune lithification dans, ou juste sous le gravier pliocène, ni au nord, ni au sud du secteur considéré. Le niveau inférieur se serait étendu un rien plus nord. Il semble évident qu'il n'y eut donc qu'un seul horizon mère porteur de lithifications en ce secteur. Le puissant mouvement de charriage du Gravier de base des Sables du Kattendijk aura déplacé sur quelques centaines de mètres à peine les éléments constitutifs d'une aire terminale démantelée de cet horizon pour les amener enchâssés dans sa masse à la verticale du visage demeuré *in situ*.

C'est pour ces raisons que toutes ces lithifications sont supposées provenir d'un seul et même horizon, à savoir le niveau inférieur rencontré *in situ* au point 14E 283.

Les éléments constitutifs du Gravier de base des Sables du Kattendijk enveloppaient et recouvraient intégralement tous ces blocs. Les blocs avaient subi un très léger déplacement au cours du Miocène peu après leur dislocation et ultérieurement un déplacement plus significatif imputable à l'abrasion pliocène. Ils ont livré une faune particulière, témoin forcé d'une succession rapide d'événements catastrophiques ayant engendré un dépôt de type tempestite. Tous ces blocs seront qualifiés de lithifications.

Le terme *lithification* a été choisi pour désigner chacun de ces blocs pour échapper au problème du respect de la diversité de leur constitution. En effet, ils sont tantôt principalement constitués d'une masse gréseuse stérile ou plus ou moins fossilifère, tantôt de lumachelles sableuses indurées simples ou complexes, tantôt encore d'une masse principale argileuse carbonatée indurée, et le plus souvent constitués par l'association des trois composants précités superposés, des sables, des lumachelles et un ou deux dépôts argileux, le tout plus ou moins induré.

#### 1.4. Matériel examiné et découvertes

Les visites quasi hebdomadaires du chantier, la prospection méthodique des déblais et la réalisation, entre décembre 2001 et juillet 2002, de cinq grandes fouilles dans le Gravier de base des Sables du Kattendijk firent que plus de deux cent blocs furent récupérés et examinés.

Tous furent brossés sur place, ceux d'apparence stérile furent débités sur les lieux, les autres (une centaine) furent enlevés, lavés, examinés, mesurés et éventuellement photographiés. Ceux qui ne furent conservés intacts furent fragmentés ultérieurement pour qu'ils révèlent leur contenu. Les plus volumineux de ceux-ci mesuraient 80 à 90 cm sur 50 à 60 cm, leur épaisseur pouvait dépasser 20 cm.

Ceci fut possible grâce à l'enthousiasme et à l'acharnement de toute une équipe de chercheurs privés qui assurèrent par tous les temps la réalisation des fouilles et le suivi quotidien du chantier, et nous permirent l'étude de l'ensemble de leurs trouvailles.

Ces lithifications à stratifications plus ou moins nettes, subhorizontales, légèrement ondulantes ou avec traces de mouvements oscillatoires, ont livré quelques fossiles remarquables. Citons: des restes végétaux dont des fragments de bois de palétuviers (Rhizophoraceae) et de conifères (Pinaceae), quelques tests d'échinides spatangi-formes (Spatangidae et ou Loveniidae), des squelettes de stellérides mucicoles goniastéroides (*Ceramaster*) dont certains intacts et accompagnés de leurs ultimes traces de reptation, une faune malacologique particulière comprenant des gastéropodes dont les représentants des genres *Semicassis*, *Ficus* et *Scaphander* étaient les plus nombreux, des bivalves dont d'innombrables *Spaniodontella*, de très nombreux *Ensis*, des concentrations de *Glycymeris*, et des grands *Cyrtodaria*, ainsi que quelques ptéropodes dont de nombreux individus d'une espèce particulière du genre *Vaginella*, un arrière crâne d'archaeocète (*Squalodon*) et un crâne d'un petit delphinidé (*Schizodelphis*). Notons que de très nombreux bivalves étaient demeurés valves en connection.

Ces lithifications ont également révélé de très nombreux ichnofossiles, empreintes, pistes, terriers ou galeries de divers types. Des empreintes des délicats panaches branchiaux d'annélides polychètes sédentaires ont été préservées.

Les astéries mortes s'avéreront avoir été ensevelies moins de quatre-vingt heures après leur décès. Ce fait semble corroboré par le remplissage séquentiel et différentiel résultant des marées que présentent certains terriers d'annélides contemporains des astéries.

L'examen détaillé de chacune de ces lithifications a permis d'établir un ensemble d'observations qui implique une logique de succession d'événements dont une synthèse sera proposée.

Les mollusques ont fait l'objet d'une étude systématique détaillée qui constitue la deuxième partie de ce travail. Elle est due à mon collègue et compagnon de terrain, le Dr. R. Marquet (IRSNB). Les bois fossiles ont fait l'objet d'un examen anatomique approfondi du à un autre collègue et ami de longue date, M. H. Doutrelepon (MRAC), dont les résultats constituent le supplément numéro 1 de ce volume. Enfin, les dinoflagellés ont été extraits et étudiés par le Dr. S. Louwye (RUG) qui démontra en outre la présence d'algues vertes et de quelques grains de pollens au sein de ces lithifications. Les restes de chlorophycées (algues vertes) sont trop mal préservés pour espérer détermination précise.

Les restes d'odontocètes ont fait l'objet de quelques commentaires du Dr. O. Lambert (IRSNB) repris *in*

*extenso* en annexe du paragraphe de l'inventaire général les mentionnant.

## 2. Les lithifications<sup>3</sup>

### 2.1. Constitution et désignation

Pour rappel, le terme *lithification* a été choisi pour désigner chacun de ces blocs, qui sont tantôt principalement constitués d'une masse gréseuse, tantôt de lumachelles sableuses indurées simples ou complexes, tantôt encore d'une masse principale argileuse carbonatée indurée, et le plus souvent constitués par l'association des trois composants précités, des sables, des lumachelles et un ou deux dépôts argileux. L'examen de la face supérieure de la surface demeurée *in situ* n'a révélé que quelques ichnofossiles et une succession fine de phases d'altérations immédiatement postérieures à sa formation (voir planche 5, et son explication détaillée). La face inférieure ne présente que quelques vagues ondulations pouvant être témoins de quelques paumelles qui auraient ridé le sommet des sables grossiers précédant son dépôt.

### 2.2. Dimensions et formes

L'épaisseur des blocs examinés variait de quelques 3 cm à un peu plus de 25 cm, leurs dimensions horizontales de 7 cm à un peu plus de 85 cm. Ils pouvaient se répartir en deux catégories principales, l'une constituée de corps parallélépipédiques aplatis évoquant des *dalles* à contours émoussés, abrasés et plus ou moins lissés, l'autre de corps plus massifs à sections subcirculaires à ellipsoïdales à contours également abrasés mais non lissés présentant une forme de *pains de pierre* plus ou moins étirés.

Les *dalles* (exemples types, voir planches 8, 14 et 18 et leurs explications détaillées) sont constituées d'un empilement relativement bien stratifié de couches très diverses dont la granulométrie a tendance à diminuer vers le haut. S'y observe la sédimentation successive plus ou moins régulière de strates sableuses plus ou moins grossières, de strates lumachelliques à coquilles massives, de strates d'épandages de coquilles plus légères et plus frêles et enfin, de strates argileuses. Un épandage sableux terminal les coiffe.

Les *pains de pierre* (exemple type, voir planche 35 et son explication détaillée) présentent en gros la même succession de composants, les fractions argileuses ou silteuses étant toutefois moins bien représentées. Leurs constituants ne sont pas aussi nettement stratifiés que ceux des dalles et semblent avoir subi pendant leur formation des mouvements oscillatoires orthogonaux à leur plus grand axe.

<sup>3</sup> par J. Herman

### 2.3. Altérations diverses

#### 2.3.1. L'Horizon *in situ*, ses altérations et recouvrements (Planches 8 à 10)

Le sédiment recouvrant l'horizon lithifié présente un médian trois fois moindre que celui du sédiment sous-jacent. On peut supposer qu'une phase d'ensablement rapide avec dépôt de sables glauconifères de grain moyen à grossier a été suivie par une phase de décantation avec dépôt argileux calcaire porteur de divers types d'ichnofossiles, empreintes, orifices de terriers ou de galeries. Une seconde phase d'ensablement plus calme avec apport de sables argilo-silteux de grain fin à très fin lui a succédé et a enseveli l'horizon lithifié.

Un nettoyage plus poussé, signifiant l'enlèvement délicat des grains de sable et de glauconie de recouvrement, révélera la présence d'une pellicule argileuse brunâtre à la surface de l'horizon lithifié. Celle-ci surmonte l'argile indurée et tapisse le fond de tous ses creux, recreux, galeries ou pistes. Les aires ou reliefs plus élevés sont dépourvus de cette pellicule. Celle-ci a pu disparaître par érosion ultérieure ou n'y avoir jamais été présente. Ces mêmes zones sont toutefois légèrement brunâtres et témoignent donc elles aussi d'une phase oxydante et rubéfiante (voir planches 8 à 10).

Soulignons que la périphérie de cette dalle est arrondie et lissée, preuve d'un début d'érosion sous aquatique assez intense. Mais, aucune trace d'affouillement central ou latéral n'a pu être observée en ce point. L'horizon lithifié y était intact.

En ce point précis, cette surface demeurée *in situ* et enfouie ne semble plus avoir été dérangée avant sa récente découverte.

#### 2.3.2. Les lithifications déplacées

**Les dalles** résultent de la fragmentation de surfaces plus importantes. Cette fragmentation semble gravifique et résulterait d'une rupture pour faiblesse structurale suite à un affouillement central ou à un affouillement latéral double. Les plaques faiblement indurées ne reposant plus que sur leurs bords ou ne reposant plus qu'en une zone centrale ont cédé et se sont fragmentées. Les surfaces de fracturation sont subverticales.

Ces fragments de plaques montrent tous des contours arrondis, abrasés et lissés. Les surfaces des fractures sont également lissées. L'érosion sous aquatique fut certainement puissante et intense (voir planches 16, 18, 21, 26 et 35 et leurs explications détaillées).

Plusieurs petites dalles montrent une face particulièrement ravinée et rubéfiée. L'interprétation de ce phénomène reste incertaine. Celui-ci a du se produire après la mort du couvert végétal, en milieu côtier aride, salé et

subdésertique. La brillance de certaines patines suggère une action éolienne. Certaines empreintes suggèrent la croissance de cristaux salifères secondairement dissous (voir planches 17 et 21, et leurs explications détaillées). Plusieurs dalles ont été basculées et retournées. Ce phénomène a dû se produire bien après fragmentation et première érosion sous aquatique. La preuve du retournement est fournie par la croissance de colonies de petits cirripèdes de type balanes sur les faces autrefois posées sur le fond et non creusées par les organismes terricoles.

**Les pains de pierre** semblent résulter d'un phénomène de roulis sous aquatique qui aurait affecté des masses cohérentes, mais non encore indurées, déposées en eaux peu profondes, en tous cas soumises à l'action des vagues ou à celle des courants de marée alternativement ascendant et descendant.

Leur surface est faiblement à très faiblement abrasée. Ceux complètement engangés dans la masse du Gravier de base des Sables du Kattendijk présentent une oxydation superficielle plus marquée que ceux demeurés plus ou moins enfouis dans les sables miocènes.

Plus massifs et quelque peu homogénéisés, ils offraient moins de zones de faiblesse structurale et se débitaient plus difficilement. Ceux plus oxydés se désagrégeaient plus ou moins complètement à l'impact du marteau ou à la pression du lithosecteur.

### 2.4. Zonéographie

#### 2.4.1. Historique des observations

La zone qui s'avérera représenter la terminaison méridionale de cet horizon à lithifications miocènes a pu être retrouvée *in situ* lors de la première campagne de fouilles (Chantier II, décembre 2001). En cet endroit, les lithifications peu épaisses ne montrèrent que de nombreuses traces de galeries et s'avèrent stériles au débitage. Cet horizon ne fut pas retrouvé plus au sud. Les foreurs ont confirmé ne l'avoir rencontré qu'en la partie nord du chantier et qu'il était discontinu.

Dans un seul petit secteur, certains de ses constituants fragmentés abrasés et charriés se retrouvaient quelques 50 à 60cm au dessus d'une aire demeurée en place et où elle fut observée *in situ*.

L'avancement du chantier II au début 2001 produisit une nouvelle masse de déblais. Les Sables du Kattendijk (et leur Gravier de Base en terminaison sud) constituant la partie la plus inférieure des masses à évacuer du chantier furent enlevés les derniers et déversés en un seul long déblai distinct. La masse des éléments constitutifs du Gravier de base des Sables du Kattendijk, dernière enlevée, vint coiffer tout le talus, mêlée quelquefois à des petits enlèvements de sables du sommet du Miocène. Vents et pluies allaient se conjuguer pour en faire resurgir les éléments les plus massifs : dents, ossements, concrétions et lithifications.

C'est ainsi que furent découverts outre une grande quantité de dents d'élasmodontes, des dents et ossements isolés de mammifères marins, les principaux blocs contenant astéries, astéries et spatangues, ou spatangues seuls, associés à une faune malacologique relativement restreinte, mais comptant néanmoins 49 espèces.

L'enlèvement et le déversement des sédiments s'étant opérés de façon méthodique nord - sud, la localisation des ramassages effectués sur cette surface de déblais restait révélatrice de la position originale approximative des principales pièces récoltées.

Cinq groupes de lithifications peuvent être distingués sur base de leur contenu fossilifère principal ou de leurs altérations particulières.

1. Les **lithifications à astéries** : leur concentration en une aire très restreinte a déjà été évoquée. Une petite zone de leur aire de dispersion a été violemment perturbée par le Gravier de base des Sables du Kattendijk. Certains blocs ont été rabotés et les éléments en surface abrasés, disloqués et emportés isolément : portions de disques ou de bras, assules isolées ou en petits groupes.

2. Les **lithifications à lumachelles denses** : celles-ci semblent avoir occupé une aire bien plus étendue, recouvrant partiellement l'aire de dispersion des astéries et l'aire suivante.

3. Les **lithifications à concentrations d'ichnofossiles** : elles proviennent elles aussi de zones distinctes. Elles concentrent de façon particulièrement sélective tantôt des terriers comblés de toutes dimensions, tantôt des galeries concrétionnées simples, segmentées, anastomosées ou entrelacées, ailleurs des traces de mouvements verticaux simples ou répétitifs, ou encore des empreintes délicates de tissus éminemment putrescibles mais néanmoins préservés. Ce phénomène est normal en milieu aride, chaud, subdésertique à désertique, éventuellement sursalé.

4. Les **lithifications à crânes d'odontocètes et à bois flottés taraudés** : elles semblent être revenues d'une aire d'échouage franc. Il faut entendre par là qu'elles se trouvèrent mêlées par hasard aux autres lithifications évoquées à cause du charriage provoqué par le Gravier de base pliocène.

5. Les **lithifications rubéfiées et scarifiées** : elles ont occupé une aire terminale en zone d'exondation temporaire ou permanente et furent soumises aux altérations d'un milieu subdésertique vraisemblablement salifère. Les lithifications à ichnofossiles empreintes de parties putrescibles ont du les voisiner.

La bande de terrain qui recelait l'ensemble de ces blocs ou lithifications est celle que recouvrent les coulées M17

à M28 du chantier (M étant l'initiale du mot néerlandais Moot). Une Moot intéressant 20 mètres, cette bande de terrain s'étirait sur quelques 250m (voir Figure 1).

2.4.2. Zonéographie nord - sud des lithifications, hypothèse proposée (chantier II)

En guise de conclusion et déduction, du nord au sud la succession suivante peut être suggérée :

- Zone à lithifications gréseuses glauconifères peu épaisses particulièrement riches en terriers divers, dont de très nombreux à remplissage concrétionné formant des entrelacements complexes ( voir planches 18 et 19).

- Zone à lithifications gréséo-carbonatées glauconifères épaisses et relativement volumineuses avec terriers divers et partie inférieure mal stratifiée mais riche en coquilles de grands mollusques gastéropodes *Ficus*, *Semicassis*, *Scaphander* (voir planches 39 à 42).

- Zone à concrétions mixtes gréséo-carbonatées épaisses et généralement subtabulaires . Les strates sableuses, glauconifères et riches en mollusques plus ténus (bivalves de type *Ensis*) en constituent la partie inférieure. La partie supérieure en est argilo-carbonatée et montre les orifices de divers types de terriers ainsi que d'éventuels fragments de tests de spatangues (voir planche 38).

- Zone à concrétions de même type , un rien plus épaisses, avec à leur sommet des astéries plus ou moins complètes, isolées ou regroupées accompagnées de leurs ultimes traces de reptation (voir planches 25 à 28).

- Zone à concrétions de même type, subtabulaires, avec fragments d'astéries, assules dispersées et tests de spatangues plus ou moins complets (voir planches 29 à 31).

- Zone à concrétions tabulaires de moindres dimensions porteuses à la face supérieure d'orifices de terriers d'organismes fouisseurs (voir planches 20 et 21).

Variantes latérales :

- *Secteur nord de la bande concernée* : lithifications tabulaires présentant à leur sommet des amas de coquilles de *Glycymeris* généralement dépareillées et altérées ; concrétions et coquilles peuvent être porteuses de colonies de petits cirripèdes de type balane qui se sont développées après la fragmentation, le remaniement et le renversement éventuel des lithifications (voir planches 24 et 34).

- *Secteur sud de la bande concernée* : lithifications finement laminées avec fortes concentrations de coquilles de minuscules bivalves et ou de ptéropodes (voir planches 36 et 44).

Divers blocs illustrent à la perfection (voir Pl. 18, 26, 35 et 39) la puissance de l'érosion latérale, due aux mou-

vements de flux et de reflux des marées successives en une passe étroite ou un goulot entre îlots mangroviens. Chaque mouvement étant freiné par la présence de la croûte d'épandage de la tempestite en phase d'induration, accentuait érosion et affouillement latéraux. L'induration insuffisante de la croûte allait provoquer sa fracturation dès que l'affouillement aura dépassé les limites de sa portance gravifique.

### 3. Inventaire systématique commenté<sup>4</sup>

#### 3.1. Remarque préliminaire

Hormis les mollusques abondamment représentés, tous les autres groupes recensés ne le sont que par quelques individus. Seule la découverte d'un bloc porteur d'une dizaine d'individus de stellérides groupés et d'une vingtaine d'autres présences confère aux astéries une deuxième place quantitative.

Une décalcification marquée a affecté fortement tous les spécimens inclus en périphérie des lithifications, et a réussi à endommager partiellement ceux contenus en leur masse. Une recristallisation ultérieure est venue modifier l'apparence externe de certains et, en particulier des plus petits, au point d'effacer la plupart sinon la totalité des caractères distinctifs.

#### 3.2. Invertebrata

Les groupes ayant livré des restes fossiles seront inventoriés et examinés d'après l'énumération suivante :

Spongiaires (*Porifera*) – Annélides (*Annelida*) – Crustacés (*Ostracoda*) – Bryozoaires (*Bryozoa*) Echinodermes (*Echinodermata* : *Echinozoa*, *Asterozoa*) – Mollusques (*Mollusca* : *Gastropoda*, *Bivalvia*)

Les absences totales ou partielles de divers groupes seront évoquées et une proposition d'explication en sera formulée.

##### 3.2.1. PORIFERA

**Classe DEMOSPIONGIAE Sollas, 1885**

**Ordre Verongida Bergquist, 1978**

**Famille Aplysinidae Carter, 1875 – Genre *Aplysina* Nardo, 1834**

*Aplysina* sp.  
(Planche 23)

**Matériel:** Un seul exemplaire de type cylindrique simple de circa 70 mm de hauteur résiduelle et 35 mm de diamètre a été découvert lors du débitage d'un bloc (IRScNB IST 7047).

**Description:** Le spécimen pris au sein de la lithification ne semble ni comprimé ni compressé, et aurait donc conservé sa forme naturelle. Son isolement, l'absence de la partie la plus inférieure du tronc et forcément de toute trace de son support, suggèrent qu'il a été arraché de son ancrage ou de sa colonie. Une éponge tubiforme est en premier lieu seule. Si elle vient à constituer une colonie, les membres ont une sole d'ancrage commune. Ce spongiaire est engangé dans le sédiment argileux carbonaté attribué à la phase calme de décantation qui suivit son rejet côtier. Sa position subverticale pourrait faire croire à une position originale et naturelle. Sa cavité centrale est comblée par un sédiment sableux glauconifère, très compact et dense vers la base, moins en sa partie supérieure. Des éléments sédimentaires de même type sont inclus dans ses tissus, en particulier dans la partie basale.

**Remarque taphonomique :** L'absence de compaction ou de compression sédimentaire supposerait une induration globale et rapide du sédiment environnant et de son contenu.

C'est vraisemblablement l'importance de la charge sédimentaire interne uniformément répartie et plus ou moins intégrée dans la partie inférieure du spécimen qui aura provoqué son maintien en position subverticale, ou éventuellement faiblement oscillante. C'est cette même charge qui aura empêché son enlèvement par un phénomène ultérieur de reflux des eaux. D'autres éléments de la même espèce ou du même type, mais avec une charge sédimentaire moindre ont pu se voir évacués par un éventuel phénomène de reflux. Ceci expliquerait l'unicité de ce spécimen.

**Approche systématique :** Il s'agit d'un spongiaire du type éponge tubiforme (*tube sponge* ou *barril sponge* des anglophones). Ces éponges peuvent appartenir à divers groupes. L'absence ou la présence de spicules siliceux ou calcaires est déterminante (cf. LEVI, 1973, BERGQUIST, 1978).

*Eponge siliceuse ?* Aucun spicule n'a pu être détecté au MEB. Une phase d'intense décalcification a affecté toutes les lithifications. Celle-ci aurait fait disparaître des spicules calcaires, et même affecter des spicules siliceux, mais l'absence de silicifications particulières dans le sédiment exclu cette hypothèse. Il ne peut donc s'agir d'une éponge siliceuse. Son appartenance aux Hexactinellides caractérisées par la présence de spicules siliceux est donc exclue.

*Calcsponge ou Démosponge ?* La décalcification plus ou moins intense subie par tous les fossiles contenus dans ces lithifications laisse planer une incertitude quant à l'éventuelle présence de spicules calcaires. La morphologie et les fantômes de structures seuls peuvent restreindre le champ d'attribution systématique.

<sup>4</sup> par J. Herman

La morphologie de ce spongiaire ou fragment de spongiaire en fait une éponge démosponge (BRIEN, 1973) tubiforme caractéristique. Les éponges actuelles de ce type sont des démosponges (LENDENFELD, 1889, TOPSENT, 1928). En absence d'autre groupe fossile calcisponge connu, l'attribution aux démosponges peut être envisagée.

Après comparaison avec diverses espèces des quelques genres les plus approchants (BURTON, 1963) : *Aplysina* Nardo 1834, *Callyspongia* Duchassaing & Michelotti 1864, *Hippospongia* Schulze 1879, *Phoriospongia* Marshall 1880, *Psammopemma* Marshall 1881, *Pseudoceratina* Carter 1885, il semble que la granulation résiduelle de l'enveloppe extérieure, le taux relativement faible de corps étrangers sédimentaires inclus, l'épaisseur des parois et les proportions résiduelles du spécimen, suggèrent une parenté possible avec le genre *Aplysina* Nardo, 1834.

Aucun représentant fossile du genre ne semble connu. *Aplysina aerophoba* Nardo, 1843 est l'espèce actuelle qui morphologiquement s'en rapprocherait le plus. L'attribution à la famille des Aplysinidae semble plausible.

Les aplysinines sont tropicales, subtropicales à tempérées chaudes (BERGQUIST, 1978). Si certaines espèces vivent ou descendent en eaux profondes, bon nombre de leurs représentants se rencontrent en eaux sublittorales ou peu profondes.

La désignation proposée sera donc: cf. *Aplysina* sp. Il pourrait s'agir de la première aplysinine miocène connue.

### 3.2.2. ANNELIDA, ou Ichnofossilia leurs attribués

#### Classe POLYCHAETA

##### Sous-classe Sedentaria

(Planches 19 à 21)

**Matériel :** Aucun scolécodonte, aucune soie, aucun tube, aucun opercule, aucune empreinte corporelle qui aurait permis de définir un type de segmentation n'a été observé ou découvert, seules de très nombreuses galeries verticales ou subverticales présentant des orifices divers, d'innombrables moules internes de tubulations simples, complexes ou enchevêtrées et quelques délicates empreintes de panaches branchiaux simples, multiples ou verticillés suggèrent ou témoignent de la présence de divers groupes d'annélides dans la masse des lithifications ou sur certaines de leurs aires périphériques. Ces traces furent observées par centaines sur celles-ci.

Toutes ces types galeries et de terriers semblent avoir appartenu à divers groupes d'annélides polychètes sédentaires (BROMLEY, 1990, HÄNTZEL, 1975).

#### Approche interprétative

La décalcification plus ou moins intense qui affecta ces masses peu après leur dépôt a évidemment pu détruire

le ciment carbonaté et les parties carbonatées de leurs habitats ou opercules, elle n'aurait pu détruire en son intégralité la masse des tubes des Serpuliformes. Ce sera donc le seul groupe de polychètes sédentaires dont la présence semble exclue.

Les ichnofossiles attribuables à ces annélides au sein des, ou sur les lithifications n'en sont pas moins très nombreux et très diversifiés, mais ces seules preuves de leur présence et intense activité, doivent être interprétées avec prudence.

Dans tous les cas, il s'agirait d'annélides polychètes sédentaires. Au sein de cet ensemble, deux types de terriers ou galeries se distinguent immédiatement (SCHAEFER, 1972).

**Le premier type de terrier** comprend les terriers simples et verticaux ou subverticaux. Ce type de galerie ou terrier ne se conçoit qu'en sol meuble sableux, sablo-argileux ou argileux. Le degré d'instabilité du sédiment creusé exigera une cimentation appropriée. Bien souvent un peu de mucus associé ou non à quelques rejets organiques peuvent suffire. Parmi les annélides polychètes sédentaires actuels, les sabelles, les térébelles et les amphitrites abondamment représentées dans toutes les eaux intertidales ou infratidales tropicales à tempérées ont pu être à l'origine de ces ichnofossiles.

Les annélides évoqués peuvent avoir un comportement nutritionnel très différent qui rend possible une approche déterminative de leurs terriers. Deux types comportementaux furent détectés en ce site.

**Le premier comportement** est une quasi immobilité. Les individus se contentent d'épanouir et de refermer leur(s) panache(s) de tentacules sans pratiquement effectuer des mouvements corporels verticaux. Une consolidation minimale de la paroi est suffisante vu l'absence de tension. L'orifice de leurs terriers est en ce cas situé à ras du fond, voire en légère dépression sur ce fond, qu'ils ne perturbent guère. Les sabelles (*Sabella*) et les térébelles (*Terebella*) en sont les meilleurs exemples. Leurs puissants panaches branchiaux simples, multiples, circulaires ou verticillés peuvent s'imprimer dans la vase de l'aire prospectée autour de l'orifice ou sur la paroi de leur terrier.

**Le second comportement** est une agitation quasi permanente qui implique la principale partie de la masse corporelle. Les individus surgissent à intervalles plus ou moins fréquents de leur tube et s'y replient après un acte nutritif ou à la moindre alerte. La partie inférieure de leur habitat est généralement solidement cimentée pour résister aux pressions et tensions qu'impliquent leurs mouvements verticaux. Si besoin est la cimentation sera répétitive et concentrique. Leurs mouvements incessants entraînent le sédiment environnant et provoquent la formation de petits monticules au sommet duquel se localise l'orifice.

Les amphithrites (*Amphithrites*) en sont l'exemple type.

**Le second type de terrier** concerne les annélides à terriers horizontaux quelquefois simples mais le plus souvent complexes et très ramifiés, dont les lacis ou réseaux plus ou moins enchevêtrés occupaient préférentiellement la face inférieure des surplombs des lithifications abrasées. Tous ont besoin d'un support rigide sinon induré pour y construire leurs tubulations. Celles-ci sont des gaines souples à plus ou moins rigides Le degré de rigidité de leur gaine est fonction de la constitution plus ou moins mucilagineuse, avec ou sans incorporation de corpuscules sédimentaires sableux ou organiques, complétée ou non par une légère cimentation carbonatée.

Si cimentation carbonatée faible il y eut, celle-ci fut dissoute comme la gaine organique pendant les phases de décalcification et altération ultérieures. Seul le remplissage de leurs galeries témoigne de leur existence.

Divers types d'annélides sédentaires peuvent avoir édifié semblables galeries simples ou en lacis. Cirriformes et polycirres comptent parmi les plus probables, mais il est impossible d'exclure les nombreux autres candidats. Les représentants des groupes évoqués construisent des gaines généralement mucilagineuses rigides si plus ou moins calcifiées, souples dans le cas contraire, dans toutes les eaux infratidales tropicales à tempérées

Tous les ichnofossiles rencontrés sont attribuables à des organismes d'eaux de moins de dix mètres de profondeur.

#### Approche systématique

Les principaux types de terriers rencontrés seraient attribuables aux groupes suivants (les genres évoqués sont proposés à titre indicatif). La systématique proposée pour ces groupes hypothétiques respecte les récentes propositions taxonomiques de BELLAN, 2001).

#### **ANNELIDA – Polychaeta – Sedentaria - Terebellida** **Famille Terebellidae Malmgren, 1865 cf. Amphithrite Müller, 1776**

(Planche 20, 2a-b)

Des terriers verticaux de 10 à 15 cm de profondeur dont l'orifice d'un diamètre maximal de 2 à 3 cm est situé au sommet d'un petit monticule sédimentaire. Ces terriers pénétraient le sédiment sous l'horizon lithifié. Ils sont peu fréquents.

#### **ANNELIDA – Polychaeta – Sedentaria - Terebellida** **Famille Terebellidae Malmgren, 1865 cf. Terebella Linnaeus, 1767**

(Planche 20, 1a-b)

Des terriers verticaux de 3 à 6 cm de profondeur et d'un diamètre proche de 1 cm avec orifice à ras des lithifications.. Ceux-ci sont fréquents.

#### **ANNELIDA – Polychaeta – Sedentaria - Sabellida** **Famille Sabellidae, Malmgren, 1865 cf. Sabella Linnaeus, 1767**

(Planche 21)

Terriers obliques ou subverticaux d'un diamètre de quelques 5 à 10 mm à orifice situé au centre de petites dépressions ou petits recreux avec traces périphériques, empreintes de couronne ou panache simple ou multiple plus ou moins étalées. Ces présences sont fréquentes sur les dalles de faibles épaisseur et dimensions.

Ces terriers et empreintes si caractéristiques témoignent en outre du renversement de quelques une de ces petites dalles. Ces organismes n'auraient pu vivre avec l'orifice du terrier tourné vers le fond marin et encore moins y reposant. Ils sont particulièrement abondants sur les petites dalles les plus oxydées et rubéfiées. Ces dernières devaient se situer dans la tranche d'eau la moins profonde et furent les premières exondées, altérées et éventuellement partiellement éolisées.

#### **ANNELIDA – Polychaeta – Sedentaria - Terebellida**

#### **Famille Terebellidae Malmgren, 1865 cf. Polycirrus Grube, 1850**

(Planche 19)

Terriers horizontaux en lacis ou écheveaux plus moins démêlés, occupant les surplombs périphériques de la face inférieure de certaines lithifications du type dalle de grande taille.

#### **Remarques écologiques et implications taphonomiques**

Les annélides à terriers verticaux se sont installés dans la zone intertidale dès le rejet côtier et avant l'induration significative du sédiment (BRATTEGARD, & HOLTE, 1997, BÖGGEMANN, 1998). La finesse de la préservation des empreintes de certaines traces attribuées à des panaches branchiaux renforce cette hypothèse. Ils furent les contemporains des astéries piégées et de leur décès. Ils sont décédés lorsque définitivement exposés à l'air. Leurs traces furent, comme les traces de reptation, ou les squelettes des astéries mortes dans les ultimes surfaces humides, recouvertes d'un fin voile sédimentaire d'origine très vraisemblablement éolienne.

Les autres n'auraient pu adhérer à ces masses meubles et instables avant induration suffisante. L'induration de masses argileuses carbonatées peut se produire très rapidement si celles-ci se retrouvent émergées en milieu subdésertique (BASAN, & FREY, 1977).

Il faut souligner en outre qu'ils ont opté pour les faces inférieures des surplombs et n'ont jamais colonisé les faces supérieures des lithifications.

Ils sont forcément des colonisateurs venus après la dislocation des dalles et l'érosion latérale consécutive qui les affecta.

Cet accident est survenu après un laps de temps difficile à préciser. Les éléments indurés et ré-immérgés fournirent un support idéal mais également de brève durée.

### 3.2.3. CRUSTACEA

#### Classe Ostracoda

**Ordre Podocopida Pokorny, 1953 Famille Loxoconchidae Sars, 1866**

**Genre *Kuiperiana* Bassiouni, 1962**

***Kuiperiana tenuipunctata* Bassiouni, 1962**

(Planche 32, Fig. 2)

**Matériel :** Deux valves isolées, partiellement décalcifiées, engangueées et recristallisées de deux spécimens distincts on été extraites du tri de la fraction inférieure à 2 mm des résidus de débitage et concassage. Coll. IRScNB IST 7045, 7046.

La face interne de ces valves est incluse dans le sédiment recristallisé. Seule leur face externe est visible. La taille relativement grande et la forte épaisseur de leurs valves les auront préservées d'une dissolution totale par décalcification. Seules la morphologie externe et l'ornementation de ces valves pouvaient en être examinées. Celles-ci permettaient de les attribuer (*cf.* MOORE, 1961) à un membre de la Famille Loxoconchidae Sars, 1925.

**Détermination :** Leur examen ayant été confié au Dr. K. Wouters (IRSNB), celui-ci a pu y reconnaître l'espèce *Kuiperiana tenuipunctata* Bassiouni, 1962, qui précise-t-il (communication personnelle, basée sur WOUTERS, 1978) : *se rencontre en Belgique dans les Sables d'Edegem, les Sables de Houthalen, les Sables d'Anvers et les Sables de Zonderschot.*

Cette espèce semble toutefois absente des autres bassins miocènes européens avec lesquels nous avons tenté une comparaison faunistique (MOYES, 1965, SZCZECZURA, 1987, UFFENORDE, 1981, WILKINSON, 1980).

#### Classe Cirripedia

**Ordre Thoracica Darwin, 1854 Sous-Ordre Balanophormia Pilsbry, 1916**

**Famille Balanidae Leach, 1817**

**Genre *Balanus* Da Costa, 1778 Sous-Genre *Chirona* Gray, 1835**

***Balanus (Chirona)* sp.**

Une petite thèque d'un individu détaché de son support inconnu, de dimensions infracentimétriques, a été observée profondément engangueée dans la masse d'une lithification du type *pain de pierre*. Ses *tergae* et *scutae* font défaut (individu décédé). La morphologie des radiales est celle des *Balanus (Chirona)* tertiaires à actuelles, hôtes des

eaux intertidales. Bien que presque indécélable, elle est présente sur le bloc figuré planche 35 (Coll. IRSNB).

### 3. 2. 4. BRYOZOA - Cheilostomata

**Famille Cupuladriidae Lagaaij, 1952**

**Genre *Discoporella* Canu & Bassler, 1919**

***Discoporella* sp.**

(Planche 32, Fig.1)

**Matériel :** Trois petites colonies (exemplaire figuré IR-ScNB IST 7044) discoïdales et faiblement cupuliformes de diamètres respectifs de 8.5 mm sur 9 mm, de 6mm sur 7 mm et de 4 mm sur 4.5 mm ont été découvertes parmi les fragments de concassage des blocs présentant en surface les coquilles de mollusques les plus affectées par la décalcification et donc moins bien préservées. Ces frêles colonies contenues dans la masse des lithifications avaient toutefois été partiellement atteintes par la décalcification et le débitage même orienté a forcément endommagé leurs fines structures.

**Description :** Si défectueux que soit l'état des spécimens celui-ci permet toutefois de constater certains faits. Les colonies sont discoïdales et cupuliformes. Les zoécies se présentent en rangées parallèles formant des rayons bien distincts. Il n'y a pas de vibraculum distal étiré à l'extrémité de chaque zoécie. Il n'y a pas de rangées de vibracules symétriques en parallèle des alignements des zoécies. La porosité est très importante. Le vibracule est relativement large et des opésiules plus ou moins arrondis s'observent encore.

**Discussion :** Deux familles et divers genres fossiles cénozoïques à actuels connus présentent des colonies discoïdales et cupuliformes (MOORE, ed., 1953, et révisions systématiques partielles ultérieures).

**Famille Cupuladriidae** Lagaaij 1952, Crétacé-actuel (parfois réintégré à la Famille Membraniporidae Busk 1854, *cf.* Moore (ed., 1953) avec les genres *Cupuladria* Canu & Bassler 1919, Miocène à actuel, espèce type *C. (Membranipora) canariensis* (Busk 1859), actuel, Atlantique, genre *Trochopora* d'Orbigny 1849, Eocène-Miocène, espèce type *T. (Lunulites) conica* (Defrance, 1853), Miocène, France et le genre *Discoporella* d'Orbigny 1852, Miocène-actuel, espèce type *D. (Lunulites) umbellata* (Defrance 1823), Miocène, France. Ce dernier genre était encore attribué à la Famille Calpensidae Canu & Bassler 1923, Crétacé-actuel dans le *Treatise* (MOORE, éd., 1953).

**Famille Lunulitidae** Lagaaij 1952, Crétacé-actuel : genre *Lunulites*. Genre *Lunulites* Lamarck 1816, Crétacé-actuel, synonyme *Lunularia* Busk 1884, espèce type : *L. radiata* Lamarck 1816, Miocène, France.

Les caractères des zoécies et le manque d'un vibraculum distal étiré semblent exclure le genre *Trochopora*. Le vibraculum large et les opésiules écartent nos spécimens du genre *Lunulites*, mais les rapprochent du genre *Discoporella* sans pouvoir écarter une forme plus primitive de *Cupuladria*. L'attribution générique proposée serait donc *Discoporella* sp. Ces spécimens présentent quelques similitudes avec l'espèce type *D. umbellata* DeFrance, 1823, d'âge miocène.

Après examen des clichés macroscopiques et microscopiques réalisés, le Dr. Berning de l'Université de Graz (communication personnelle) confirme sans équivoque l'appartenance de ces fossiles aux Cupuladriidae et exclu définitivement un rapprochement avec les Lunulitidae.

*Citation du Dr. B. Berning (30.-31.03.2006): I presume it is a cupuladriid due to the serrated margin. In the lunulitids the distal zooids are rather rounded and the vibracula are produced behind the distal autozoid generation... Cupuladriids have the zooids and the distal and relatively pointed vibracula at the growth margin so the distal zooids project a lot further from the margin, which is quite apparent at lower left of Photo 1. (cf. pl.32, fig.1).*

Il ajoute que certains arguments suggèrent une relation directe (*affiliation*) entre les genres *Discoporella* et *Cupuladria*.

#### Remarque écologique

Signalons que les deux genres ont des représentants actuels en eaux tropicales et subtropicales sublittorales et peu profondes dans l'Atlantique nord.

#### Comparaison avec d'autres formes miocènes belges

Les bryozoaires cupuliformes sont très communs dans les Sables d'Edegem, les Sables d'Anvers et les Sables de Zonderschot (LAGAAIJ, 1952).

Il faut remarquer que dans ces divers Sables, ce sont les espèces véritablement cupuliformes qui sont dominantes. Les colonies de ces espèces présentent une section proche de 90°.

Les trois spécimens concernés par la présente étude ont une section presque plane et présentent une vague trace d'adhérence à un substrat indéterminé.

#### Comparaison avec des faunes étrangères

Ces formes sont si largement distribuées qu'aucune remarque visant à suggérer une affinité particulière avec quelque autre bassin miocène européen ne peut être avancée (BALUK & RADWANSKI 1984, BUSK, 1859, CANU & LECOINTRE, 1925-1934).

#### 3.2.5. ECHINODERMATA (Echinozoa – Asterozoa)

##### A. ECHINOZOA – Echinoidea

**Ordre Spatangoida Claus, 1876 - Sous-Ordre Micrasterina Fischer, 1966**

**Famille Spatangidae Gray, 1825 et Famille Loveniidae Lambert, 1905**

(Planches 29 à 31)

**Matériel:** Celui-ci comprend des éléments dont les états de préservation sont très divers. En voici l'énumération.

- Cinq spécimens vraisemblablement complets mais fermement engangés dont seule la face orale ou un flanc est bien visible. Ils font partie de la collection E. Wille (voir planches 29 et 30).

- Deux spécimens dégagés entièrement mais très fortement épigénisés, au point que le nombre et le détail de l'agencement des plaques du test sont indéfinissables. Ils présentent un profil particulier peu élevé voire surbaissé avec la partie postérieure du test nettement surbaissée. Quelques courtes soies sont détectables. (Collection E. Wille).

Ce type de profil avec partie postérieure du test surbaissée s'observe également sur la section d'un échinide inclus dans la masse de la lithification porteuse d'un bois de conifère (Collection SGB 14 E 283 - 5, voir planche 16, et son explication détaillée).

- Quatre fragments fortement engangés représentant une aire interambulacraire bordée par ses zones ambulacraires partiellement préservées dont trois montrent leur face interne. Trois de ceux-ci proviennent de test de spécimens élevés à très forte gibbosité. Le quatrième montrant sa face externe assez fortement abrasée a fait partie d'un test très peu élevé. Il porte quelques très larges traces de fixation de puissantes soies, fragment non figuré.

- Une portion latérale postérieure droite du test engangé d'un grand spécimen à test élevé (voir planche 31, fig. 2, et son explication détaillée. (Collection E. Wille). Cette portion postérieure de test ne donne pas l'impression d'avoir été surbaissée. Elle porte les traces de fixation de très nombreuses soies de faibles diamètres.

- Une portion latérale d'un grand spécimen du même type que le précédent mais virtuellement disloqué et dont les éléments restés en position proximale ont du avoir été légèrement cimentés pour demeurer en semblable position (voir planche 31, figure 1. (Collection E. Wille).

- Divers petits fragments de tests et des plaques isolées ont été observés sur une quinzaine de lithifications. Tous ceux-ci lorsque visibles par la face externe présentaient les traces de fixations de nombreuses soies de faible diamètre.

Il faut attirer l'attention sur le fait qu'aucun radiole ou élément de test d'échinides réguliers n'a été rencontré. Les radioles d'échinides réguliers sont abondants dans les Sables d'Anvers et communs dans les Sables de Deurne.

#### Examen du matériel

La morphologie générale des tests ou fragments de tests permet de supposer qu'ils ne peuvent appartenir qu'à une des deux familles suivantes de Micrasterina : Spatangidae et Loveniidae et en particulier des genres suivants.

#### Famille Spatangidae Gray, 1825

Parmi les membres de cette Famille la morphologie générale, l'extension stratigraphique et, ou, la distribu-

tion permettent de restreindre les recherches aux genres suivants (cf. MOORE, 1966).

Genre *Spatangus* Gray, 1825 Eocène – Récent et cosmopolite.

Espèce type : *Spatangus purpureus* Müller, 1776

Genre *Maretia* Gray, 1855 (synonyme *Hemipatagus* Desor, 1858) Eocène (cosmopolite)–Récent.

Espèce type : *Spatangus planulatus* Lamarck, 1816.

Genre *Hemipatagus* Desor, 1858 (quelquefois synonymisé avec *Maretia*). Miocène européen.

Espèce type : *Hemipatagus ocellatus* (Defrance, 1827)

Genre *Atelospatangus* Koch, 1855 (synonyme *Oppenheimia* Cossmann, 1900) Eocène – Miocène (Sud Europe)

Espèce type : *Atelospatangus transilvanicus* Koch, 1855 (Roumanie)

### Famille Loveniidae Lambert, 1905

Genre *Lovenia* Desor, 1847 Eocène- Récent (cosmopolite)

Espèce type : *Lovenia (Spatangus) elongatus* (Gray, 1845)

Le profil antéro-postérieur de certains spécimens présentant une partie postérieure fortement surbaissée oblige de retenir également, malgré sa distribution restreinte, le genre suivant:

Genre *Pseudolovenia* Agassiz & Clark, 1907 Récent (Pacifique)

Espèce type : *Pseudolovenia hirsuta* Agassiz & Clark, 1907

### Tentative d'approche systématique

En l'absence de tests parfaitement préservés et examinables sous toutes leurs faces, il est hasardeux de proposer un genre à nos spécimens, tant certaines distinctions entre taxa actuels demeurent subtiles ou sont à redéfinir.

A titre exemplatif, pour LOVEN (1869), MORTENSEN (1927), ou encore DURHAM (1966), les deux espèces actuelles les plus représentatives du genre *Spatangus* (*S. purpureus* et *S. raschi*) présentent soit un test massif élevé et plus ou moins gibbeux (*S. raschi*) ou un test frêle et peu élevé (*S. purpureus*). *S. raschi* n'est porteur que de soies de faibles diamètres ne nécessitant que de discrets tubercules et aréoles de fixation, *S. purpureus* présente certaines soies massives nécessitant très larges aréoles et tubercules de fixation. Un fasciole sous-anal peut être présent ou absent, et plus ou moins marqué au sein de la même espèce.

Parmi les cinq spécimens vraisemblablement complets mais partiellement examinables : la morphologie générale des quatre dont seule la face orale est examinable permettrait de les attribuer à des Spatangidae. Celui dont seul un flanc est bien visible suggère plutôt un Loveniidae. Trois des quatre Spatangidae pourraient appartenir au genre *Hemipatagus* ou *Maretia* suivant les auteurs.

### Précisions concernant ces trois spécimens spatangides (communication personnelle Dr. J. JAGT, mars 2006)

La position du péristome, la forme, la longueur du labre, la constitution du sternum et la tuberculation des interambulacraires antérieures sont si typiques que même sans disposer de spécimens montrant leur face dorsale une étroite affinité (sterke verwantschap) avec *H. ocellatus*, connu du Burdigalien et Langhien d'Autriche, de la Paratethys et peut-être du Portugal, est envisageable. Il peut évidemment s'agir d'une autre espèce. Cette remarque s'applique aux spécimens figurés planches 31 et 32.

### Concernant les autres spécimens

Les deux spécimens dégagés entièrement, mais très fortement épigénisés à profil particulier, peu élevé et arrière surbaissé, n'évoquent aucun genre fossile. Parmi les genres actuels, seul le genre *Paralovenia* (Loveniidae) présente un test dont la partie anale ou postérieure est surbaissée. Ce genre n'est toutefois connu avec certitude que des Iles Hawaï. Les spécimens fossiles des lithifications miocènes de Doel sont peut-être des Loveniidae, mais appartiendraient en ce cas à un genre inconnu.

Le spécimen en section avec partie postérieure surbaissé : il pose le même problème. Son profil est toutefois nettement plus élevé que celui de *Pseudolovenia*. Même impossibilité de l'attribuer à un genre connu.

En ce qui concerne les quatre fragments fortement engagés représentant une aire interambulacraire avec zones ambulacraires partiellement préservées : les trois montrant leur face interne et provenant de tests à très forte gibbosité semblent provenir de quelque Spatangidae. Celui montrant sa face externe abrasée et provenant d'un test peu élevé avec très larges traces de fixation de puissantes soies pourrait appartenir au genre *Maretia* ou au genre *Spatangus* et même, à l'espèce *S. austriacus* Laube, 1871 du Miocène du Bassin de Vienne (cf. RADWANSKI & WYSOCKA, 2004, pl.6, fig. 1a-1b), mais également présente dans le Miocène de Swiniary, Holy Cross Mountains, partie méridionale de la Pologne centrale (cf. MACZYNSKA, 1977).

Les portions latérale postérieure droite ou latérale droite du test de grands spécimens à test élevé ne peuvent momentanément recevoir une attribution systématique autre que spatangiforme indéterminé.

### Conclusion provisoire concernant la position systématique des restes d'échinides

A la suite des remarques et observations précédentes il est seulement possible d'entrevoir la présence de trois ou quatre (?) espèces dont deux appartiendraient à la Famille des Spatangidae (forme la plus gibbeuse et spécimens dont la face orale est préservée) et la ou les autres à la Famille des Loveniidae.

Trois de ceux dont la face orale peut être examinée présenteraient une parenté certaine avec *Hemipatagus ocellatus* (Defrance, 1827).

Les autres fragments ne peuvent être attribués avec certitude ni à un genre ni même à une des deux familles évoquées.

### Remarques écologiques et taphonomiques

Les restes d'échinides irréguliers ont été rencontrés sous forme de tests brisés après rejet, et, ou avant rejet. L'induration ayant provoqué la formation des lithifications a cimenté les fractures au point d'avoir préservé juxtes ou en positions proximales des plaques de test disjointes.

D'autres présentent des tests fracturés mais complets. Ceux-ci semblent être ceux d'individus demeurés en position de vie ou s'étant remis en position de vie après avoir été dérangés.

Enfin, il s'est trouvé un échantillon présentant la trace parfaitement préservée des orifices des pieds respiratoires tubulaires et pénicillés extraordinairement extensibles (voir planche 30, fig.3). Une excellente visualisation de semblable échinide actuel en son terrier avec son orifice respiratoire est donnée par DURHAM (1966: fig. 206, p.U263 du *Treatise on Invertebrate Paleontology*).

### B. ASTEROZOA - Stellerioidea

Ordre Valvatida Perrier, 1884

Sous-Ordre Granulosina Perrier, 1894

Famille Goniasteridae Perrier, 1894 – Genre *Ceramaster* Verrill, 1899

*Ceramaster* cf. *polonicus* Nosowska, 1997

(Planches 25 à 28)

**Matériel :** Une quinzaine d'astéries quasi complètes, une quarantaine de fragments significatifs (bras isolés plus ou moins complets, portions de bras) et de très nombreuses assules groupées ou isolées. Collections E. Wille, F. Smet. Tout ce matériel a été confié pour étude par leurs inventeurs au Dr. J. JAGT (NHM, Maastricht NL).

### Position systématique de ces astéries

Sans attendre les résultats de l'étude définitive de notre collègue, il est possible de signaler que la morphologie générale et le squelette de ces astéries permettent de

les attribuer au Genre *Ceramaster* VERRILL, 1899 de la Famille des Goniasteridae PERRIER, 1894 (Ordre Valvatida). L'espèce avec laquelle elles présentent le plus d'affinités est *Ceramaster polonicus* NOSOWSKA, 1997 du Badénien des Sables de Nawodzice en Pologne. L'horizon duquel proviennent les spécimens polonais est interprété comme milieu marin subtropical, subtidal à intertidal avec relation indo-pacifique encore possible (cf. KACZMARSKA, 1987, NOSOWSKA, 1997).

### Précisions concernant la découverte des astéries de type *Ceramaster*

Un seul bloc à astéries (onze individus quasi complets) a été découvert presque *in situ*, au cours de notre première campagne de fouille du Gravier de base des Sables du Kattendijk (GBSK-1, décembre 2001). L'expression « presque *in situ* » rappelle le fait que ce bloc reposant sur le sommet abrasé du Miocène était toutefois enchâssé dans le gravier de base, et avait donc du subir un déplacement si minime fut-il.

Par la suite, quelques autres blocs contenant individus isolés généralement brisés ou disloqués, des assules plus ou moins groupées ou disséminées, en association avec des tests plus ou moins complets de spatangues ont été récoltés lors des deux campagnes de fouille suivantes (GBSK-2 et GBSK-3, début 2002). Ces trois fouilles ont été exécutées en partant du nord et en progressant vers le sud, en trois bandes parallèles juxtes, dans la zone marquant la limite de la mise en place du radier de base sur le Chantier II. Ces blocs étaient enchâssés dans, ou enrobés par, la masse constituant le Gravier de base des Sables du Kattendijk. Les plus volumineux et massifs reposent à même le sommet du Miocène constitué en cet endroit de sables argileux très glauconifères.

Au cours des quatre fouilles suivantes, seules des assules isolées (Chantier II) ou quelques fragments de bras (Chantier I) furent retrouvés parmi les résidus de tamisage. Le nombre et le volume des blocs y furent moins importants. L'altération et la décalcification se marquaient de plus en plus vers le sud. Enfin, le Gravier de base des Sables du Kattendijk vint à disparaître complètement sur une centaine de mètres en ce secteur.

### Précisions concernant l'incident ayant provoqué la formation des lithifications à astéries

L'examen détaillé des lithifications impliquées a mis en évidence la présence de plusieurs terriers à remplissage séquentiel associés à ces astéries. En l'occurrence, la succession des événements semble être la suivante.

1°. Des dépôts argileux, légèrement silteux et carbonatés se sont formés par rejet de tempête en certaines laisses côtières. Ils sont meubles ou plastiques, non consolidés, peut-être encore en phase de décantation. Les astéries y ont été piégées.

2°. Des terriers verticaux d'une profondeur de 4 à 6 cm et d'un diamètre subcentimétrique y sont creusés. Les organismes créateurs de ces terriers seraient des annélides polychètes sédentaires mudicoles. Ceux-ci étant adultes auront été déterrés et emportés avec les astéries. Ils auront simplement creusé un nouveau terrier.

3°. Les occupants de ces terriers décèdent vraisemblablement pour raison d'exondation. Seuls demeurent quelques flaques restreintes où les astéries survivantes se sont réfugiées.

4°. Les terriers abandonnés sont comblés par des veues sédimentaires successives et séquentielles, alternativement fines et grossières et parfaitement rythmées. En chaque cas, on peut compter 7 à 11 phases identiques et successives. L'alternance de marées montantes et descendantes semble être la plus vraisemblable des interprétations. Soulignons le fait que ces terriers ne sont guère déformés.

5°. Les astéries décèdent, leur squelette s'altère progressivement : décoloration, corruption des tissus, isolation des éléments constitutifs et un début de désagrégation s'opèrent successivement.

6°. Une pellicule, phase ultime de décantation ou peut-être éolienne, argileuse, silteuse ou de sables fins recouvre les corps, les traces de reptation et les orifices des terriers. Les masses exondées s'indurent rapidement.

Ces sept à onze marées représenteraient à peine deux jours à trois jours. Ce laps de temps peut correspondre à celui qui permet en milieu subtropical peu profond l'échouage de ces astéries, leur décès avec crispation des membres (dessiccation ou décroissance de salinité) et leur décoloration (12 à 24 heures maximum), mais serait trop bref pour provoquer la décomposition totale et la dislocation de leurs squelettes qui nécessiteraient elles plus de 72 heures. Cet échouage pourrait être l'effet d'une seule tempête. Il fut suivi par une phase de décantation, une phase d'assèchement complet et un enfouissement définitif en un rien plus de trois jours.

Le processus de dégradation d'un squelette d'astérie est décrit en détail dans l'ouvrage de Schaefer (1972).

Il faut signaler que certains squelettes d'astéries totalement disloqués ont été retrouvés en amas difformes mais tous éléments groupés, et que d'autres ont vu leurs éléments largement dispersés. Les premiers pourraient résulter de prédation suivie de régurgitation, les autres d'une simple dispersion mécanique en zone plus agitée.

### 3.2.6. MOLLUSCA

#### Associations et implications écologiques

L'étude systématique des coquilles de mollusques observées sur les lithifications ou en extraites et leur rapport avec d'autres faunes miocènes font l'objet de la seconde partie

de ce travail (R. Marquet). Les planches 34 à 45 sont consacrées intégralement à l'illustration de cette faune. Seront seulement évoquées en ce paragraphe quelques indications taphonomiques et écologiques les concernant.

#### Découverte similaire antérieure et mode d'extraction

La réalisation du Ring d'Anvers a permis d'observer en 1970-1971 au sein des Sables de Kiel, à proximité de leur *locus typicus*, un horizon grésifié à faune malacologique assez diversifiée. Celui-ci fut échantillonné par A. W. Janssen, F. van Nieulande et F. Smet. La plus grande partie de ces échantillons aurait été remise au Naturalis Museum de Leiden (NL). F. Wesselingh, conservateur des invertébrés de cette Institution, m'a donné accès à cette collection. Si elle est assez diversifiée, l'état de conservation de la plupart des empreintes de mollusques est, à cause d'une décalcification très intense, encore plus déplorable que l'état du matériel récolté à Doel.

La présence d'empreintes ou de moules internes de mollusques, comme celle de tout autre organisme, étant le plus souvent indécélable, ce fut le débitage des lithifications au marteau qui allait révéler la présence de la plupart d'entre-elles. Le procédé manquant quelque peu de délicatesse, certains spécimens en ont évidemment souffert. Convenons toutefois, qu'une attaque chimique ou physique autre n'aurait guère eu plus de chance de les mieux préserver.

#### Remarques taphonomiques et écologiques

(voir les échantillons figurés Planches 14, 24, 34, 36 et 38 à 44)

Les coquilles de mollusques sont de loin les fossiles les plus abondants des lithifications. Plusieurs dizaines de coquilles de gastéropodes centimétriques, plus d'une centaine de coquilles de bivalves centimétriques, des centaines de coquilles de bivalves et de ptéropodes millimétriques ont été récoltées par nos collaborateurs.

Pour abondants qu'ils soient, ils sont relativement peu diversifiés. Un examen approfondi (R. Marquet) permettra toutefois d'établir une liste d'une quarantaine d'espèces (voir B.: The molluscan fauna of the Miocene at Doel).

Parmi celles-ci, quatre genres de gastéropodes dont un opisthobranche et un ptéropode (*Semicassis*, *Ficus*, *Scaphander* et *Vaginella*), trois genres de bivalves (*Ensis*, *Glycymeris* et *Spaniodontella*) constituent près de 99 % des populations observées. Toutes les autres présences sont peu fréquentes, rares ou exceptionnelles.

Les coquilles de mollusques se rencontrent en lumachelles denses désordonnées (coquilles pluricentimétriques), en lumachelles denses ou relativement lâches mais substratifiées (coquilles centimétriques), ou encore en épandages pelliculaires (ptéropodes et minuscules bivalves, éventuellement accompagnés de quelques minuscules restes végétaux).

Dans les lumachelles denses et désordonnées constituées de coquilles pluricentimétriques de bivalves, quelques coquilles de *Glycymeris*, *Arctica*, *Cyrtodaria*, ou *Glossus* sont restées valves en connexion, la plupart non. Les valves isolées sont plus ou moins imbriquées et généralement porteuses de traces d'abrasion, de corrosion et de perforations plus ou moins intenses. Dans la plupart des cas, les perforations sont dues à des spongiaires clionides dont la contemporanéité avec la formation de la lumachelle est plus que douteuse.

Ces lumachelles suggèrent un rejet soudain et relativement violent de populations plus ou moins denses de mollusques vivant à très faible profondeur et à proximité du littoral.

Dans le cas des lumachelles denses à relativement lâches de coquilles centimétriques, les coquilles plus massives et volumineuses, comme celles des bivalves *Cyrtodaria* ou *Glycymeris*, et des gastéropodes *Ficus*, *Semicassis*, occupent la partie inférieure de la lumachelle. Les coquilles les plus frêles et les plus légères, comme celles des bivalves *Abra* ou *Ensis*, et des gastéropodes *Scaphander* se trouvent concentrées dans la partie supérieure de la lumachelle.

Ces lumachelles suggèrent l'arrachement de populations de mollusques vivant en communauté à faible profondeur, en zone intertidale ou juste infratidale. Les composants de la faune vagile, généralement les plus volumineux, ont été surpris et chassés en premier. Les composants de la faune fouisseuse ont été extraits de leur terrier et emportés peu après. Ils terminent leur course dans le sédiment recouvrant les formes vagiles qui furent emportées en premier.

Dans le cas des épandages pelliculaires, il s'agit généralement de concentrations extraordinairement denses de coquilles d'une seule espèce accompagnées de quelques rarissimes autres présences.

Mentionnons parmi ceux-ci quelques cas remarquables: des concentrations de très petits *Ensis* juvéniles à valves généralement étales mais demeurées en connexion, des concentrations de minuscules *Spaniodontella* à valves plus fréquemment disjointes, et des concentrations de coquilles de ptéropodes (*Vaginella austriaca*) plus ou moins orientées et stratifiées.

Ces divers épandages font penser à des rejets à même l'estran d'organismes vivant sur le fond ou enfouis juste sous la surface de fonds sableux intertidaux accompagnés de rejets sur la plage d'organismes nectiques ou planctiques. La relative faible diversité suggère des eaux un rien plus fraîches que celles des Sables d'Edegem.

## Milieu de vie des principaux mollusques concernés, comparaison avec la faune actuelle atlantique USA - Europe

### 1. Faune des lithifications

Les représentants actuels des principaux taxa présents ont leur mode de vie particulier qui se résume comme suit.

*Ensis* : les animaux vivent enfouis dans le sable en position verticale dans les zones littorales et intertidales.

*Arctica (islandica)* : leurs coquilles se rencontrent en surface ou plus ou moins complètement enfouies sur fonds sablo-argileux de profondeur comprises entre 5 et 80 fathoms (ABBOTT 1954, p.382), soit 8 à plus de cent mètres.

*Glycymeris (pectinata)* : les coquilles se rencontrent en bancs plus ou moins denses sur des fonds sableux ou sablo-argileux. L'espèce est commune en eaux peu profondes (ABBOTT 1954, p.348).

*Ficus (communis)* : espèce commune sur la côte ouest de la Floride où elle est fréquemment rejetée sur la plage en grande quantité (ABBOTT 1954, p.200).

*Semicassis (Phalium) granulatum* : espèce vivant à des profondeurs de 3 à 8 mètres, occasionnellement même à profondeur du genou, et fréquemment rejetée sur la plage (ABBOTT 1954, p.193).

Parmi les espèces rares, un nouveau *Lyonsiidae* dont certaines espèces actuelles vivent en commensalisme avec et dans des spongiaires d'eaux peu profondes (*in* MOORE 1969, ABBOTT & DANCE 1998).

Toutes ces données confortent la supposition que la faune malacologique récoltée dans les lithifications provient d'un milieu intertidal à littoral subtidal.

### 2. Faune des sables argileux

Parmi cette faune, on retrouve les *Arctica* et *Glycymeris* et on ajoute de rarissimes *Hinnitis* (deux spécimens récoltés bivalves J.Herman et F. Van Dingenen).

*Hinnitis (giganteus)* : est une espèce subtidale à littorale (*Compendium of Seashells*, ABBOTT & DANCE 1998).

Ces éléments correspondent également avec l'image d'une faune de fonds intertidaux à sublittoraux.

#### 3.2.7. Absence des autres groupes d'invertébrés et tentative d'interprétation

*Absence de tout microfossile calcaire* (coccolithes, bolboformes, foraminifères, petits ostracodes...)

Leur abondance originale relative est impossible à préciser. Leurs frêles coquilles auront vraisemblablement toutes été dissoutes pendant la phase de décalcification qui a succédé au début de l'induration.

*Absence de certains Mollusca* (Scaphopoda, Cephalopoda)  
Les scaphopodes furent vraisemblablement absents des sites dévastés, autrement certaines de leurs coquilles auraient certainement résisté à la décalcification. Parmi les céphalopodes, quelques-uns (comme calmars, seiches ou sépioles) auraient éventuellement pu être surpris et rejetés. Mais plusieurs survivants auraient certainement retrouvés pleine eau en suivant le reflux. Les dépouilles des individus décédés suite à leurs lésions auraient pu être reprises par un autre reflux dès putréfaction suffisante pour les faire flotter.

*Absence de tout Crustacea (autre que Ostracoda ou Cirripedia)* (Isopoda, Stomatopoda, Decapoda)

Aucun Isopodes, aucun Stomatopodes, aucun Décapodes marcheurs ou nageurs, en semblable milieu il y a de quoi être surpris.

Si certains de ceux-ci se retrouvèrent emportés et rejetés à même l'éstran, les survivants suffisamment valides auront vraisemblablement pu rejoindre le milieu aquatique par leurs propres moyens. Les carcasses des défunts éventuels ont pu être reprises par le reflux dès que la corruption les auraient décollées du fond.

*Absence de tout Brachiopoda*

Ceux-ci ne devaient vraisemblablement pas faire partie de ce biotope qui aurait pourtant pu convenir à des lingules. Leurs coquilles n'auraient pu être dissoutes intégralement. Les lingules sont abondantes dans la plupart des dépôts miocènes belges ou néerlandais, là où le milieu leur convenait.

### 3.3. VERTEBRATA

#### 3.3.1. Mammalia - Odontoceta

**Crâne de *Squalodon* et crâne de *Schizodelphis* (Cétacés, Odontocètes)**

#### Localisation

Ces deux pièces proviennent d'une aire un rien plus septentrionale du chantier du Chantier II. Il a semblé justifié de leur attribuer une indexation particulière. Le lieu d'origine approximatif sera fixé au centre de cette aire soit en coordonnées Lambert :  $x : 143.100$  et  $y : 220.800$ . La cote estimée du gisement est -21m00 DNG. (14 E 284).

#### Découverte, nature et attribution

Doel, Deurganckdok, Chantier II, au début de l'année 2002, M. Eric Wille poursuivant la prospection d'un talus de déblais ayant déjà livré diverses concrétions miocènes gréseuses ou grés-carbonatées porteuses de lumachelles, de restes d'échinodermes (échinides et astéries) et occasionnellement de bois flottés, remarqua une masse osseuse pointant en sa partie supérieure. Cette masse osseuse était partiellement grésifiée et encore enrobée d'un mélange de

sédiments appartenant à la partie sommitale du Miocène et au Gravier de base des Sables du Kattendijk.

La pièce s'avéra être la partie arrière du crâne d'un cétacé odontocète. Le crâne particulièrement effilé avait été brisé net lors de son extraction par l'excavatrice. Sa partie antérieure n'a pu être retrouvée. Sa partie résiduelle, remarquablement préservée, a une longueur de près de 50cm, pour une largeur de 20cm. La base du crâne fait défaut, son détachement est bien antérieur à sa brisure récente. Le côté gauche du crâne montre un début de polissage par abrasion douce en milieu aquatique sur sa partie la plus proéminente, vraisemblablement demeurée émergente du sédiment après l'enfouissement incomplet de l'animal.

L'absence des mandibules dans cette masse partiellement grésifiée ainsi que l'absence des dents dans leurs alvéoles absolument intactes suggèrent que celles-ci se sont détachées du cadavre pendant sa dérive. Leurs absences ne peuvent être imputées à l'extraction mécanique récente. Une dent parfaitement conservée et ayant pu lui appartenir a été retrouvée dans les mêmes déblais, raison pour laquelle celle-ci est également figurée.

Par sa constitution et ses proportions, ce crâne semble attribuable au genre *Squalodon* GRATELOUP, 1840 représenté dans le Miocène belge par l'espèce *Squalodon antverpiensis* VAN BENEDEN PJ., 1861 et par une autre espèce non décrite *Squalodon* sp., mentionnée *Squalodon a* par ROTHAUSEN (1968).

M. Marc Bosselaers découvrit à la même époque et dans les mêmes sédiments, du même talus, une autre grésification d'une quinzaine de centimètres porteuse d'éléments osseux de la partie antérieure d'un crâne accompagnés du moulage endocranien de sa partie postérieure. Celle-ci se révéla appartenir à un tout petit cétacé odontocète delphiniforme d'abord supposé attribuable au genre *Eurhinodelphis* DU BUS, 1867 mais qui s'est avéré ultérieurement appartenir à un représentant du genre *Schizodelphis* GERVAIS, 1861 (communication O. Lambert, reprise ci-après *in extenso*).

L'état trop fragmentaire du crâne oblige à restreindre momentanément sa détermination au niveau générique. Il sera donc mentionné *Schizodelphis* sp.

La disparition des éléments osseux de l'arrière crâne peut résulter de leur ténuité naturelle et ou de l'âge juvénile de l'individu. Le temps du premier enfouissement fut toutefois suffisamment long pour permettre le remplissage sableux de la boîte crânienne et l'induration du moulage endocranien en résultant. La grésification a également eu le temps d'affecter la partie antérieure du crâne. Les pièces osseuses demeurées en place présentent des traces locales d'abrasion subaquatique, conséquences d'un enfouissement partiel et du remaniement ultérieur de la concrétion ébauchée.

### Provenance des pièces

L'enlèvement et le déversement des sédiments s'étant opérés de façon méthodique nord - sud, la localisation des trouvailles effectuées sur cette surface de déblais reste révélatrice de la position originale approximative des pièces récoltées. La date du terrassement et des déversements consécutifs étant connue, le lieu d'extraction peut être précisé. Les sédiments proviennent de la bande de terrain sur laquelle sont érigés les lots M18 à M27 (cf. report sur extrait de carte 1/5.000), soit une zone de 200 m NNW-SSE sur 25 m de large.

Le sédiment premier porteur de ces pièces remarquables est sans nul doute un sable très peu glauconifère. Le remplissage s'est vraisemblablement produit en eaux littorales et l'enrobage peut-être à même la plage. Son degré de décalcification restreint la tentative de précision de datation de ces restes. Si les grésifications qui les ont affectées sont contemporaines des autres lithifications du site, elles doivent appartenir elles aussi aux Sables de Kiel ou à l'extrême fin de la période de dépôt des Sables d'Edegem.

De toute évidence, ces pièces furent comme la plupart des lithifications remaniées au début du Pliocène et incluses dans la masse du Gravier de base des Sables du Kattendijk.

### Remarque de taxonomie historique

La désignation *Squalodon antwerpiensis* est celle la plus fréquemment utilisée, mais celle proposée par son inventeur P.-J. VAN BENEDEN (1861, p. 28) et utilisée dans ses travaux ultérieurs sur les Squalodontes (1865 et 1869) est *Squalodon antverpiensis*.

La raison vient du fait que l'académicien a voulu tenir compte de l'inexistence de la lettre *w* dans la langue latine.

### Descriptif Olivier Lambert (IRSNB-Paléontologie)

#### Family Squalodontidae Brandt, 1863

#### Genus *Squalodon* Grateloup, 1840

#### Species indet.

(Planche 33)

This nicely preserved skull only lacks the anterior part of the rostrum, the teeth and the basicranium. The double-rooted posterior teeth (indicated by the morphology of the alveoli), the general shape of the low vertex and the elongated premaxillary sac fossae all point to a member of the widely distributed Late Oligocene to Late Miocene archaic family Squalodontidae (shark-toothed dolphins).

*The two species of Squalodon known from the Miocene of the Antwerp area (Squalodon a and S. antwerpiensis Van*

*Beneden, 1861) are based on anterior fragments of the rostrum and mandible bearing teeth (Rothausen, 1968), and consequently mainly defined by dental characters. This new specimen could therefore only be compared to other species of Squalodon from the North Atlantic realm. Pending a more detailed revision of the Squalodontidae from the Miocene of the North Sea, the size of the skull is more similar to S. bellunensis Dal Piaz, 1900, from the early Miocene of northeast Italy. However, the bony nares and the mesorostral groove are more widely open here.*

### Family Eurhinodelphidae Abel, 1901

#### Genus *Schizodelphis* Gervais, 1861

#### *Schizodelphis morckhoviensis* (du Bus, 1872)

(Planche 32, figure 3)

*This specimen is mainly constituted of the endocranial cast of a small odontocete, retaining some fragments of the basicranium and the rostrum base. The morphology of the basicranial air sinuses, specially the anterior portion of the pterygoid sinus and the fossa for the preorbital lobe of the pterygoid sinus, suggests Eurhinodelphinidae (long-snouted dolphins) affinities. Among the late Early to Late Miocene members of this family described from the Antwerp area, Schizodelphis and Xiphiacetus show a similar air sinus system (Lambert, 2004, 2005). The dimensions of the specimen (width of the choanas, width of the cerebral cavity, length of the basicranium) closely fit the smaller S. morckhoviensis (du Bus, 1872), likely indicating a member of this late Early to Middle Miocene species.*

3.3.2. Absence totale d'autres groupes : Elasmobranches, Téléostéens, Chéloniens, Aviens

### Absence de tout Pisces

Hormis la présence de quelques rarissimes écailles et ossements isolés de Téléostéens, aucun reste significatif de Chondrichthyens ou d'Osteichthyens n'a été observé. Il faut supposer que le milieu fut trop peu profond et trop peu riche en nourriture pour que les Chondrichthyens y firent autre chose que d'exceptionnelles incursions demeurées sans témoins. Mais les téléostéens pouvaient y être, et même auraient du s'y trouver, en abondance. La puissance du rejet a-t-elle été si modérée qu'elle n'eût point prise sur ces animaux ou que ceux-ci purent rejoindre sans problème le milieu marin ? En ce cas, les quelques rares carcasses éventuelles ont également pu être reprises par le reflux dès que leur degré de putréfaction fut suffisant.

### Absence d'autres types de Vertébrés

L'absence de vertébrés terrestres et aériens peut aisément se comprendre ou s'admettre, mais celle de représentants marins comme quelques chéloniens est plus surprenante.

Ces derniers s'ils ont été surpris par une tempête modérée semblent en toute logique avoir pu en réchapper.

## Conclusion

Ces quelques réflexions font penser que aussi soudain et néfaste pour les astéries et les mollusques l'événement fut, sa puissance dynamique fut relativement faible. Il emporta par surprise les mollusques vagiles, désensabla et emporta les mollusques fouisseurs et quelques échinides et réussit à entraîner quelques astéries assez pataudes. Il ne semble pas avoir eu prise sur des organismes plus puissants et plus mobiles. Les rares restes de cétacés y associés seraient en ce cas des résidus de carcasses à la dérive peut-être repris d'un dépôt un rien antérieur.

## 3.4. Végétaux

3.4.1. Restes de végétaux observés, traces ou fragments de racines et bois flottés, et indication de milieu (Planches 3 à 7, 11 à 13, 46 et 47)

### Matériel rencontré

Les restes végétaux contenus dans les lithifications ne représentent qu'un infime pourcentage de la biomasse fossile qu'elles contiennent. Les restes de végétaux observés se présentaient sous les formes suivantes :

1. Epandages pelliculaires de menus débris ou paillettes de bois millimétriques, accompagnant quelquefois des concentrations de très frêles coquilles de pélecypodes demeurées bivalves ou valves isolées (coquilles de *Spaniodontella* ou coquilles d'*Ensis* juvéniles).

Ces restes si ténus ont pu être mis et remis plusieurs fois en suspension à chaque agitation des eaux et dispersés ou regroupés au hasard. Ils nous signalent simplement la persistance d'une charge de matières organiques d'origine végétale dans les sédiments constitutifs des lithifications.

2. Quelques petits fragments de bois subcentimétriques isolés parmi les concentrations de coquilles. Leurs structures semblent très fortement altérées. Une détermination même au niveau de la famille serait hasardeuse.

Ils peuvent s'être détachés de plus grands fragments comme ceux évoqués ci-après, ou provenir d'autres bois très dégradés mais non encore réduits en fragments de fibres végétales. Plusieurs d'entre eux semblent avoir subi un début d'attaque fongique.

3. Quelques rarissimes morceaux de bois, échantillons cylindriques subrectilignes de 15 à 20 mm de diamètre et de 6 à 28 cm de longueur, relativement bien préservés. Leur structure massive et pleine, perforée ou non par des xylophages, suggère des fragments de branches ou de troncs plutôt que des fragments de racines.

Le plus grand s'est avéré à l'observation directe être un fragment de bois de conifère (Pinaceae) du groupe des mélèzes, qui après examen microscopique s'avérera de fait attribuable au genre *Larix* (voir planche 13: figs.

1a-b, planche 46 et planche 47), deux autres des bois de dicotylédones qui après examen microscopique s'avéreront être des restes de bois de palétuviers de la famille des Rhizophoraceae (voir planches 11 et 12).

Les descriptifs et déterminations de H. Doutrelepont (MRAC – Tervuren) ont pu être repris *in extenso* et développés dans la troisième partie de ce travail intitulée : *Quelques bois fossiles du Miocène de Doel*.

4. Un fragment cylindrique plus volumineux, massif et infradécimétrique, d'un bois flotté complètement taraudé avec vestiges pelliculaires de son écorce. Cette dernière appartiendrait à un conifère indéterminé (voir planche 13, fig. 2a).

L'échantillon est une petite lithification en soi. Le sable fin grésifié blanchâtre à peine glauconifère qui constitue la gangue de cet échantillon le rapproche des deux blocs ayant contenu le crâne d'un petit dauphin de type *Schizodelphis* et le crâne d'un archéocète de type *Squalodon*.

La densité et le diamètre de 6 à 11 mm des tubes de taretts (Planche 13, fig. 2b) constituant la masse de l'échantillon suggèrent une pièce de bois ayant subi une attaque de très longue durée. Cette attaque a pu se produire sur une pièce de bois échouée ou sur une pièce de bois à la dérive.

5. Des fantômes de racines mères et adventives observés en sections verticales et horizontales (voir planches 3, 4, 5 et 6), dont un préservé par induration artificielle (injection d'une solution acétone-velpon) *in situ* (voir planche 7).

Les profils successifs réalisés à la verticale dans les affleurements si restreints que fussent montraient en permanence les mêmes traces claires subverticales tubulaires et légèrement sinueuses sur le fond vert noirâtre de la masse sableuse argileuse très glauconifère. Le remplissage axial était un sable fin blanchâtre très facilement glauconifère. Les parois de ces structures étaient constituées d'une frêle croûte brunâtre très légèrement indurée constituée d'un amalgame de sable fin, de matières organiques carbonées et d'oxydes de fer. Certaines présentaient des structures imbriquées évoquant des phases de croissances.

Ces traces plus ou moins régulièrement espacées pouvaient dépasser 1.20 m d'extension verticale. Leur sinuosité faisait recouper plusieurs fois la même sur un seul profil.

Les sections horizontales réalisées montraient invariablement des traces circulaires concentriques de diamètre variant entre 2 et 3 cm, assez régulièrement dispersées. S'observaient çà et là des sections de 5 à 10 cm à paroi plus épaisse.

Ces traces ne pouvaient être attribuées à des terriers d'organismes marins, mais présentaient toutes les analogies avec celles de racines de végétaux terrestres. L'analogie la plus évidente était celle de puissantes racines mères entourées d'une pléiade de racines adventives.

En milieu marin littoral tropical à subtropical sur fond argileux, l'image d'un paysage de mangroves s'imposait.

6. Deux concrétions de *type pain de pierre* retrouvées tardivement porteuses de fragments de bois taraudés (galeries à remplissage sableux très glauconifère) et silicifiés décimétriques. Leur examen est encore en cours.

### Conclusion

L'examen anatomique des quelques restes de bois flottés allait confirmer la présence d'une frange de palétuviers (Rhizophoraceae) relayée à l'arrière plan par une population de conifères (Pinaceae). Le développement d'une aire mangroviennne exige trois conditions : un climat tropical à subtropical, une zone intertidale et un substrat argileux. La ride érosive émergée d'Argile de Boom locale a satisfait la troisième exigence.

Parmi les espèces actuelles de conifères du genre *Larix*, certaines poussent sur sols marécageux (p.ex. : *Larix laricina* en Amérique du nord) en régions subtropicales.

### 3.4.2. Remarques concernant les restes de végétaux, leur rareté, l'absence de feuille et de tout carpolithe

L'extrême rareté des restes végétaux indique clairement que les diverses masses sédimentaires constitutives des lithifications étaient quasi exclusivement d'origine marine. Un corps flotté presque intégralement remplacé par des tubes de tarets, deux morceaux de bois sains d'un conifère et d'un palétuvier et un autre morceau taraudé sont peu de choses.

L'absence de toute feuille et de tout carpolithe renforce cette proposition. Si des empreintes de traces de reptation d'astéries et des empreintes de branchies d'annélides ont pu être préservées, les fruits nuciformes et quelques éléments du puissant feuillage des palétuviers tout comme des fructifications de conifères auraient pu être présents. S'il y en eut, et il y a du s'en trouver, ceux-ci n'ont pas rejoint ce dépôt.

Ils ont pu être emportés en toute autre direction, ou avoir été totalement putréfiés et désagrégés bien auparavant.

La découverte de mycélium dans les trois grands échantillons de bois flottés implique une phase de putréfaction continentale immédiatement postérieure à la mort de la mangrove et de son arrière plan végétal. Le faible développement de ces traces mycéliennes suggère que le processus de déshydratation des restes végétaux en cours de putréfaction a dû être très rapide. Le dessèchement désertique tropical provoquant la dessiccation de ces tissus extrêmement poreux sera intervenu en peu de temps.

Le bois d'un arbre peut être attaqué de son vivant par des champignons. Une prolifération excessive du mycélium entraîne la mort du végétal. Dans le cas d'une attaque

*post mortem* du végétal, le mycélium ne pourra se développer qu'aussi longtemps que le taux d'humidité reste suffisamment élevé. La concentration de mycélium dans un bois fossile peut donc être révélateur du moment et de la durée de l'attaque.

Troncs, branches et feuilles se seront désagrégés. Seules des particules fines auront été emportées en quantités à peine significatives par érosion éolienne ou dulcicole dans la zone de formation des lithifications.

### Conclusion

Sur une ride érosive marquant le sommet exondé et altéré de l'Argile de Boom en cet endroit un faciès mangrovienn a réussi à se développer. Il comprenait à l'avant plan un rideau de palétuviers (Rhizophoraceae) et l'arrière plan une végétation comprenant des conifères (Pinaceae), du groupe des mélèzes.

Cette mangrove a été anéantie par un retrait relativement soudain des eaux. Un ensablement ultérieur a comblé les anciens chenaux de marée. Ses constituants végétaux ont pourris, mais se sont desséchés très rapidement comme semble l'indiquer la faible prolifération de mycélium.

Leurs éléments dégradés gisant au dessus de la surface du sol ont été emportés et dispersés. Les racines également dégradées ont toutefois laissé leurs empreintes en creux dans un sédiment relativement dense et compact qu'un comblement sableux fin continental est venu emplir.

## 4. Taphonomie<sup>5</sup>

### Conservation, dispersion ou concentration des restes préservés dans les lithifications

Hormis les mollusques présents en abondance et de très nombreux ichnofossiles, seuls un spongiaire, deux ostracodes, un cirripède, trois colonies de bryozoaires, une dizaine d'échinides, quelques dizaines de stellérides, deux crânes de cétacés et quatre fragments de végétaux identifiables ont été découverts. Peu d'éléments pour une enquête, mais néanmoins tous sont indicateurs ou révélateurs du milieu et des incidents survenus.

Tous les taxa cités ont été examinés distinctement, leur qualité de préservation a été précisée. Une tentative d'explication des principales absences a été proposée.

La déformation de ces fossiles est virtuellement nulle. Aucun effet de compaction, de compression ou de torsion n'a été observé, ce qui suggère une induration relativement rapide de la masse sableuse et argileuse carbonatée les contenant. Cette suggestion implique une phase d'émersion peu après le rejet en laisses côtières. Que révèlent les divers groupes fossiles présents ? En voici un résumé succinct.

<sup>5</sup> par J. Herman

Le **spongiaire** a été arraché à son support d'origine inconnue car non inclus dans la lithification porteuse. Bien qu'organisme fragile, il est demeuré entier et non déformé. Ceci implique un abandon rapide et un temps trop court pour arriver à sa désagrégation.

Les trois **bryozoaires** sont des représentants d'espèces à colonies libres. Elles ont pu être emportées par le moindre courant. Elles étaient peu abondantes en ce secteur.

Les **mollusques** constituent un ensemble assez homogène. Gastéropodes vagiles et petits bivalves fouisseurs ont été surpris, emportés ou désensablés et rejetés en ordre inverse, fouisseurs au dessus des épibiontes. Leurs concentrations correspondent à des concentrations de zones intertidales à infratidales. Décalcification et recristallisation ont plus ou moins altéré la préservation des coquilles.

Les ptéropodes de type *Vaginella* auront été surpris et emportés collectivement. Très légères leurs coquilles furent rejetées au plus loin en petites laisses d'estran.

Les **annélides** sont très diversifiés, mais les témoins ichnologiques de leur présence et intense activité doivent être interprétés avec prudence. Dans tous les cas, il s'agit d'annélides polychètes sédentaires. Deux groupes ont été distingués sur base de leurs traces et type d'activités.

Un groupe a immédiatement recolonisé le milieu vaseux où survivaient et agonisaient quelques astéries, y a creusé ses terriers et est mort avec les astéries après trois à quatre jours suite à l'assèchement complet. L'autre groupe ne s'est manifesté qu'après induration, fragmentation et érosion sous-aquatique des lithifications à nouveau immergées complètement ou à tout le moins partiellement. Tous étaient des organismes d'eaux salées de très faible profondeur.

Les **échinides** comprennent des individus dont le test est demeuré à peu près intact et d'autres dont le test a été fracassé. Tous sont des échinides irréguliers spatangiformes, mais un groupe est sablicole fouisseur, l'autre biodétritique superficiel, et occasionnellement partiellement fouisseur.

Les **astérides** forment un ensemble unique. Une seule espèce est présente. Tous les individus ont des dimensions très proches, la plupart sont restés groupés. Leur qualité de préservation variable nous indique qu'après agonie attestée par des traces d'ultimes reptations vers les derniers points inondés, ils furent ensevelis moins de 80 heures après leur rejet en laisses peu profondes.

Les **vertébrés** ne sont représentés que par deux crânes qui semblent provenir de carcasses antérieurement à la dérive.

Les **végétaux** ont permis de démontrer l'existence de rhizophoracées (palétuviers) et de conifères (mélèzes) qui

vécurent bien avant la constitution de l'horizon lithifié. Ces restes sont des bois morts, décomposés et désagrégés en milieu continental, flottés un cours laps de temps et inclus dans la masse des lithifications.

Hormis les restes de végétaux, tous les fossiles des lithifications semblent avoir été surpris par un événement dynamique de puissance modérée, emportés et abandonnés ou déposés plus ou moins avant, en petites laisses d'estran, en fonction de leur masse propre. Ils proviennent tous de niches écologiques très peu profondes.

#### **Volume des lithifications examinées, partie fossilifère de ce volume**

Estimons le volume global de la totalité des quelques 240 à 250 lithifications examinées. Les plus petites représentant à peine une centaine de  $\text{cm}^3$ , la plupart étant comprises entre deux et trois  $\text{dm}^3$  et les plus importantes dépassant à peine 25  $\text{dm}^3$ , le volume total des quelques 240 à 250 lithifications examinées ne dépasse guère 500  $\text{dm}^3$  ou 500 litres.

La partie contenant méso- et macrofossiles de l'ensemble de ces lithifications représente moins d'un tiers du volume total, soit à peine quelques 150  $\text{dm}^3$ .

#### **Distinction des contenus fossilifères**

Il faut toutefois distinguer au sein de cette masse la concentration des astéries, les présences d'échinides, et les lumachelles de mollusques, qui semblent provenir d'aires très proches mais néanmoins distinctes, sableuses ou vaseuses, alguées ou désertes.

L'existence d'aires biotiques distinctes, vaseuses à astéries mudicoles, sableuses et organodétritiques à échinides irréguliers, sableuses à échinides irréguliers fouisseurs et bivalves fouisseurs (*Ensis*), d'aires sableuses à prairies algaires(?) avec grands gastéropodes (*Ficus*, *Semicassis*, *Scaphander*), permet d'expliquer la diversité des associations fossilifères rencontrées. Celles-ci représentant autant d'associations biologiques dont les composants sont restés relativement groupés après leur enlèvement soudain.

#### **Surface de dispersion des lithifications**

L'ensemble des lithifications examinées provient d'une surface qui s'étirait sur 250m nord - sud et sur les 20m de largeur du fond du chantier, soit quelques 5.000  $\text{m}^2$ .

La surface que représente l'ensemble de ces lithifications (1  $\text{dm}^2$  à 55  $\text{dm}^2$  chacune, soit en moyenne une vingtaine de  $\text{dm}^2$ ) totaliserait moins d'une centaine de  $\text{m}^2$ , soit un cinquantième de la surface de dispersion.

Il est vraisemblable qu'il y eut plusieurs aires de lithifications qui ne formaient pas une masse continue. La diversité de leurs formes et constitutions, dalles ou pains de pierre, stratifiées ou perturbées par des mouvements oscillatoires, milite en faveur de cette supposition.

Il reste impossible de préciser leur concentration originale, mais celle-ci devait être relativement élevée, en particulier pour celles du type *dalle* dont plusieurs ne formaient

qu'une seule entité avant fragmentation et dislocation. L'étendue des aires non affectées par la lithification est tout aussi impossible à estimer. Il est toutefois raisonnable de supposer que les aires affectées par la lithification avaient des dimensions métriques à décamétriques correspondant aux dimensions des laisses de tempête en lesquelles elles se formèrent.

#### **Surface de l'aire de provenance des fossiles y concentrés**

La concentration des coquilles de mollusques est virtuellement celle des fonds sableux intertidaux ou infratidaux normaux. L'aire affectée et dont les occupants sont regroupés dans ces lithifications a donc du être très restreinte, tout au plus une bande littorale d'une centaine de mètres de largeur sur dix à vingt mètres d'impact, fonction de la pente du littoral sableux. Les astéries peuvent provenir d'une seule petite surface argileuse infralittorale.

#### **Dispersion des organismes, violence du dépôt et origine de l'incident**

La dispersion semble très relative. Les astéries sont restées groupées et ne représenteraient qu'une petite population dont tous les individus ont sensiblement les mêmes dimensions et donc vraisemblablement le même âge. Il pourrait s'agir d'une seule génération apparemment mature. Les quelques échinides présentent une dispersion normale pour des spatangues. Les mollusques ont pour seule originalité de se retrouver en strates écologiques inversées. Les coquilles des fouisseurs se retrouvent au-dessus des coquilles des individus vagiles.

La violence du dépôt semble très modérée. Il y a très peu de coquilles brisées. Plusieurs tests d'échinides sont virtuellement intacts. Les grands fragments sont généralement porteurs de traces d'altérations antérieures à l'incident.

La mort de la mangrove aura nécessité un certain temps mais l'incident principal semble avoir été unique et soudain. Il pourrait s'agir d'une simple tempête, plus fréquente en période de mousson sous semblable climat.

## **5. Age, milieu et synthèse des événements<sup>6</sup>**

### **5.1. L'âge du sol à mangroves et des lithifications**

Passée la surprise de l'originalité de la découverte, se posa immédiatement la question de l'âge de cette mangrove et l'âge des fossiles contenus dans les lithifications apparemment plus ou moins associées à celle-ci. Ces dépôts se situent sous le gravier de base du Néogène et recouvrent l'Argile de Boom. Un âge miocène était évident mais quelle était l'unité lithostratigraphique impliquée: la Formation de Berchem ou la Formation de Diest. S'agissait-il des Sables d'Edegem, des Sables de Kiel, des Sables d'Anvers ou des Sables de Deurne ?

Ces dépôts, entrevus sur à peine 30 à 150 cm de section, auraient pu appartenir aux Sables d'Anvers de la Formation de Berchem dont la présence en cette région a été reconnue et signalée en plusieurs forages exécutés sur le site du chantier du Deurganckdok (cf. Archives du Service Géologique de Belgique), ce fut donc la première hypothèse retenue.

Mais les bois de palétuviers, les astéries et les échinides découverts étaient inconnus des dépôts classiques des Sables d'Anvers pourtant proches et depuis près de deux siècles si intensément prospectés. En outre, la faune malacologique présentait un caractère plus archaïque que celle des Sables d'Anvers. Enfin, les dépôts marins classiques des Sables d'Anvers en cette région de Doel sont des dépôts d'eaux peu profondes certes, mais jamais intertidaux. Tous ces arguments suggéraient un âge plus ancien et une phase sédimentaire à caractère plus émerusif.

Il a semblé un moment possible qu'ils puissent représenter un faciès latéral des Sables de Deurne (Formation de Diest) qui, avec leurs accumulations locales de restes de petits bryozoaires et faune associée d'eaux peu profondes, tous plus ou moins brisés par l'action des vagues, suggèrent une tendance émerusive plus ou moins prononcée.

Mais hormis la présence, dans les sables recouvrant localement ces faciès inconnus, d'une population d'une grande térébratule particulière connue à ce jour uniquement des Sables de Deurne, à Deurne même (cf. BOSSELAERS et al, 2004), il n'y avait aucun autre argument pour étayer cette hypothèse que la faune malacologique réfutait plus encore que la précédente.

Ces térébratules comme les quelques huîtres massives les accompagnant pouvaient être bien plus récentes et appartenir aux Sables d'Anvers ou aux Sables de Deurne, mais ne nous apportaient aucune précision.

La faune malacologique et les dinoflagellés des sables sous-jacents appartenaient aux Sables d'Edegem. L'ensemble de la faune malacologique des lithifications suggérant un âge plus ancien que celui des Sables de Deurne, il a fallu supposer qu'elle appartenait à une période antérieure associée à une autre phase émerusive. Antérieure au dépôt des Sables d'Anvers, elle devait vraisemblablement être contemporaine du dépôt des Sables de Kiel. La présence et l'abondance des coquilles du ptéropode *Vaginella austriaca* rejetées à la côte mais non remaniées sont venues renforcer la validité de cette troisième hypothèse.

La détermination de ce ptéropode est due à A. W. Janssen (communication personnelle) qui nous a en outre certifié leur disparition dès le début du dépôt des Sables d'Anvers.

<sup>6</sup> par J. Herman

Enfin, un échantillon prélevé au cours d'une excursion dans la couche sableuse sous l'horizon induré et examiné par S. Louwye (RUG-Gent) a révélé (communication personnelle) une association de dinoflagellés qui confirme l'attribution de ce niveau aux Sables d'Edegem.

Les Sables d'Edegem ont déjà été observés surmontant l'Argile de Boom en divers endroits de la rive gauche, ou droite de l'Escaut. Citons pour mémoire Burcht-Kruikeke (Argilière Argex), Hemixem (Argilière abandonnée), et l'entrée sud du Kennedytunnel à Anvers. En ce dernier lieu ces sables enrobent de nombreux septaria remaniés et perforés dont les perforations contenaient les coquilles des occupants bivalves successifs. Les coquilles des véritables lithophages (*Martesia*) sont restées protégées dans leurs cavités. Les lithophages décédés, divers occupants bivalves incapables de creuser un septaria ont profité successivement des cavités existantes. Les premiers successeurs furent des *Coralliophaga*, les suivants des *Saxicava* et ou des *Montacuta*. Tous furent obligés de restreindre et d'adapter dimensions et formes de leurs coquilles aux volumes résiduels de plus en plus restreints.

D. Spiegler (U. Kiel) a recherché en vain la présence éventuelle de Bolboformes, mais l'intensité de la décalcification avait fait disparaître toute trace de ces délicats et minuscules organismes calcaires. Le même phénomène allait rendre tout aussi vaines les tentatives de recherche de tout nannoplancton calcaire de E. Steurbaut (KBIN - Brussel) ou la recherche de foraminifères de T. Moorkens (Antwerpen). Seuls quelques rarissimes valves d'ostracodes de grande taille et recristallisés avaient été préservés et purent être déterminés par K. Wouters (KBIN - Brussel), mais vu leur distribution temporelle relativement étendue, ils n'apportèrent pas de précision quant à la position de cet horizon au sein du Miocène belge.

### 5.2. L'environnement et son évolution

La présence de mangroves implique un milieu intertidal tropical avec des fonds argileux. Si l'apport sédimentaire s'accroît de façon soudaine et significative, celle-ci s'ensable et meurt. Ceci est en règle quasi générale la conséquence d'une élévation globale (cause climatique) ou relative (cause tectonique) du niveau de la mer et ou d'une phase de réchauffement. A l'inverse, elle peut tout aussi bien disparaître par déshydratation à la suite d'une descente du niveau marin.

Les fonds argileux étaient présents et constitués par les strates de la partie la plus supérieure de l'Argile de Boom immédiatement sous-jacente. Dans le secteur considéré une structure géologique considérée comme ancienne ride d'érosion du sommet de l'Argile de Boom a pu servir de support de cordon littoral et permettre la formation d'un îlot mangrovién. Le sommet de cette ride se situait à moins de deux mètres sous les points d'observation des

sols à fantômes de racines de palétuviers et de l'horizon à lithifications concerné. Ce sommet fortement altéré a pu être observé à l'affleurement quelques centaines de mètres plus au sud.

Des aires sableuses résultant d'apports sédimentaires nouveaux, ou sableuses et argileuses résultant du mélange de sédiments oligocènes et miocènes, se sont formées et étendues progressivement sur la partie sommitale altérée de l'Argile de Boom.

Les concentrations normales de grands bivalves fouisseurs (*Arctica*) et les bancs plus ou moins dispersés de bivalves plus sédentaires (*Glycymeris*) démontrent l'existence de ces petites aires sableuses et argileuses préservées intactes juste au dessous des traces vestigiales des racines mères et adventives des palétuviers. Si ces aires sont attribuables aux Sables d'Edegem, la mangrove a pu s'installer dès le début de leur dépôt et y persister jusqu'à perturbation du milieu.

D'autres petites aires sableuses ont pu être occupées à la fois par des échinides fouisseurs et par des échinides de surface ; les premiers préférant les zones sableuses de grain fin à moyen, et les derniers préférant des fonds à sables plus grossiers accompagnés de débris coquilliers et autres bioclastes.

Les aires sableuses hébergèrent en outre diverses populations de mollusques fouisseurs ou vagiles.

L'examen de plus de deux cent lithifications contenant mollusques, terriers à remplissage séquentiel, échinides, astéries suggéra une explication globale impliquant le démantèlement brutal de quelques niches écologiques peu profondes dont les occupants furent chassés, voire désensablés, et rejetés en zone littorale.

Des bancs de petits mollusques pélagiques comme les ptéropodes, des menus débris végétaux, des bois flottés et taraudés, quelques portions de carcasses de cétacés en fin de dérive furent rejetés parmi les précédents en lisses peu profondes voire à même l'éstran.

### 5.3. La mort de la mangrove, est-elle due à une émerision l'ayant exondée et asséchée ou à une immersion l'ayant noyée ?

#### Hypothèse de l'émerision :

La mangrove a pu apparaître et se développer dès que le relief continental constitué par le sommet altéré de l'Argile de Boom présentant faibles dépressions et faibles reliefs fut à nouveau immergé, c'est-à-dire pendant la période de sédimentation des Sables d'Edegem Une immersion immédiate et complète aurait interdit son développement.

Une immersion complète mais progressive aurait stoppé son développement et l'aurait anéantie dès cette époque.

Si elle a survécu pendant cette époque, une émergence soudaine à l'époque des Sables de Kiel, l'aurait asséchée et anéantie. Feuilles, branches et troncs se seraient déshydratés et désagrégés. Leurs restes auront été dispersés par les vents et ou un réseau aquifère superficiel même faible ou intermittent. Seuls les fantômes de leurs racines auraient subsisté dans le sol devenu en permanence continental.

#### **Hypothèse de l'immersion :**

La mangrove a pu se développer çà et là pendant toute la période de sédimentation des Sables d'Edegem, persistait vraisemblablement encore à la fin de cette période, et peut être même après cette période et donc au moins pendant le début du dépôt des Sables de Kiel.

Une immersion soudaine ou simplement progressive et soutenue l'aurait noyée. Feuilles, branches et troncs se seraient trouvés suffisamment immergés pour périr, pourrir et se désagréger. Leurs restes auront dans ce cas été dispersés par les courants marins. Seuls leurs racines auraient pu se fossiliser dans le sédiment marin protecteur les englobant et les recouvrant.

#### **Indications fournies par les traces ou fantômes des racines et leur remplissage**

Le remplissage sédimentaire des traces ou fantômes des corps supposés avoir été des racines de palétuviers est un sable blanc relativement fin et pur. Des grains de glauconie s'y observent mais en pourcentage infime. Ce sable suggère une phase de remplissage de cavités dont les parois faiblement indurées et brunies par oxydation étaient encore porteuses de particules organiques carbonées.

Un sable d'une pureté de ce type, même si partiellement contaminé par des grains de glauconie remaniés, évoque un lessivage premier peut-être complété par un apport continental ultérieur pouvant être principalement éolien.

Cette constatation renforce l'hypothèse de la mort par émergence et déshydratation. Enfin, une attaque fongique a débuté, mais semble avoir été peu prononcée à cause du processus de déshydratation en cours. La mort de la mangrove correspondrait au début du dépôt des Sables de Kiel.

En ce cas la formation du dépôt de type tempestite qui a généré les lumachelles serait, ne serait-ce que de peu, postérieur à la disparition de la mangrove, et s'inscrirait lui aussi pendant le dépôt des Sables de Kiel.

L'horizon des lithifications ne semble pas avoir été percé par des racines de palétuviers. Son sédiment aurait pu tout au plus enchâsser quelques fantômes légèrement indurés et abrasés.

La rareté des restes de végétaux dans la masse des lithifications y trouverait explication. Ces quelques vestiges

représenteraient de rarissimes reprises de restes macroscopiques et microscopiques contenus dans les sédiments emportés. Quelques apports éoliens de menus fragments végétaux les ont peut-être accompagnés.

#### **5.4. Proposition de succession des événements miocènes à pliocènes, survenus en la région de Doel - Deurganckdok**

##### **Paysage premier**

Le contexte géologique régional nous propose une aire continentale tropicale à subtropicale, subdésertique, à sol argileux riche en dégradés de sulfures de fer et peu propice au développement d'un couvert végétal, à pente très faible et, à l'exception de quelques anciennes rides érosives relativement basses, dépourvue de toute forme de relief significative.

Le sol argileux constitué par l'Argile de Boom et son altération superficielle continentale ou sous-aquatique ont pu être observés en divers points du chantier.

##### **Avancée des eaux marines**

La reconquête progressive par les eaux marines miocènes de cette côte basse, argileuse et à faible modelé favorisa en zone intertidale le développement de mangroves éventuellement relayées ultérieurement à l'arrière plan par des aires à conifères capables de résister aux extrêmes des conditions climatiques subdésertiques locales. Dans les zones intertidales et subtidales se développent des aires tantôt plus sableuses, tantôt plus argileuses qui favoriseront selon le cas l'épanouissement de diverses populations d'invertébrés marins : spongiaires, astéries et polychètes mudicoles, oursins et mollusques fouisseurs, oursins et mollusques vagiles ...

Cette avancée marine, due à un réchauffement climatique ou à un incident tectonique local, a débuté avec l'initiation de la sédimentation des Sables d'Edegem auxquels certaines strates appartiennent indubitablement, en particulier celles à *Arctica*, *Glycymeris* et *Hinnitis*. Les associations biologiques évoquées ont pu persister pendant toute la période de sédimentation des Sables d'Edegem ainsi que localement, là où encore sous eaux, pendant le début de la période de sédimentation des Sables de Kiel.

##### **Phase de retrait des eaux marines**

Les Sables de Kiel appartenant à une phase émergitive peut-être due à une phase de léger refroidissement global ont assisté au déclin de la mangrove, à son assèchement, à la dégradation de ses composants végétaux et à leur dispersion.

##### **Formation d'une tempestite**

Ce serait pendant cette période que se serait produit un coup de tempête, de mousson ou autre, de puissance modérée mais suffisante pour jeter à la côte diverses populations animales vivant en eaux très peu profondes.

Leurs restes plus ou moins concentrés en diverses lasses d'estran s'y sont fossilisés. Trois ou quatre jours durant des polychètes tubicoles ont pu subsister, les astéries sont mortes et leur squelette a commencé à se corrompre et à se disloquer. La teneur en carbonate de la masse argileuse volumétriquement significative englobant tous ces fossiles a favorisé une induration ou cimentation rapide dès émergence. Un horizon à lithifications discontinues s'est ainsi formé. Les concrétions demeurées en zone d'influence des marées ont subi un léger effet de roulis engendrant un semblant de boudinage leur conférant une forme de *pains de pierre* et furent moins fortement indurées que celles plus proches du littoral, mieux compactées, et présentant une forme de *dalle*. Celles faisant partie de l'estran ou déjà en arrière de celui-ci subirent une oxydation et une rubéfaction intense, accompagnée peut-être d'une attaque saline.

### Fragmentation des lithifications

Le temps de cimentation semble avoir été trop bref pour provoquer une induration totale des masses. Celles-ci se sont fragmentées aux premiers affouillements. Les nouveaux courants de marée ont érodé et lissé leurs contours. Des surplombs se sont formés offrant de nouvelles niches écologiques favorables à l'établissement de colonies de divers annélides polychètes sédentaires. Les lithifications ont vraisemblablement subi pendant ce laps de temps un faible déplacement horizontal. Le temps de croissance des colonies d'annélides évoquées et observées peut avoir été très court. Semblables buissonnements peuvent se développer dans l'année.

Divers blocs illustrent à la perfection (voir Pl. 18, 26, 35 et 39) la puissance de l'érosion latérale, due aux mouvements de flux et de reflux des marées successives en une passe étroite ou un goulot entre îlots mangroviens. Chaque mouvement étant freiné par la présence de la croûte d'épandage de la tempestite en phase d'induration, accentuait érosion et affouillement latéraux. L'induration insuffisante de la croûte allait provoquer sa fracturation dès que l'affouillement aura dépassé les limites de sa portance gravifique.

### Enfouissement des lithifications

La qualité de préservation de certains fossiles, des pistes et des empreintes de parties peu consistantes suggèrent que celui-ci s'est opéré peu après et rapidement. Le moment de cet enfouissement n'a pu être précisé. Certains sables de couverture sont encore d'âge miocène, mais non encore déterminés.

### Remaniement ultérieur et basculement éventuel

La majeure partie de l'aire originale des lithifications a été remaniée et la plupart des lithifications elles-mêmes ont été emportées, charriées et quelquefois basculées au

sein de la masse du gravier de base pliocène dit *Gravier de base des Sables du Kattendijk* que ces sables surmontent effectivement en cette région.

## 6. The molluscan fauna of the Miocene at Doel<sup>7</sup>

### 6.1. Introduction

The molluscan fauna of the Edegem Sand Member was already discussed by GLIBERT (1945, 1952). The Kiel Sand Member was described as a lithostratigraphic unit, belonging to the Berchem Formation, by DE MEUTER & LAGA (1976, p. 135). As type locality Antwerp Kiel was chosen, type section is the Ring Highway at Antwerp Kiel. VANDENBERGHE *et al.* (2004, fig. 7) considered the Kiel Sand Member as of Middle Burdigalian (N7) age. During the construction of this Ring Highway, A.W. Janssen discovered a sandstone level, which, according to its stratigraphic position between the Edegem and Antwerp Sand Members, was considered to belong to the Kiel Sand Member. This sandstones yielded a considerable but very poorly preserved molluscan fauna, which is kept now at the NNM Naturalis, Leiden, The Netherlands. It has never been published. Similar sandstones, characterised like those of Antwerp and Kiel, by the pteropod *Vaginella austriaca* Kittl, 1886, were encountered at Doel. Their fossil content is considerably better preserved and described here for the first time.

All the material studied is conserved in the collection IR-SNB, except if mentioned otherwise. Figured specimens have received an IST (*Invertebrate Secondary and Tertiary*) number. All the pictures were taken by J. Herman, except Plate 41, fig. 5, which was made by M. Wagenaar and Plate 45, figs. 2 and 3, which are SEM pictures were taken by J. Cillis (IRSNB).

The shells investigated are preserved in three ways. Loose specimens occur in black, glauconitic sediment, at 50 cm below the sandstone bed. This fauna is poor, consisting only of three species: *Glycymeris obovata baldii* Glibert & Van de Poel, 1965, *Arctica islandica islandica* (Linnaeus, 1758) and *Hinnitis ercolaniana* Cocconi, 1878. This restricted fauna is supposed to belong to the Edegem Sand Member, according to the dinoflagellate association discovered in this level by S. Louwye (RUG-Gent). The main part of the fauna described here is collected in greyish sandstone, found in the basal level of the Kattendijk Formation or slightly lower. These fossils are preserved as shells, but by breaking the sandstone the shells, being more fragile than the surrounding sandstone, mostly are partly destroyed. Often, only casts remain then. This material is, with very few exceptions, not fit for a proper systematic description. Especially the gastropods never show the characteristic protoconchs preserved. A third way of preservation occurs in the pteropod *Vaginella austriaca*

<sup>7</sup> by R. Marquet

Kittl, 1886, which is often found inside larger shells. The pteropods are not filled with sediment, but recrystallised. Because the composition of this molluscan fauna is intermediate between that of the Edegem and Antwerp Sand Members, this fauna of the Deurganckdok Sandstone is supposed to belong to the Kiel Sand Member.

## 6.2. Systematic description

### 6.2.1 Classis Bivalvia Linnaeus, 1758

#### Subclassis Protobranchia Pelseneer, 1889

#### Ordo Nuculoida Dall, 1889

#### Superfamilia Nuculacea Gray, 1824

#### Familia Nuculidae Gray, 1824

#### Genus *Leionucula* Quenstedt, 1930

#### *Leionucula haesendoncki hanseata* (Kautsky, 1925)

(Plate 34, Fig. 2)

**Material:** one specimen, in sandstone; coll. IRSNB IST 7021.

**Remarks:** the sole specimen found is preserved in shell condition, showing only the internal. It is a typical specimen of the subspecies found mostly in the Edegem Sand Member, *Leionucula haesendoncki hanseata* (Kautsky, 1925). The nominal subspecies *Leionucula haesendoncki haesendoncki* (Nyst & Westendorp, 1839) is characterised by the stronger curve of its posterior margin and by the presence of a depression of the hinge line, as shown statistically by Ringelé (1974, pl.1, fig. 2, pl.2, fig. 2). It is found in the Antwerp Sand Member.

#### Superfamilia Nuculanacea H. & A. Adams, 1858

#### Familia Yoldiidae Glibert & Van de Poel, 1965

#### Genus *Yoldiella* Verrill & Busch, 1897

#### *Yoldiella pygmaea* (von Münster, 1835) s.l.

**Material:** six specimens, in sandstone; coll. IRSNB IST.

**Remarks:** The specimens collected are preserved as loose casts, making it impossible to ascertain to which subspecies they belong.

#### Genus *Yoldia* Møller, 1842

#### *Yoldia glaberrima* (Von Münster, 1835)

**Material:** one specimens, in sandstone; coll. IRSNB IST.

**Remarks:** None.

#### Subclassis Pteriomorpha Buerlen, 1944

#### Superordo Eupteriomorpha Bosc, 1982

#### Ordo Acropoda Stolinzcka, 1871

#### Superfamilia Arcacea Lamarck, 1809

#### Familia Glycymerididae Newton, 1822

#### Subfamilia Glycymeridinae Newton, 1922

#### Genus *Glycymeris* Da Costa, 1778

#### Subgenus *Glycymeris* Da Costa, 1778

#### *Glycymeris (Glycymeris) lunulata baldii* Glibert & Van de Poel, 1965

(Plate 24, Figs 1-2; Plate 34, Fig. 1)

**Material:** blocks with about 100 specimens, coll. IRSNB; figured specimens IST 7048 (Pl. 24, fig.1), 7052 (Pl. 24, fig.2), IST 7051 (Pl. 24, fig. 2).

**Remarks:** *Glycymeris* shells occur in two levels at Doel: a dense sandy glauconitic level consisting nearly exclusively of *Glycymeris* valves and in the sandstones, found 50 cm higher in the section. Specimens in the sandstones are mostly eroded and they occur as single valves, all oriented with convex side above. Ringelé (1974) considered Edegem Sand *Glycymeris lunulata* as a separate subspecies. The present author however never collected enough material of this species in the Edegem Sand to corroborate this statement, especially because most specimens are badly abraded. The Kiel Sand material differs not enough from Antwerp Sand specimens to warrant separation.

#### Ordo Mytiloida Férussac, 1822

#### Superfamilia Mytilacea Rafinesque, 1815

#### Familia Mytilidae Rafinesque, 1815

#### Subfamilia Mytilinae Rafinesque, 1815

#### Genus *Arcoperna* Conrad, 1865

#### *Arcoperna sericea* (Bronn, 1831)

**Material:** 2 loose casts in coll. IRSNB.

**Remarks:** Both specimens are typical for the species and they are preserved bivalved.

#### Ordo Ostreidea Férussac, 1822

#### Subordo Pectinina Waller, 1978

#### Superfamilia Pectinoidea Wilkens, 1810

#### Familia Pectinidae Wilkens, 1810

#### Subfamilia Pectininae Wilkens, 1810

#### Genus *Korobkovia* Gray, 1842

#### *Korobkovia woodi* (Nyst, 1861)

(Plate 35, Fig. 2)

**Material:** one valve in sandstone in coll. IRSNB.

**Remarks:** A resembling species is *Capedopecten annelus* (Dijkstra & Janssen, 1988). The specimen from Doel is however clearly distinct by the angular shape of its auricles, although the typical ornament can not be observed on the material at hand.

Subfamilia Chlamydiae Von Teppner, 1922  
Genus *Aequipecten* P. Fischer, 1886

*Aequipecten seniensis* (Lamarck, 1819)

**Material:** one valve in sandstone in coll IRSNB.

**Remarks:** Because the single valve at hand is preserved with only the inside visible, its identification is not completely certain; the number of ribs and the shape of the valve however are compatible with that of *A. seniensis*, although its outer sculpture is invisible.

Genus *Hinnitis* Defrance, 1821

*Hinnitis ercolaniana* Cocconi, 1878

(Plate 34, Fig. 4)

**Material:** one valve in *Glycymeris* level in sand in coll IRSNB IST 6480, figured in Marquet (2002, p.57, pl. 28, fig.1); one bivalved specimen from the same level in coll F. van Dingenen (see here pl.34 fig. 4).

**Remarks:** Only three species were collected in the *Glycymeris* sandy level, in which *Hinnitis* is the most rare species encountered.

Subclassis Heterodonta Neumayr, 1884

Ordo Veneroidea H. & A. Adams, 1856

Superfamilia Lucinoidea Fleming, 1828

Familia Ungulinidae H. & A. Adams, 1857

Genus *Diplodonta* Bronn, 1851

Subgenus *Diplodonta* Bronn, 1851

*Diplodonta (Diplodonta) rotundata* (Montagu, 1803)

**Material:** more than 100 specimens in sandstone in coll. IRSNB.

**Remarks:** This fragile species occurs mostly bivalved and it is one of the most common taxa in the sandstone level. Its shape is typical enough to identify even specimens preserved as casts.

Superfamilia Cardioidea Lamarck, 1809

Familia Cardiida Lamarck, 1809

Subfamilia Cardiinae Lamarck, 1809

Genus *Parvicardium* De Monterosato, 1884

*Parvicardium straeleni* (Glibert, 1945) s. l.

**Material:** one specimen in sandstone in coll. IRSNB.

**Remarks:** Ringelé (1974) split this species in several stratigraphic subspecies. The preservation of the Doel material is however insufficient to decide to which it belongs.

Subfamilia Laevicardiinae Keen, 1936

Genus *Laevicardium* Keen, 1936

Subgenus *Habecardium* Glibert & Van de Poel, 1970

*Laevicardium (Habecardium) dingdense* (Lehmann, 1892)

**Material:** 3 specimens in sandstone in coll. IRSNB.

**Remarks:** None.

*Laevicardium (Habecardium) subturgidum* (d'Orbigny, 1852)

**Material:** 2 specimens in sandstone in coll. IRSNB.

**Remarks:** None.

Superfamilia Mactroidea Lamarck, 1809

Familia Mactridae Lamarck, 1809

Subfamilia Mactrinae Lamarck, 1809

Genus *Spisula* Gray, 1837

*Spisula subtruncata* auct. non Da Costa, 1778

**Material:** 2 valves in coll. IRSNB.

**Remarks:** Pliocene material, identified before as *Spisula subtruncata*, proved to belong to another species, *S. obt truncata* (J. Sowerby, 1817) (Marquet, p.51, pl.30, fig.1). It is improbable that the recent *S. subtruncata* would occur in Miocene deposits, while lacking in Pliocene. Possibly the material is conspecific with the Oligocene (Chattian) *Spisula trinacria* (Semper, 1861), figured by Heering (1944, p.38, pl.7, figs 1-6). The fragmentary and scant material of Doel is however not apt for further identification.

Familia Mesodesmatidae Gray, 1839

Subfamilia Erviliinae Dall, 1895

Genus *Ervilia* Turton, 1822

*Ervilia pusilla* (Philippi, 1836)

**Material:** 1 specimens in sandstone in coll. IRSNB.

**Remarks:** Scant material of this species has been found in the Edegem Sand Member; it lacks in the Antwerp Sands, but reappears as a common element of the Breda Formation molluscan fauna (Glibert, 1945; Vandenberghé *et al.*, 2005, pers. obs.).

Superfamilia Solenoidea Lamarck, 1809

Familia Cultellidae Davies, 1835

Genus *Ensis* Schumacher, 1817

*Ensis hausmanni* (Goldfuss, 1841)

(Plate 38, Fig. 1)

**Material:** more than 100 mostly bivalved specimens in sandstone in coll. IRSNB; figured specimen IST 7030, Coll. E. Wille.

**Remarks:** The identity of this species is not certain. Van Urk (1971) divided the Neogene North Sea basin members of this genus in two species, *Ensis degrangei* (Cossmann & Peyrot, 1909) = *Ensis hausmanni* and *Ensis waltonensis* Van Urk, 1971. Marquet (2005, p.57) however did not consider the differences enough to distinguish two species. Miocene material is always much smaller than Middle Pliocene specimens from the Oorderen Sand Member, while those from the Kattendijk Formation are about the same size as the Miocene ones. All specimens are found flat on the sandstone surface; if preserved bivalved, they are opened, rarely still closed. This proves the specimens are not in erect life position, but preserved in a transported thanatocoenosis, without however strong wave action, able to crush these very fragile shells.

**Superfamilia Tellinoidea De Blainville, 1814**  
**Familia Tellinidae De Blainville, 1814**  
**Subfamilia Tellininae De Blainville, 1814**  
**Genus *Angulus* Megerle von Mühlfeld, 1811**

*Angulus posterus* (Beyrich in von Koenen, 1868)  
 (Plate 34, Fig. 3)

**Material:** 3 bivalved specimens from the sandstone in coll. IRSNB; figured specimen Coll. E. Wille.

**Remarks:** None.

**Familia Semelidae Stoliczka, 1870**  
**Genus *Abra* Lamarck, 1818**

*Abra antwerpiensis* Glibert, 1945

**Material:** one valve in sandstone in coll. IRSNB.

**Remarks:** Even preserved as casts, they clearly belong to this species and not to the resembling *Abra berchemensis* Van der Mark, 1968, because of their more elongate shape, less rounded ventral margin and pointed rostrum.

**Superfamilia Arcticinae Newton, 1891**  
**Familia Arctidae Newton, 1891**  
**Genus *Arctica* Schumacher, 1817**

*Arctica islandica islandica* (Linnaeus, 1758)

**Material:** specimens observed in the sand level; not collected.

**Remarks:** This species, which occurs from the Edegem Sand Member to the Late Pliocene in the Antwerp area, has not been found in the sandstone level. The species has a

wide ecological tolerance, having lived in deposits of widely different depths around Antwerp (between the rather deep Kattendijk Formation and the very shallow Kruisschans Sand Member). The substrate types also have been very diverse. It lacks in the Deurne Sand sandstone. Its absence in both sandstone levels could be due to ecological conditions, but transport and accumulation in a thanatocoenosis are more likely to have caused its distribution.

**Superfamilia Glossoidea Gray, 1847**  
**Familia Glossidae Gray, 1847**  
**Genus *Glossus* Poli, 1795**

Glibert (1945) recognised only one species of this genus in the Miocene of Belgium, *Glossus lunulatus* (Nyst, 1835), with three varieties: *lunulatus* s.str., *crassus* and *cypriniformis*. It is however remarkable that the distribution of these three types is restricted to a limited number of strata. In the Edegem Sand Member, two occur together: *Glossus lunulatus crassa* (Nyst & Westendorp, 1839) and *Glossus lunulatus cypriniformis* (Nyst in Dewalque, 1868). In the Antwerp Sand Member, the first taxon is replaced by *Glossus lunulatus lunulatus* (Nyst, 1835), while the second type only persists in the lowest part, the horizon with *Patinopecten brummeli* (Nyst, 1864) at the localities Rumst and Terhagen (province of Anwerp) (see Marquet, 1991 for the different horizons in the Antwerp Sand Member). The Zonderschot Sand Member (as well as the Dutch Miste bed) contains only *Glossus l. lunulatus* (Nyst, 1835). The Late Miocene Deurne Sand Member and the "Sables à Hétérocètes" gravel contains a type, which is not conform with the three varieties mentioned, but comes closer to the Pliocene *Glossus humanus* (Linnaeus, 1758). In the Kiel Sand Member sandstone studied here two types of shell are present: *Glossus lunulatus crassus* (Nyst & Westendorp, 1839) and *Glossus lunulatus cypriniformis* (Nyst in Dewalque, 1868).

A biometrical analysis was carried out on 79 valves from the Edegem and Antwerp Sand Members. The *lunulatus* material was collected at Antwerp, Metro station Schijnpoort, Antwerp Sand Member, *Panopea* horizon. The *crassus* material was found at Antwerp, Kennedytunnel on the Ring Highway (29 sp.), at Wilrijk, Ter Weyde pit (1 sp.) and at Antwerp, Ring Highway near Desguinlei (1 sp.), all Edegem Sand Member. The *cypriniformis* shells originate from the Wienerberger Brick pit at Rumst-Terhagen, prov. Antwerp, *Patinopecten brummeli* level of the Antwerp Sand Member (9 sp.), the Kennedytunnel, Edegem Sand Member (7 sp.) and the Antwerp Schoolplein Metro Station, Edegem Sand Member (1 sp.). Deurne Sand Member specimens are too rare to include in a statistical analysis and those of the Kiel Sand Member are too badly preserved. All material belongs to the collection RM and will be deposited in the IRSNB in the future.

Shell type and n	Mean a-p (mm)	Mean d-v (mm)	Mean hd (mm)	Mean u (mm)
<i>lunulatus</i> (31)	49.6	43.4	25.3	12.2
<i>crassus</i> (31)	50.0	51.3	31.6	17.1
<i>cypriniformis</i> (17)	50.5	46.2	24.6	8.2

**Table 1.** Number of specimens (n) and mean dimensions of 79 Miocene Glossus valves.

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
a-p	Between Groups	182,873	2	91,436	4,234	,018
	Within Groups	1641,203	76	21,595		
	Total	1824,076	78			
d-v	Between Groups	1534,160	2	767,080	26,242	,000
	Within Groups	2221,586	76	29,231		
	Total	3755,747	78			
Hd	Between Groups	1106,080	2	553,040	28,454	,000
	Within Groups	1477,135	76	19,436		
	Total	2583,215	78			
U	Between Groups	857,822	2	428,911	77,838	,000
	Within Groups	418,786	76	5,510		
	Total	1276,608	78			

**Table 2.** ANOVA of the differences between and within the three groups, for the different measurements. All are significant.

Dependent Variable	(I) categorie	(J) categorie	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Boundary	Upper Boundary
a-p	lunulatus	Cypriniformis	-3,884(*)	1,402	,019	-7,24	-,53
		Crassus	-,419	1,180	,933	-3,24	2,40
d-v	lunulatus	Lunulatus	3,884(*)	1,402	,019	,53	7,24
		Cypriniformis	-5,522(*)	1,632	,003	-9,42	-1,62
	cypriniformis	Crassus	-9,935(*)	1,373	,000	-13,22	-6,65
		Lunulatus	5,522(*)	1,632	,003	1,62	9,42
Hd	lunulatus	Crassus	-4,414(*)	1,632	,023	-8,31	-,51
		Cypriniformis	-,736	1,331	,845	-3,92	2,44
	cypriniformis	Crassus	-7,903(*)	1,120	,000	-10,58	-5,23
		Lunulatus	,736	1,331	,845	-2,44	3,92
U	lunulatus	Crassus	-7,167(*)	1,331	,000	-10,35	-3,99
		Cypriniformis	3,579(*)	,708	,000	1,89	5,27
	cypriniformis	Crassus	-4,903(*)	,596	,000	-6,33	-3,48
		Lunulatus	-3,579(*)	,708	,000	-5,27	-1,89
		Crassus	-8,482(*)	,708	,000	-10,18	-6,79

**Table 3.** Tukey HSD test. The mean difference is significant at the .05 level. Significant mean differences are indicated by \*.

Four characters were measured: the distance between anterior and posterior margin (a-p), that between dorsal and ventral margin (d-v), the hemidiameter (hd) and the distance between the umbo and the dorsal margin (u). Table 1 shows the mean values for the different populations.

Significant differences were traced by means of an ANOVA and a Tukey HSD test, using the program SPSS for Windows. The results are given in tables 2 and 3.

It can be concluded that the *crassus* and *cypriniiformis* forms, although differing little in general size (a-p), show significant differences for all measurements taken. *Cypriniiformis* and *lunulatus* differ significantly in all characters, except hemidiameter. The differences between *lunulatus* and *crassus* are slighter, but still significant for all characters except antero-posterior diameter.

Because the *cypriniiformis* type occurs together with both other forms, without overlapping with them in characters, the difference must be at species level. The *crassus* and *lunulatus* forms are more similar and they occur at subsequent stratigraphic levels. This points to different subspecies.

The characters of the four *Glossus* taxa occurring in the Miocene of Belgium (including the one from the Deurne Sand Member), can be summarised as follows.

*crassus* type (Plate 37, Fig.1, IST 7023):

- dorso-ventral diameter exceeding antero-posterior one;
- shell very tumid;
- umbo strongly protruding, far from dorsal margin, close to anterior margin;
- anterior margin pointed;
- ornament consisting of very irregular, strong plicae;
- ventral margin partly concave.

*lunulatus* type (Plate 37, Fig.7, IST 7029):

- antero-posterior diameter exceeding dorso-ventral one;
- shell less tumid;
- umbo protruding, rather far from dorsal margin, close to anterior margin;
- anterior margin pointed;
- ornament consisting of few, weak plicae;
- ventral margin partly concave.

*cypriniiformis* type (Plate 37, Figs 3-5, IST 7025, 7026, 7027 resp.):

- antero-posterior diameter exceeding dorso-ventral one;
- shell rather flat;
- umbo much less distinct, close to dorsal and posterior margin;
- ornament consisting of few, weak plicae;
- ventral margin straight.

Deurne Sand Member type (Plate 37, Fig. 6, IST 7028):

- antero-posterior diameter exceeding dorso-ventral one;

- shell rather flat;
- umbo much less distinct, close to dorsal and anterior margin;
- ornament consisting of growth lines, some of which are more developed;
- ventral margin rounded.

The nomenclature of the four forms is rather complicated. Nyst (1835, p.13, pl.3, fig.53) described *Isocardia lunulata*, from the Miocene of Antwerp. The specimen illustrated is however not individually recognisable. Glibert (1945, p.135) selected as holotype a specimen from Houthalen (Limburg, Belgium), no IST 1767, which undoubtedly belongs to the *cypriniiformis* type. Nyst (1835) certainly did not possess material from the Houthalen Sand Member, which was found in the Campine coal mines only in the twentieth century. A new type will have to be selected among Nyst's original material from Antwerp city (not Edegem) to keep the name *lunulata* in its original meaning. The correct name is *Glossus lunulatus lunulatus* (Nyst, 1835) and its range includes the Antwerp and the Zonderschot Sand Members (both Berchem Formation) in Belgium, the Miste Sand Member (A.W. Janssen, 1984) in The Netherlands, the Hemmoor and Reinbek Stufe in Germany (Kautsky, 1925, Anderson, 1964, Hinsch, 1962).

The *crassa* form was described from the Edegem Sand Member, Edegem (near Antwerp) and its holotype is IST 1769. Its correct name is *Glossus lunulatus crassus* (Nyst & Westendorp, 1839) and its range is limited to the Early Miocene Edegem Sand and Kiel Sand Members in Belgium.

The *cypriniiformis* type was described by Nyst in Dewalque (1868) from the Edegem Sand Member of Edegem. Its holotype is IST 1770. However, in the Aquitaine Burdigalian (Early Miocene, southern France) a very similar species occurs, *Glossus burdigalensis* (Deshayes, 1832) (see here Plate 37, fig. 2, IST 7024, Cossmann & Peyrot, 1911, p. 81, pl.20, figs 11-13). The only difference with the Belgian type of shell is the lesser antero-posterior diameter. Sufficient material from the Bordeaux area to assess its variability lacks, but both are considered here as subspecies, the Belgian type bearing the name *Glossus burdigalensis cypriniiformis* (Nyst in Dewalque, 1868). The range of the subspecies is limited to the Belgian Houthalen, Edegem and Kiel Sand Members and to the *Patinopecten brummeli* horizon of the Antwerp Sand Member (were it is the only *Glossus* species present). Furthermore, it has been found in the German Vierland Stufe (Anderson, 1959, p. 120, pl. 16, fig. 2).

The Deurne Sand Member type is more similar to the Pliocene *Glossus humanus* (Linnaeus, 1758), but differs in the much less tumid shell, with less distinct umbo. At first sight, it resembles *Glossus burdigalensis cypriniiformis* (Nyst in Dewalque, 1868), but the umbo lies above the anterior margin, instead of behind as in the Early Miocene species

and its shape is regular oval, without the straight ventral margin of *Glossus burdigalensis cypriniformis*; lastly, its height/width ratio is lower. The Deurne Sand species is identical with the Late Miocene species *Glossus olearii* (Semper, 1861) = *Glossus forchhammeri* (Ravn, 1907), as figured by Rasmussen (1956, p. 41, pl. 3, fig. 1) and Schmetler in Roth & Hoedemakers (eds, 2005, p. 80, pl. 2, fig. 16) from the Danish Late Miocene Gram Stufe. Its type locality is Sylt, stratum typicum Sylt Stufe, Late Miocene. It is found in the German Langenfeld Stufe (Lierl, 1985, pl. 1, fig. 9; Moths, 1989, p. 110, pl. 5, fig. 26) and in the Danish Gram and Sylt Stufen. One could consider this endemic North Sea basin species as the ancestor of the Pliocene to Recent *Glossus humanus* (Linnaeus, 1758), but this species is already present earlier, in the Tortonian of Italy and the Badenian of the Paratethys, so it should be considered as the end of an endemic evolutionary lineage, perhaps starting with the previous subspecies.

***Glossus burdigalensis cypriniformis* (Nyst in Dewalque, 1868)**

(Plate 37, Fig. 4; Plate 41, Fig. 3)

**Material:** about 50 specimens from the sandstones in coll. IRSNB; figured specimen IST 7026.

**Remarks:** Only single valves were found at Doel, mostly more or less incomplete juveniles. It is the most frequent *Glossus* species in this level.

***Glossus lunulatus crassus* (Nyst & Westendorp, 1839)**

(Plate 40, Fig. 1)

**Material:** 2 bivalved specimens from the sandstones in coll. IRSNB; figured specimen IST 7021.

**Remarks:** While this species is the most common one in the Edegem Sand Member it becomes much rarer in the Kiel Sand Member already, where the previous species is dominant. This tendency results in the presence of only the previous species in the Rumst miocene deposits. However, in higher levels of the Antwerp Sand *Glossus lunulatus lunulatus* (Nyst, 1835) abounds. The subspecies must have evolved outside the Antwerp area and migrated back in after the extinction of *G. l. crassus*.

**Familia Kelliellidae Fischer, 1887**

**Genus *Spaniodontella* Andrussov in Golubiatnikov, 1902**

***Spaniodontella nitida* (Reuss, 1867)**

(Plate 36, Figs 1-2)

**Material:** several thousands of specimens in sandstone in coll. IRSNB; figured specimen IST 7022.

**Remarks:** Although this is an abundant species in most Miocene deposits of the Antwerp region, its occurrence has not yet been published; probably the species has been

overlooked because of its small size. It is the most common species in the Kiel Sand Member sandstones at Doel, covering entire stone surfaces with loose valves.

**Superfamilia Veneroidea Rafinesque, 1815**

**Familia Veneridae Rafinesque, 1815**

**Subfamilia Pitarinae Stewart, 1930**

**Genus *Pelecypora* Dall, 1902**

***Pelecypora polytropa nysti* (d'Orbigny, 1852)**

(Plate 24, Fig. 1)

**Material:** one specimen in sandstone among *Glycymeris* valves in coll. IRSNB. IST – 7049.

**Remarks:** This is a typical species for the Early Miocene in the Antwerp region. It occurs in the Edegem Sand Member, the Kiel Sand Member and in the lowermost part of the Antwerp Sand Member at Rumst. It is absent in the Deurne Sand Member.

**Ordo Myoidea Stoliczka, 1870**

**Subordo Myina Stoliczka, 1870**

**Superfamilia Hiatelloidea Gray, 1824**

**Familia Hiatellidae Gray, 1824**

**Genus *Hiatella* Daudin in Bosc, 1801**

**Subgenus *Hiatella* Daudin in Bosc, 1801**

***Hiatella (Hiatella) arctica* (Linnaeus, 1767)**

**Material:** one specimen in coll. IRSNB.

**Remarks:** None.

**Genus *Panopea* Menard de la Groye, 1807**

**Subgenus *Panopea* Menard de la Groye, 1807**

***Panopea (Panopea) menardi kazakovae* Glibert & Van de Poel, 1966**

(Plate 35, Fig. 3)

**Material:** 2 specimens in sandstone in coll. IRSNB.

**Remarks:** This species is rare in the Doel sandstones, but becomes very common in the Antwerp Sand Member, in which many specimens in life position are found below the *Glycymeris* bed. In the Deurne Sand Member, it is extinct.

**Genus *Cyrtodaria* Reuss, 1801**

***Cyrtodaria angusta* (Nyst & Westendorp, 1848)**

(Plate 38, Fig. 2, Plate 39, Fig. 1)

**Material:** about 50 specimens in sandstone; figured specimens Coll. E.Wille (Pl. 38, fig. 2: enlargement of Pl. 39, Fig.1).

**Remarks:** Occurs mostly as bivalved specimens and is more common than the previous species, which is exceptional in the Miocene deposits around Antwerp.

**Subordo Pholadina H. & A. Adams, 1858**  
**Superfamilia Pholadoidea Lamarck, 1809**  
**Familia Teredinidae Rafinesque, 1815**  
**Genus Unknown**

**Teredinidae indet.**  
 (Plate 13, Fig. 2)

**Material:** concentration of tubes in sandstone in coll IRSNB IST 7048.

**Remarks:** This material is unidentifiable as to genus or species.

**Subclassis Anomalodesmata Dall, 1889**  
**Ordo Pholadomyoidea Newell, 1965**  
**Superfamilia Pandoroidea Rafinesque, 1815**  
**Familia Lyonsiidae Fischer, 1887**  
**Genus *Allogramma* Dall, 1903**

***Allogramma miocaenica* nov. sp.**  
 (Plate 40, Figs 2-3)

**Type material:** Holotype: bivalved specimen (coll. IRSNB IST 7031), paratype: single valve (coll. IRSNB IST 7032), both in sandstone, damaged and accompanied by other molluscan species.

**Locus typicus:** Deurganckdok (=Albertdok), Doel, provincie Oost-Vlaanderen, Belgium.

**Stratum typicum:** Deurganckdok Sandstone Bed, Kiel Sand Member, Berchem Formation, Early Miocene.

**Derivatio nominis:** *miocaenica* because it is the only species occurring in the European Miocene.

**Diagnosis:** An *Allogramma* species with only two radial carinae, growth lines and microgranules as ornament.

**Dimensions:** Holotype: Length: 15.2 mm, height: 9.0 mm, hemidiameter: 3.8 mm. Paratype: Length: 16.0 mm (not completely visible in sandstone), height: 10.1 mm, hemidiameter: 4.9 mm.

**Description:** Middle sized, fragile, nearly equilateral and inequivalve shell, gaping at both ends. Shape rectangular, height only 60 % of length. Umbonal angle 140°. Left valve flatter and with much less distinct carinae than right one. Umbo central on dorsal margin, opisthogyrate. Anterior and posterior margins nearly straight, ventral slightly convex. On the anterior part of the right valve, two carinae occur between the umbo and the ventral margin. Anterior carina weak, posterior one stronger and more distinct. Left valve only with one distinct carina. Ornament further consisting of strong growth lines and very

fine tubercles on the whole surface. Inside nacre. Muscle scars and hinge not visible in the material at hand.

**Remarks:** *Allogramma* occurs Recent in Europe, North America, NW Africa and the Pacific. The European *Allogramma formosa* (Jeffreys, 1881) differs clearly from the new species in having radial ribs before the carinae and excentric ribs on the anterior part of the shell. Other Miocene Lyonsiidae from the North Sea basin have been indicated as *Lyonsia* (*L.*) *norwegica* (Gmelin, 1791), but only fragments have been found and this identification is not certain. This material however never shows distinct carinae, the microgranules are coarser and the shells are more inequilateral. Pliocene *L.* (*L.*) *mermuysi* Marquet, 2005 has a similar shape as the new species, but carinae lack and the microgranules are stronger. Also resembling the new species are the members of the Miocene North American Familia Margaritanidae Vokes, 1964. *Margaritana abrupta* (Conrad, 1832) has a similar shape as *Allogramma miocaenica*, but at least five carinae are present (Moore, ed, 1969, p. 847). Because of the presence of the microsculpture of granules, the new species is included here in the Familia Lyonsiidae, but Margaritanidae is also possible.

**Distribution:** Only known from the type locality and stratum.

**Familia Thraciidae Stolizcka, 1870**  
**Genus *Thracia* Sowerby, 1823**  
**Subgenus *Thracia* Sowerby, 1823**

***Thracia* (*Thracia*) *inflata microgranosa* Marquet, 2005**

**Material:** 2 specimens from the sandstone in coll. IRSNB.

**Remarks:** The identification of this taxon is based solely on its shape, the characteristic microsculpture was not more visible.

## 6.2.2 Classis Gastropoda Cuvier, 1797

**Subclassis Prosobranchia Milne-Edwards, 1848**  
**Superordo Caenogastropoda Cox, 1959**  
**Ordo Hypsogastropoda Ponder & Lindberg, 1997**  
**Subordo Littorinimorpha Golikov & Starobogatov, 1975**  
**Superfamilia Stromboidea Rafinesque, 1815**  
**Familia Aporrhaidae Gray, 1850**  
**Subfamilia Aporrhainae Gray, 1850**  
**Genus *Aporrhais* Da Costa, 1778**

***Aporrhais dingdenensis* Marquet, Grigis, & Landau, 2002**

**Material:** one specimen in coll. IRSNB.

**Remarks:** This is one of the commonest gastropods in the Deurne Sand Member sandstone, but it occurs very rarely in the Deurganckdok Sandstone Bed of the Kiel Sand Member.

**Superfamilia Ficoidea Meek, 1864**

**Familia Ficidae Röding, 1798**

**Genus *Ficus* Röding, 1798**

***Ficus simplex* (Beyrich, 1856)**

(Plate 40, Fig. 5b, Plate 41, Figs 1-2)

**Material:** about 100 specimens in sandstone in coll. IRSNB.

**Remarks:** This is one of the commonest gastropods in the sandstone.

***Ficus c. condita* (Brongniart, 1823)**

(Plate 40, Figs 4-5a, Plate 42, Figs 1-2)

**Material:** about 100 specimens in sandstone in coll. IRSNB.

**Remarks:** This species also is one of the most common in the sandstone; the same applies to the Deurne Sand Member sandstone; this could be linked to ecological conditions.

**Superfamilia Naticoidea Forbes, 1818**

**Familia Naticidae Forbes, 1818**

**Subfamilia Naticinae Forbes, 1838**

**Genus *Euspira* Agassiz, 1838**

***Euspira helicina protracta* (Eichwald, 1830)**

**Material:** 3 specimens in sandstone in coll. IRSNB.

**Remarks:** The systematic position of this taxon (species, subspecies) has to be looked in further, but the Doel material is not fit for this.

**Genus *Neverita* Risso, 1826**

***Neverita josephina olla* (Sacco, 1891)**

**Material:** one specimen in sandstone in coll. IRSNB.

**Remarks:** None.

**Superfamilia Tonnoidea Suter, 1913**

**Familia Cassididae Latreille, 1825 Forbes, 1818**

**Subfamilia Cassinae Latreille, 1825**

**Genus *Semicassis* Mörch, 1852**

**Subgenus *Semicassis* Mörch, 1852**

***Semicassis (Semicassis) b. bicoronata* (Beyrich, 1854)**

(Plate 41, Figs 3-5, Plate 42, Figs 1-2)

**Material:** about 100 specimens in sandstone in coll. IRSNB; figured specimen IST 7033 (Plate 41, Fig. 5).

**Remarks:** A.W Janssen (1969, p.175) described the Edegem Sand Member material of this species as a subspecies *Semicassis (S.) bicoronata belgica* Janssen, 1969, characterised by the lack of secondary sculpture, the stronger primary spirals and the near absence of axial ornament, resulting in the lack of tubercles on the spirals. To this can be added the relatively low spire. The Doel material, although mostly lacking its outer shell layer, usually clearly shows tubercles and its spire is high. Consequently, it is here considered as belonging to the nominate subspecies, which is found usually in the Antwerp and Zonderschot Sand Members. However A.W Janssen (1969) considered the Reinbekian material from Dingden, Germany, also as part of this subspecies, despite of the considerable time lag between this deposit and the Edegem Sand Member.

***Semicassis (Semicassis) laevigatum gliberti* nov. subsp.**

(Plate 43, Fig. 2)

**Material:** 2 casts in coll. IRSNB. Figured specimens IST 7035.

**Type material:** Holotype: coll. IRSNB IST 2124 (see Glibert, 1952, pl. 6, fig. 12), paratype: coll. IRSNB IST 7034 (Plate 43, Fig. 1 here), from Antwerp, Kennedytunnel; Edegem Sand Member.

**Locus typicus:** Edegem, old brick pit, prov. of Antwerp, Belgium.

**Stratum typicum:** Edegem Sand Member, Berchem Formation, Early Miocene.

**Derivatio nominis:** *gliberti* because Glibert (1952) was the first to observe the difference between the Edegem Sand Member material and typical *Semicassis miolaevigata* (Sacco, 1890).

**Diagnosis:** A subspecies of *Semicassis laevigata* (Defrance, 1817) with a low spire and spiral ornament completely covering the last whorl.

**Dimensions:** Holotype: Height 33 mm, width 26 mm. Paratype: Height 31 mm, width 25 mm.

**Description:** Rather large, fragile shell, consisting of about eight tumid whorls. Suture indistinct. Protoconch never preserved in material at hand. Apical angle 110°, last whorl taking about 85 % of total height, so spire short. Width 80 %, aperture 85 % of height. Last whorl with shallow subsutural depression. Ornament consisting of about 20 broad spiral ribs, separated by narrow intercostal grooves. Apically, in the subsutural depression, the ribs are narrow and often crossed by strong, prosocline growth lines. Below the depression, the growth lines weaken and nearly disappear. The spirals become broader, but remain distinct on the whole last whorl. On the abapical third of this whorl, the spirals narrow again and the intercostal

spaces become deeper and more distinct. Callus distinct, glossy and broad. Aperture broad, ending adapically in a narrow extension. Columellar lip nearly straight, with two deep plicae. The abapical one is narrow but distinct, the adapical broader and less clearly delimited. Seven irregular plicae are present on the callus near the columellar lip, directed abapically. Parietal lip strongly bulging inward, with seven rather deep, regular plicae, directed adapically. Outer lip slightly curved, thickened, with 19 to 20 plicae, which become more distinct abapically. Siphonal canal short, umbilicus nearly completely closed.

**Remarks:** Already Glibert (1952, p. 83) and A.W. Janssen (1969, p. 175) remarked on the difference between Edegem Sand material and typical *Semicassis miolaevigata* (Sacco, 1890), mentioning the same characteristics as in the diagnosis, but without formally naming this taxon. Specimens from *Semicassis miolaevigata* (Sacco, 1890) from Italy (Tortonian, the stratum typicum; coll. IRSNB IST 7039, Plate 44, Fig. 6) and Poland (Badenian, coll. IRSNB IST 7037, Plate 44, Fig. 4) are figured here for comparison. Further illustrations can be found in Ferrero Mortara *et al.* (1984, pl. 1, fig. 6; type specimen from the Tortonian of Italy), Van Voorthuyzen (1944, pl. 13, figs 22-27) from The Netherlands, Kautsky (1925, pl. 7, fig. 12?) from Germany, Schnetler *in* Roth & Hoedemakers (eds, 2005, pl. 5, fig. 7) from Denmark, Bařuk (1995; pl. 16, figs 1-4) from Poland, Strausz (1966, pl. 66, fig. 4, pl. 72, figs 15-17, pl. 73, figs 1-3) from Hungaria, Kojumdgieva & Strachimirov (1960, pl. 37, figs 2-3) from Bulgaria, Erőnal-Erentöz (1958, pl. 7, figs 1-2) from Turkey, Hömes (1856, pl. 13, figs 2-7) from Austria, Cossmann & Peyrot (1923, pl. 12, figs 14-15) from Aquitaine, France and Pereira da Costa (1866, pl. 16, figs 6-9) from Portugai. The distribution of this taxon seems to be circumeuropean, only lacking the Loire basin "Pontilévien" and the Brittany "Redonian" in France. In all this material it is obvious that the spiral ornament lacks in the area around the periphery of the shell. It reappears at the adapical suture, often in a subsutural depression. The spire of this material is on average higher than that of Edegem Sand shells and the size is larger. True specimens of this subspecies are found in the Belgian Miocene only in the Breda Formation from the well Maaseik, described by Vandenberghe *et al.* (2005). Only fragments were collected in this boring, but some show the characteristic sculpture. A.W. Janssen (1984, pl. 5, fig. 5) specimen from Miste, figured under the name *S. miolaevigata*, does not seem to belong to this taxon, but to *Semicassis subsulcosum pedemontanum* (Sacco, 1890) instead. True *Semicassis l. miolaevigatum* however occurs in Miste (coll. IRSNB IST 7038, Plate 44, Fig. 5 here). In Pliocene deposits in Belgium (Marquet, 1998, text-fig. p. 101), Spain (Landau *et al.*, 2004, pl. 3, figs 1-2) and Italy (Cavallo & Repetto, 1994, p. 75, fig. 139) *Semicassis laevigata laevigata* (Defrance, 1817) occurs. This taxon is characterised by the complete absence of spiral ornament,

the high spire and the absence of a subsutural depression. Because the three types seem to be characterised mainly by diminishing spiral ornament, they probably form an evolutionary lineage; consequently, it is logical to indicate them as subspecies. In the Early Miocene Aquitanian and Burdigalian of France, a more or less similar species occurs, *Semicassis grateloupi* (Deshayes, 1853). It differs from *S. laevigata* s.l. by its taller, more convex protoconch whorls, higher and narrower spire, axial sculpture on the early teleoconch whorls and the finer and more numerous parietal and columellar callus folds and tubercles (Landau *et al.*, 2004, p. 49). The Pleistocene to Recent *Semicassis saburon* (Bruguière, 1792), with which *Semicassis laevigata* s. lat. has been confused in the past, has a more elongated spire, the spirals are broad, clearly distinct and they cover the complete shell surface; the shell is more fragile (coll. IRSNB IST 7036, Plate 44, Fig. 3). *Semicassis bicoronata* (Beyrich, 1854) s.l., which is found abundantly in the sandstone layer, has much stronger spiral ornament, which furthermore bears tubercles.

**Distribution:** Known from the Edegem and Kiel Sand Members in the Antwerp area and from Doel.

**Familia Ranellidae J.E. Gray, 1854**  
**Subfamilia Cymatiinae Iredale, 1913**  
**Genus Charonia Gistel, 1848**

*Charonia tarbelliana* (Grateloup, 1840)

**Material:** 1 specimen in sandstone in coll. IRSNB.

**Remarks:** None.

**Ordo Neogastropoda Wenz, 1938**  
**Superfamilia Buccinoidea Rafinesque, 1815**  
**Familia Nassariidae Iredale, 1916**  
**Subfamilia Nassariinae Iredale, 1916**  
**Genus Amyclina Beyrich, 1856**

*Amyclina facki* (von Koenen, 1872)

**Material:** 1 specimen in sandstone in coll. IRSNB.

**Remarks:** In the sandy facies of the Edegem, Antwerp and Zonderschot Sand Members, Nassariidae in general and this species in particular form one of the main parts of the molluscan fauna. In the Kiel and Deurne Sandstones, they are nearly absent. This could be linked to ecological conditions.

**Superfamilia Muricoidea Rafinesque, 1815**  
**Familia Muricidae Rafinesque, 1815**  
**Subfamilia Haustriinae Tan, 2003**  
**Genus Haustellum Bruguière, 1792**

***Haustellum inornatum* (Beyrich, 1854)****Material:** 2 specimens in sandstone in coll. IRSNB.**Remarks:** None.**Superfamilia Conoidea Fleming, 1822****Familia Turridae H. & A. Adams, 1853****Subfamilia Turrinae H. & A. Adams, 1853****Genus *Orthosurcula* Casey, 1904*****Orthosurcula steinvorthei* (von Koenen, 1872)**

(Plate 43, Fig. 7)

**Material:** 1 specimen in sandstone in coll. IRSNB, IST 7040.**Remarks:** Turriform gastropods form one of the main elements in species diversity as well as number of individuals in the Edegem, Antwerp and Zonderschot Sand Members. Their paucity in the sandstones is a significant ecological difference. The specimen figured is of exceptional large size for the species.**Genus *Gemmula* Weinkauff, 1875*****Gemmula hinschi* (Anderson, 1964)**

(Plate 45, Fig. 1)

**Material:** 2 specimens in sandstone in coll. IRSNB, figured specimen IST 7041.**Remarks:** The specimen figured is partly abraded, so that the ornament on the carinae is not completely conserved. Superficially, it looks like a member of the genus *Unedogemmula*, which usually retain their color pattern. On preserved parts, the carinae however show the characteristic tubercles of a *Gemmula* species and its form is characteristic of the species.**Subclassis Heterobranchia Gray, 1840****Ordo Allogastropoda Haszprunar, 1985****Superfamilia Acteonoidea d'Orbigny, 1843****Familia Acteonidae d'Orbigny, 1843****Subfamilia Acteoninae d'Orbigny, 1843****Genus *Acteon* Montfort, 1810*****Acteon semistriatus* de Férussac, 1822****Material:** 1 specimen in sandstone in coll. IRSNB.**Remarks:** None.**Superfamilia Ringiculoidea Philippi, 1853****Familia Ringiculidae Philippi, 1853****Genus *Ringicula* Deshayes, 1838*****Ringicula buccinea* auct. non Brocchi, 1814****Material:** 5 specimens in sandstone in coll. IRSNB.**Remarks:** *Ringicula buccinea* (Brocchi, 1814) is common in the Pliocene of the North Sea basin and the Mediterranean. The most common species of North Sea basin Miocene Ringiculidae however clearly differs by its flat whorls, very shallow suture, different aperture and smaller size. In the Miocene of Aquitaine or Touraine, France, no species similar to the North Sea basin material occurs. Although this family is notorious in its variability, leading to the description of numerous synonyms, the North Sea basin Miocene species is distinct and will be described in the near future.**Superordo Opisthobranchia Milne-Edwards, 1846****Ordo Cephalaspidea P. Fischer, 1883****Superfamilia Philinoidea Gray, 1850****Familia Cylichnidae H. & A. Adams, 1854****Genus *Cylichna* Lovén, 1846*****Cylichna pseudoconvoluta* (d'Orbigny, 1852)****Material:** 1 specimen in sandstone in coll. IRSNB.**Remarks:** The narrow shape of the shell is distinct enough to identify it, even when not well preserved.**Genus *Scaphander* Montfort, 1810*****Scaphander grateloupi* Michelotti, 1847**

(Plate 38, Fig. 2; Plate 40, Fig. 5c)

**Material:** about 100 specimens in sandstone, figured specimens Coll. E. Wille.**Remarks:** This is one of the most common gastropod species in the Kiel Sand Member sandstone.**Ordo Thecosomata Blainville, 1824****Superfamilia Cavolinoidea Gray, 1850****Familia Cavolinidae Gray, 1850****Subfamilia Cavolininae Gray, 1850****Genus *Vaginella* Daudin, 1800*****Vaginella austriaca* Kittl, 1886**

(Plate 41, Fig. 6a, b; Plate 44, Figs 1-4)

**Material:** about 50 specimens in sandstone in coll. IRSNB, figured specimens Pl. 44, Fig. 3-4 IST. 7050. Pl. 41, Fig. 6, Pl. 44, Figs 2-3.**Remarks:** The occurrence of this planktonic gastropod has much biostratigraphic significance. It is recorded here for the first time in the Belgian Miocene (identification by A.W. Janssen). Gürs & A.W. Janssen (2002, p. 125, table 7) distinguished a pteropod Zone 18 in the North Sea basin stratigraphy, covering the largest part of the range of *Vaginella austriaca*. This zone runs from the Vierlandian-Hemmoorian boundary to the Early Reinbekian

(North Sea basin) or from the Middle Burdigalian to the Langhian-Serravallian transition (international). The upper part of this Zone 18, corresponding to the Late Hemmoorian (18a) contains nine pteropod species in the North Sea basin, of which *Clio bellardii* Audenino, 1897 is the most significant. In the Doel section, only two further of these nine species (see next) occur. Although negative evidence is of little value, it could mean that the Doel sandstones belong to Zone 18 proper and not to 18a.

### Familia Limacinidae Gray, 1840

#### Genus *Limacina* Bosc, 1817

##### *Limacina* cf. *valvatina* (Reuss, 1862)

(Plate 45, Fig. 2)

**Material:** 1 specimen in sandstone in coll. IRSNB, IST 7042.

**Remarks:** This species, which is common in the Antwerp Sand Member, but very rare in the sandstones, has no stratigraphic significance, occurring from the onset of the Miocene to the Middle Tortonian (Late Langenfeldian).

##### *Limacina* cf. *mirostralis* (Kautsky, 1925)

(Plate 46, Fig. 3)

**Material:** 1 specimen in sandstone in coll. IRSNB, IST 7043.

**Remarks:** See previous species.

### 6.3. Conclusions

The complete molluscan fauna of the Deurganckdok Sandstone Bed supposed to belong to the Kiel Sand Member in Doel comprises only 46 species, which make it the less diverse in the Belgian Miocene. However, a large part of the fauna in the Edegem, Antwerp and Zonderschot Sand Members consists of shells smaller than 3 mm, which are found in sieving residues, but which are not recoverable or not identifiable in material collected in sandstone deposits, in which the shell material is often lost. On the other hand, it is not entirely an artefact, because also families with larger species, like Veneridae, Nassariidae and especially turritiform gastropods, show a low diversity in the sandstone. The same applies for the Deurne Sand Member sandstone.

The largest part of the molluscan fauna of the Doel sandstones is found also in the other Members of the Berchem Formation, less in the Diest Formation and the Breda Formation (the fauna of which is however not completely known, because only material of one boring was studied).

Four molluscan species however prove that the sandstones are intermediate in stratigraphic position between the Edegem and Antwerp Sand Members: the two *Glossus* species (common with the Edegem Sand Member) and the presence of *Semicassis b. bicoronata* (Antwerp Sand Member) together with *S. laevigata gliberti* (Edegem Sand Member). Two other species characterise only the Kiel Sand Member deposit: *Allogramma miocaenica* and *Vaginella austriaca*.

The Deurganckdok Sandstone Bed of the Kiel Sand Member and the Deurne Sand Member sandstones have in common several characters which could be of ecological origin:

- the paucity in Nassariidae;
- the low number of turritiform species;
- the dominance of Ficidae among the Gastropoda;
- the large number of *Spaniodontella* present;
- the large number of *Ensis* present;
- the low number of Veneridae, especially the absence of *Venus (Ventricoloidea) m. multilamella* Lamarck, 1818 or *Venus m. ringelei* Marquet, 2005.

Other species however clearly distinguish both sandstone deposits:

- *Glossus olearii* (Deurne Sand) versus *Glossus burdigalensis cypriniformis* and *Glossus lunulatus crassus* (Kiel Sand);
- very common *Glycymeris* (Kiel) against absence (Deurne);
- presence of *Pelecypora* (Kiel) against absence (Deurne);
- presence of large numbers of Cassididae (Kiel) against near absence (Deurne);
- occurrence of *Vaginella austriaca* (Kiel) against *Ireneia marqueti* A.W. Janssen, 1995 (p. 168, pl. 14, figs 1-3)(Deurne);
- absence of Aporrhaidae (Kiel) against common presence (Deurne).

It is however impossible to find a common element in the habitats of the taxa only found in the sandstone deposits or lacking in it, which could account for their distribution, also because complete groups (like Nassariidae and turritiform gastropods) inhabit a wide range of habitats. The difference can also be noted here, not explained.

The sandstone material is a thanatocoenocis, as is proven by the numerous open, flat lying specimens of *Ensis hausmanni*. Other bivalves also are preserved mostly as single valves or open bivalved specimens. Pteropods can be found covering sandstone surfaces. This points to transport, with selection of specimens according to weight. The wave action causing this transport was not so heavy as to damage the fragile *Ensis* or pteropod shells. Also selective transport can have contributed to the presence or absence of species in the Kiel Sand Member sandstone level.

Species	E	K	A	Z	B	D
<i>Leionuctula haesendoncki hanseata</i> (Kautsky, 1925)	x	R	-	-	-	-
<i>Yoldia glaberrima</i> (Von Münster, 1835)	x	R	X	x	x	-
<i>Yoldiella pygmaea</i> (von Münster, 1835)	x	R	X	x	x	x
<i>Glycymeris</i> ( <i>Glycymeris</i> ) <i>lunulata baldii</i> Glibert & Van de Poel, 1965	VC	VC	X	x	x	-
<i>Arcoperna sericea</i> (Bronn, 1831)	x	R	X	x	x	x
<i>Pinctada phalaenacea</i> (Lamarck, 1819)	-	R	X	x	x	x
<i>Korobkovia woodi</i> (Nyst, 1861)	x	R	X	x	-	-
<i>Pseudamussium lilli</i> (Pusch, 1837)	?	R	X	x	x	x
<i>Aequipeecten seniensis</i> (Lamarck, 1819)	x	R	X	x	-	x
<i>Hinnitis ercolaniana</i> Cocconi, 1878	S	X	X	x	-	x
<i>Diplodonta</i> ( <i>Diplodonta</i> ) <i>rotundata</i> (Montagu, 1803)	x	C	X	x	-	x
<i>Parvicardium straeleni</i> (Glibert, 1945) s. l.	x	R	X	x	-	x
<i>Laevicardium</i> ( <i>Habecardium</i> ) <i>dingdense</i> (Lehmann, 1892)	-	R	X	x	-	-
<i>Laevicardium</i> ( <i>Habecardium</i> ) <i>subturgidum</i> (d'Orbigny, 1852)	x	R	X	x	x	x
<i>Spisula subtruncata</i> auct. non Da Costa, 1778	x	R	X	x	x	x
<i>Ervilia pusilla</i> (Philippi, 1836)	x	R	-	-	x	-
<i>Ensis hausmanni</i> (Goldfuss, 1841)	x	VC	X	x	x	x
<i>Angulus posterus</i> (Beyrich in von Koenen, 1868)	x	R	X	x	-	x
<i>Abra antwerpensis</i> Glibert, 1945	x	R	X	x	x	x
<i>Arctica islandica islandica</i> (Linnaeus, 1758)	S	X	X	x	x	-
<i>Glossus burdigalensis cypriniformis</i> (Nyst in Dewalque, 1868)	x	C	X	-	-	-
<i>Glossus lunulatus crassus</i> (Nyst & Westendorp, 1839)	x	R	-	-	-	-
<i>Spaniodontella nitida</i> (Reuss, 1867)	x	VC	X	x	x	x
<i>Pelecycora polytropa nysti</i> (d'Orbigny, 1852)	x	R	X	-	-	-
<i>Panopea</i> ( <i>Panopea</i> ) <i>menardi kazakovae</i> Glibert & Van de Poel, 1966	x	R	X	x	x	-
<i>Cyrtodaria angusta</i> (Nyst & Westendorp, 1848)	x	C	X	x	-	x
<i>Hiatella</i> ( <i>H.</i> ) <i>arctica</i> (Linnaeus, 1767)	x	R	X	x	x	x
Teredinidae	x	R	X	x	x	x
<i>Allogramma miocaenica</i> nov. sp.	-	R	-	-	-	-
<i>Thracia</i> ( <i>Thracia</i> ) <i>inflata microgranosa</i> Marquet, 2005	x	R	X	x	x	-
<i>Ficus simplex</i> (Beyrich, 1856)	x	VC	X	x	x	x
<i>Ficus c. condita</i> (Brongniart, 1823)	x	VC	X	x	-	x
<i>Euspira helicina</i> f. <i>protracta</i> (Eichwald, 1830)	x	R	X	x	-	x
<i>Neverita josephina</i> olla (Sacco, 1891)	x	R	-	-	x	-
<i>Aporrhais dingdenensis</i> Marquet, Grigis, & Landau, 2002	x	R	X	x	x	-
<i>Semicassis</i> ( <i>Semicassis</i> ) <i>b. bicoronata</i> (Beyrich, 1854)	-	VC	X	x	-	-
<i>Semicassis</i> ( <i>Semicassis</i> ) <i>laevigatum gliberti</i> nov. subsp.	x	R	-	-	-	-
<i>Charonia tarbelliana</i> (Grateloup, 1840)	x	R	X	x	-	-
<i>Amyclina facki</i> (von Koenen, 1872)	x	R	X	x	x	-
<i>Haustellum inornatum</i> (Beyrich, 1854)	x	R	X	x	-	-
<i>Orthosurcula steinvorthi</i> (von Koenen, 1872)	x	R	X	x	x	-
<i>Gemmula hinschi</i> (Anderson, 1964)	-	R	-	x	-	-
<i>Acteon semistriatus</i> de Férussac, 1822	x	R	X	x	-	-
<i>Ringicula buccinea</i> auct. non Brocchi, 1814	x	R	X	x	x	?
<i>Cyllichna pseudoconvoluta</i> (d'Orbigny, 1852)	x	R	X	x	-	x
<i>Scaphander grateloupi</i> Michelotti, 1847	x	VC	X	x	x	-
<i>Vaginella austriaca</i> Kittl, 1886	-	VC	-	-	-	-
<i>Limacina</i> cf. <i>valvatina</i> (Reuss, 1867)	x	R	X	x	-	-
<i>Limacina</i> cf. <i>mirostralis</i> (Kautsky, 1925)	x	R	X	x	-	-

**Table 4.** Stratigraphic distribution of the species collected at Doel. E = Edegem Sand Member, K = Kiel Sand Member, A = Antwerp Sand Member, Z = Zonderschot Sand Member, B = Breda Formation, D = Deurne Sand Member. R = rare (1-10), C = common (11-50), VC = very common (more than 50); S = only in sand deposit, x = present at other localities or strata (in K), - = absent.

## 7. Conclusions générales

Ce travail signale en premier lieu, l'existence d'un paysage d'îlots mangroviens avec palétuviers et mélèzes qui s'est développé sur le sommet altéré de l'Argile de Boom qui constituait le littoral régional au début de notre Miocène pendant le dépôt des Sables d'Edegem, en second lieu, la mort par émergence et assèchement de cette mangrove, enfin un événement relativement modeste, une tempête de puissance modérée, un *coup de mousson*, qui engendra au milieu d'une passe entre îlots un dépôt de type *tempestite* qui livra une association faunistique originale associée à quelques débris végétaux de la mangrove disparue pendant le dépôt des Sables de Kiel.

### 7.1. Synthèse générale des données apportées par les divers auteurs

Seront successivement présentés un bilan floristique et faunistique, l'appréciation de l'âge relatif des strates impliquées et des phénomènes évoqués, les relations avec d'autres bassins européens et un petit résumé synthétique.

Les trouvailles botaniques, fongiques et animales peuvent se résumer comme suit. Les quelques 99 présences signalées dans ce travail sont nouvelles pour l'unité lithologique miocène principalement impliquée, à savoir les Sables de Kiel. Les composants sont de nature :

**Végétale :** 29 espèces de dinoflagellés, 1 chlorophycée marine, 4 algues marines *incertae sedis*, une rhizophoracée (*Bruguiera* sp.), une pinacée (*Larix* sp.), et 39 palynomorphes terrestres indéterminés. Soit un total de 36 espèces végétales identifiées (Suppléments 1. et 2).

**Fongique :** un mycélium indéterminé (Supplément 1).

**Animale :** un spongiaire varonginide (*Aplysina* sp. nouveau pour la Belgique), ichnofossiles de divers types d'annélides polychètes sédentaires (5 genres au moins sont présents), un ostracode loxoconche (espèce connue d'autres strates miocènes belges), un bryzoaire cupuladriiforme, cinq espèces d'échinides spatangiformes (tous nouveaux pour la strate impliquée), une espèce d'astérie (seulement connue du Miocène de Pologne centrale), soit un minimum de 14 taxa non malacologiques. Quelques 46 espèces de mollusques connues de diverses autres unités lithologiques miocènes belges, mais qui constituent une association originale pour cette strate. La présence d'une espèce de ptéropode est nouvelle pour la Belgique. Deux espèces de mollusques sont nouvelles pour la science. Le genre *Glossus* est divisé en espèces et sous-espèces ayant une implication stratigraphique. Deux odontocètes les accompagnent.

### Appréciation de l'âge relatif des strates étudiées et des phénomènes évoqués

La seule présence du ptéropode *Vaginella austriaca* permettait de considérer la formation de ces lithifications comme antérieure au dépôt des Sables d'Anvers (A.W. Janssen). Le degré d'évolution et l'association des autres mollusques confirmaient cette assertion (R. Marquet). Quelques dinoflagellés confirmaient que les strates sablo-argileuses glauconifères à *Arctica* et *Glycymeris* inférieures à l'horizon lithifié appartenaient bien aux Sables d'Edegem (S. Louwye), ce que la morphologie générale des mollusques évoqués laissait supposer (R. Marquet). Ces quelques données permettaient de resserrer la fourchette d'âge de ces dépôts à la durée du complexe Sables d'Edegem - Sables de Kiel, et plus vraisemblablement à leur période transitoire (J. Herman).

Enfin, l'étude détaillée des dinoflagellés (S. Louwye) d'un échantillon est venue confirmer l'attribution aux Sables de Kiel.

La complexité de l'intrication géologique des sédiments d'une phase régressive ou émergitive au sein de la masse des sédiments antérieurs est toujours difficile à débrouiller. En l'occurrence, les dépôts constitutifs des Sables d'Edegem ont été recouverts et localement incisés par ceux des Sables de Kiel. Des incidents divers ont pu survenir en différents lieux et temps, comme la tempestite locale du Deurganckdok (J. Herman).

Au Deurganckdok à Doel, la succession des divers événements semble avoir pu être établie de façon logique et relativement fiable (J. Herman), mais les intervalles de temps les séparant restent difficiles à préciser et recèlent encore bien des inconnues.

Le décès de la mangrove locale par apparente émergence et déshydratation est antérieur à la tempestite qui s'est déposée sur ses rives abandonnées et en a repris quelques éléments forts désagrégés. La désagrégation de ses éléments végétaux, feuilles, branches et troncs, a nécessité un certain laps de temps. Celui-ci fut vraisemblablement assez court vu le milieu tropical à subtropical, et subdésertique à l'arrière plan. Mais comment le chiffrer ? Le comblement des galeries fantômes de ses racines par le sable blanc continental désertique a dû s'effectuer avant un tassement éventuel du sol libéré de la pression exercée par les racines. Les débris aériens dispersés, le sol asséché encore rigide, les orifices radiculaires vides et les cavités non comprimées, le sable fin aura pu y couler et s'infiltrer au fur et à mesure des coups de vents porteurs.

Une autre possibilité à ne pas écarter et moins complexe est celle d'un lessivage intrasédimentaire (N. Vandenberghe).

La tempestite qui a mêlé échinides, astéries, mollusques et quelques autres composants faunistiques de fonds

intertidaux à infralittoraux sableux ou argileux au sein de petits rejets dans une passe entre îlots et sur l'estran est postérieure au décès de la mangrove, mais de combien d'années ou de siècles ? Les êtres ayant survécu au choc ont recréé un terrier où ont tenté de trouver refuge dans la partie la plus profonde des laisses résiduelles. Trois à quatre jours plus tard, ils étaient tous décédés et ensevelis sous un voile sableux très fin. S'il semble logique de considérer tous ces organismes comme autant de représentants de la faune des Sables de Kiel, dans quelle tranche de temps faut-il les insérer entre les 19 et 17 millions d'années précédentes, période durant laquelle les Sables de Kiel se seraient déposés (cf. N. Vandenberghe *et al.*, 2004, p. 168, fig. 7)?

### Relations particulières avec d'autres bassins européens

La présence des astéries goniastériformes *Ceramaster cf. polonicus* est le fait principal qui pousse à rechercher une liaison faunistique éventuelle avec les faunes miocènes badéniennes du Bassin de Korytnica des Holy Cross Mountains de la partie méridionale de la Pologne centrale. Quelques restes d'échinides spatangiformes du même bassin orienteraient également les recherches en ce sens, mais également (*Hemipatagus ocellatus*) avec le sillon rhodanien. Le ptéropode *Vaginella austriaca* est connu des bassins de la Mer du Nord, de l'Aquitaine et de la Paratethys.

### 7.2. Les Grès du Deurganckdok, nouvelle unité lithostratigraphique du Miocène belge

L'originalité faunistique et floristique de cet horizon est telle qu'il semble logique de lui attribuer une valeur lithostratigraphique. Les auteurs se proposent de le désigner sous le nom de: **Lit des Grès du Deurganckdok**.

#### Lit des Grès du Deurganckdok

**Derivatio nominis** : Le lieu de sa découverte, le Deurganckdok à Doel, Flandre-Orientale, Belgique.

**Stratus typicus** : Le point 14 E 283 dans la tranchée du dock,  $x$  : 143 050,  $y$  : 220 750,  $z$  : -20.50 m (DNG).

**Caractéristiques** : Horizon à formations gréseuses, carbonatées, glauconifères plus ou moins fossilifères.

**Singularités** : présence occasionnelle de squelettes d'astéries et de bois de rhizophoracées.

**Stratigraphie** : unité appartenant au Membre des Sables de Kiel de la Formation de Berchem, d'âge Miocène.

**Aire géographique** : Le Deurganckdok (stratotype), le Ring d'Anvers (grès fossilifères, A.W. Janssen), le Wilrijk-tunnel à Wilrijk (grès à ichnofossiles, observation J. Herman 1981), et quelques endroits du métro d'Anvers (grès sans précisions, communication verbale P. Laga).

## 8. Remerciements

Dans un pays où la recherche paléontologique compte plus de deux siècles d'intenses activités prospectives, les chercheurs sont toujours heureux de pouvoir présenter quelques nouvelles découvertes dues à leur propre passion et acharnement. Seuls, il eut été impossible pour les auteurs d'y être partout et tous les jours. Une vingtaine de chercheurs privés devenus autant d'amis les ont aidés à assurer au mieux le suivi de cet immense chantier qu'a engendré l'extension du port d'Anvers en rive gauche de l'Escaut, et ce depuis le creusement de l'écluse de Kallo, en 1971, jusqu'à l'achèvement du Deurganckdok, en 2004. Ceux-ci n'ont jamais manqué d'attirer l'attention des auteurs sur toute section semblant présenter un caractère singulier. C'est ainsi qu'il fut possible d'examiner en détail à l'affleurement diverses particularités de gisement ou d'associations faunistiques des divers terrains néogènes impliqués. En outre, ils nous ont toujours confié leurs documents photographiques, ouvert leurs collections particulières et autorisé examens et prises de vues de leurs échantillons. Bien des observations ou découvertes leurs sont dues. Certains sont décédés depuis, que ceci soit un hommage à leurs proches, que tous les autres trouvent en ces lignes un profond remerciement.

Pour leur collaboration scientifique et technique :

B. Berning (Graz Universität, bryozoaires), R. Boyen (MRAC, Tervuren, lames minces), J. Cillis (KBIN, Brussel, MEB), H. De Blauwe (KBIN, Brussel, bryozoaires), A. De Meulenaere (MRAC - ICT, Tervuren), L. Denkens (Smet-Dessel, données de forages), G. Dohmen (MRAC, Tervuren, photos digitales), M. Euler-Hovestadt (Terneuzen, traductions allemandes), F.M. Fernandez Alonzo (MRAC, Tervuren, Géo-informatique), K. Gürs (LANU, Flintbek, mollusques), J. Jagt (NHM, Maastricht, échinodermes), A.W. Janssen (Malta, ptéropodes), O. Lambert (IRSNB, Cétacés), K.D. Smits (EHSAL, Brussel, analyses statistiques), D. Spiegler (U. Kiel, bolboformes), E. Steurbaut (KBIN, Brussel, nannoplancton et lecture du manuscrit), T. Moorkens (Antwerpen, Foraminifères), S. Van Cauwenberghe (RUG, Gent, préparation dinoflagellés), N. Vandenberghe (KUL, Leuven, paleo-environnement et lecture du manuscrit), W.N. Verheyen (RUCA, Antwerpen, mollusques), H. Van Waes (Grimbergen, traduction anglaise et réalisation maquette), Wesselingh (NNM Naturalis, Leiden, mollusques), P. Willenz (IRSNB, Bruxelles, spongiaires) et K. Wouters (KBIN, Brussel, ostracodes).

Pour la réalisation des fouilles, suivi du chantier et prêt de matériel :

L. Anthonis, M. Bosselaers, L. Ceulemans, H. De Blauwe, H.P. De Bondt, B. D'Haese, H. Goossens, M. Grigis, T. Lambrechts, J.-P. Luybaerts, F. Mollen, F. Moorkens, F. Smet, F. Van Dingenen, R. Verkruijsen et E. Wille.

Pour les autorisations de fouilles et assistance technique sur chantier :

La Direction du Chantier du Deurganckdok, et en particulier Messieurs les ingénieurs. F. Aerts, J. Appaerts, et W. Thibaut. R. Sieckelincx (Doeldirectie), pour les plans de chantiers.

Les auteurs dédient ce travail au Dr. P. Laga (SGB) en hommages à ses travaux concernant la stratigraphie du Cénozoïque belge, et en l'occurrence du Néogène belge.

## 9. Références bibliographiques et bibliographie thématique

- ABEL, O., 1905. Les Odontocètes du Boldérien (Miocène supérieur) d'Anvers. *Mémoires du Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique*. Bruxelles. III : 6 – 155.
- ABBOTT, R.T., 1954. *American Seashells*. Van Nostrand Company Inc. Princeton. Toronto and London. 541 p., 40 pls., 100 figs.
- ABBOTT, R.T. & DANCE, S.P., 1998. *Compendium of Seashells*. Odyssey Publishing. El Cajon. California. 411 p.
- AKSORNKAOE, S. & PAPHAVASIT, N., 1993. Effect of sea level rise on the mangrove ecosystem in Thailand. *Malaysian Journal of Tropical Geography*. 24 (1/2) : 29-34.
- ANDERSON, H.-J., 1959. Die Muschelfauna des nordwestdeutschen Untermiozän. *Paläontographica*. A (4-6): 61-179.
- ANDERSON, H.-J., 1964. Die miocäne Reinbek-Stufe in Nord- und Westdeutschland und ihre Mollusken-Fauna. *Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen*. 14: 31-368.
- ARCHIVES DE LA CARTE GEOLOGIQUE DE BELGIQUE (Service Géologique de Belgique) : Descriptifs des forages in Dossier de la planchette Lillo 14 E, consultable à la Bibliothèque du SGB.
- ARNDT, W., 1935 : Porifera (Systematischer Teil). IIIa in GRIMPE, G. & WAGLER, E., Eds. : *Die Tierwelt der Nord- und Ostsee*. Berlin : 1-140.
- BALUK, W. 1995. Middle Miocene (Badenian) gastropods from Korytnica, Poland; Part II. *Acta Geologica Polonica*. 45 (3-4): 153-255.
- BALUK, W. & RADWANSKI, A., 1977. The colony regeneration and life habitat of free-living bryozoans, *Cupuladria canariensis* (Busk) and *C. haidingeri* (Reuss), from the Korytnica Clays (Middle Miocene; Holy Cross Mountain, Poland). *Acta geologica polonica*. Warszawa. 27(2) : 143-156.
- BALUK, W. & RADWANSKI, A., 1984. Middle Miocene (Badenian) free living Bryozoans from the Vienna Basin. *Annalen Naturhistorisches Museum Wien*. 86A : 13-40.
- BASAN, P.B. & FREY, R.W., 1977. Actual-paleontology and neoichnology of salt marshes near Sapelo Island, Georgia. In CRIMES T.P. & HARPER J.C. eds. Trace Fossils 2. *Geological Journal*, Special Issue. 9 : 41-70.
- BASSIOUNI, M. al A.-A., 1962. Ostracoden aus dem Mittelmiozän in NW-Deutschland. *Roemeriana*. Clausthal. 3 : 1-99, 9 pls. (Remarque : le nom arabe de l'auteur se transcrit également Basyuni).
- BELLAN, G., 2001. Polychaeta in COSTELLO, M.J. et al., 2001. *European register of marine species : a check-list of the marine species in Europe and a bibliography of guides to their identification*. Collection Patrimoines Naturels. Paris. 50 : 214-231.
- BERGQUIST, P.R., 1978. *Sponges*. Hutchison University Library. London. 268 p., 12 pls.
- BERGQUIST, P.R., 1980. A revision of the supraspecific classification of the orders Dictyoceratida, Dendroceratida and Verongida (class Demospongiae). *New Zealand Journal of Zoology*. Wellington. 7 : 443-503.
- BISHOP, J. D.D., 1987. Type and figured material from *The Pliocene Bryozoa of the Low Countries (LAGAALJ, 1952)* in the Collection of the Royal Belgian Institute of Natural Sciences. *Documents de travail IRSNB*, Bruxelles. 37 : 26 p.
- BÖGGEMANN, M., 1998. Polychaeten aus der Deutschen Bucht. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*. 202 : 315 p.
- BOSELAERS, M.; HERMAN, J.; HOEDEMAEKERS, K.; LAMBERT, O.; MARQUET, R. & WOUTERS, K., 2004. Geology and Palaeontology of a temporary exposure of the Late Miocene Deurne Sand Member in Antwerpen (N.Belgium). *Geologica Belgica*, 7/1-2 : 27-39.
- BRADY, G.S., 1878. A monograph of the Ostracoda of the Antwerp Crag. *Transactions of the Zoological Society of London*. London. 10(9) : 379-409.
- BRATTSTRÖM, H., 1941. Studien über die Echinodermen zwischen Skagerrack und Ostsee, besonders des Öresundes, mit einer Übersicht über die physische Geographie. *Undersökningar över Öresund*. 27 : 329 p.
- BRATTEGARD, T., & HOLTE, T., 1997. *Distribution of marine, benthic macroorganisms in Norway. A tabulated catalogue*. Preliminary Edition. Research Report for Directorate for Nature Management. Oslo. 409 p. (voir : Class Polychaeta – phylum Annelida : 115-129).
- BRIEN, P., 1973. *Les Démosponges in P.P. Grassé* : *Traité de Zoologie*. Paris. Masson. 3 (1) : 633-690.
- BROMLEY, R.G., 1990. *Trace Fossils : biology and taphonomy*. Special Topics in Palaeontology. 3. Cambridge University Press. 280 p.
- BURTON, M., 1963. *A Revision of the Classification of the Calcareous Sponges*. Trustees British Museum (Natural History). London. 693 p., 375 figs.
- BUSK, G., 1859. A monograph of the fossil Polyzoa of the Crag. *The Palaeontographical Society*. London. 136 p., 22 pl.
- CADEE, G.C., 1975. Lunulitiform Bryozoa from the Guyana Shelf. *Netherlands Journal of Sea Research*. 9(3-4) : 320-343.

- CANU, F. & BASSLER, R.S., 1927. Classification of the Cheilostomatous Bryozoa. *Proceedings of the United States National Museum*. Washington. 69 : 1-42.
- CANU, F. & BASSLER, R., 1929. Bryozoaires Eocènes de la Belgique. *Mémoire du Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique*. Bruxelles. 29 : 69 p., 5 pls.
- CANU, F. & BASSLER, R., 1931. Bryozoaires Oligocènes de la Belgique. *Mémoire du Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique*. Bruxelles. 50 : 27 p., 4 pls.
- CANU, F. & LECOINTRE, G., 1925-1934. Les Bryozoaires cyclostomes des Faluns de Touraine et d'Anjou. *Mémoires de la Société géologique de France*. Paris. Nouvelle Série: 1925, 2(3) : 1-18, pl. 1-5, 1927, 3(4) : 19-50, pl. 6-11, 1928, 4(3) : 51-82, pl. 12-15, 1930, 6(1) : 83-130, pl. 16-25, 1933, 8(2) : 131-178, pl. 26-35, 1934, 9(4) : 179-212, pl. 36-44. (Egalement publié en un seul volume : *Mémoire n°4*)
- CAVALLO, O. & REPETTO, G., 1992. Conchiglie fossili del Roero. Atlante Iconografico. *Associazione Naturalistica Piemontese*. 2: 1-251.
- CLARK, A.M., 1962. *Starfishes and their relations*. British Museum of Natural History. London. 119 p., 16 pl.
- CLARK, A.M. & DOWNEY, M.E., 1992. *Starfishes of the Atlantic*. Chapman and Hall. New York. 794 p.
- COOK, P.L. & CHIMONIDES, P.J., 1983. A short history of the Lunulite Bryozoa. *Bulletin of Marine Science*. 33(3) : 566-581.
- COSSMANN, M. & PEYROT, A., 1911. Conchologie Néogénique de l'Aquitaine. Suite. *Actes de la Société Linnéenne de Bordeaux*. 65 (2) : 51-98.
- COSSMANN, M. & PEYROT, A., 1923. Conchologie Néogénique de l'Aquitaine. Suite. *Actes de la Société Linnéenne de Bordeaux*. 75 (2) : 69-144.
- COTTEAU, G., 1880. Description des échinides tertiaires de la Belgique. *Mémoires couronnés et Mémoires des savants étrangers publiés par l'Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux Arts de Belgique*. Bruxelles. XLIII. 91 p., 6 pls.
- CTYROKY, P., 1965. *Lovenia mortenseni n. sp.*, a new Species of Spatangoid Echinoid from the Miocene of the Vienna Basin. *Sbornik Geologických Ved*. Praha. 5 : 107-121, figs. 1-6, pl. 1-6.
- DAL PIAZ, G., 1900. Sopra alcuni resti di *Squalodon* dell'arenaria miocenica di Belluno. *Palaeontographia italica*. Pisa. 6: 303-314.
- DEFRANCE, J. L. L., 1823. in *Dictionnaire des Sciences naturelles*. Ed. Cuvier. Le Normant -Paris et Levrault -Strasbourg (60 volumes parus entre 1804 et 1830 sous la direction de Cuvier).
- DEFRANCE, J. L. L., 1827. in *Dictionnaire des Sciences naturelles*. Ed. Cuvier. Le Normant. Paris et Levrault. Strasbourg (60 volumes parus entre 1804 et 1830 sous la direction de Cuvier).
- DE MEUTER, F.J. & LAGA, P., 1976. Lithostratigraphy and biostratigraphy based on benthonic foraminifera of the Neogene deposits of northern Belgium. *Bulletin de la Société belge de Géologie*. Bruxelles. 85 (4): 133-152.
- DEWALQUE, G., 1868. *Prodrome d'une description géologique de la Belgique*. Librairie polytechnique de Decq. Bruxelles & Liège. VIII + 442 pp.
- DICKINSON, M.G., 1945. *Allan Hancock Pacific Expedition. Sponges of the Gulf of California*. 251 p.
- DIJKSTRA, H.H. & JANSSEN, A.W., 1988. Capedocten annelus gen. et spec. nov. (Mollusca, Bivalvia: Pectinidae) from the Antwerp Sands (Miocene, Hemmoorian) in Belgium. *Basteria* 52 (4-6): 175-187.
- DU BUS, B. A. L., 1872. Mammifères nouveaux du Crag d'Anvers. *Bulletin de l'Académie Royale des Sciences de Belgique*. Bruxelles. 34: 491-509.
- DURHAM, J. W., 1966. Echinoidea - Ecology and Paleoecology. in MOORE, R.C., 1966 : *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part U. Echinodermata* 3(1) Lawrence (Kansas). 695 p. (voir pp.257-269).
- ELLISON, J.C., 1993. Mangrove retreat with rising sea-level, Bermuda. *Coastal and Shelf Science*. 37 : 75-87.
- ERÜNAL-ERENTÖZ, L., 1958. *Mollusques du Néogène des Bassins de Karaman, Adana et Hatay (Turquie)*. Thèses présentées à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris, 196 p. Publications de l'Institut d'études et des recherches minières de Turquie, Serie C, 4: 1- 232, Ankara.
- FAUVEL, P., 1959. Annélides in *Traité de Zoologie. Anatomie, Systématique, Biologie*. P.P. GRASSE. Paris. Masson Ed. V.1: Annélides polychètes. Ecologie et Systématique. 13-196.
- FERRERO MONTARA, E., MONTEFAMEGLIO, L., NOVELLI, M., OPESSO, G., PAVIA, G. & TAMPPIERI, T., 1984. Catalogo dei tipi e degli esemplari figurati della collezione Bellardi e Sacco. Parte II. *Museo Regionale di Scienze Naturali. Cataloghi*. 7: 1-484.
- FURUKAWA, K. & SHIGEYUKI, B., 2005. Effects of sea level rise on Asian mangrove forests. *Port and Harbour Research Institute. Ministry of Transport Report Yokosuka*. 5pp. <http://www.survas.mdx.ac.uk/pdfs/3furukaw.pdf>
- GERLACH, S.A., 1958. Die Mangroveregion tropischer Küsten als Lebensraum. *Zeitschrift für Morphologie und Ökologie der Tiere*. 46 : 636-730.
- GERVAIS, P., 1861. Sur différentes espèces de vertébrés fossiles observées pour la plupart dans le Midi de la France. *Mémoires de l'Académie des Sciences et des Lettres de Montpellier*. Montpellier. 16: 117-132.
- GLIBERT, M., 1945. Fauna Malacologique du Miocène de la Belgique. I. Pélécy-podes. *Mémoires du Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique*. 103: 1-263.
- GLIBERT, M., 1952. Fauna Malacologique du Miocène de la Belgique. II. Gastropodes. *Mémoires de l'Institut royal d'Histoire naturelle de Belgique*. 121: 1-197.
- GOFAS, S., LE RENARD, J. & BOUCHET, P., 2001. Mollusca in COSTELLO, M.J., & alii, 2001. *European register of marine species : a check-list of the marine species in Europe and a bibliography of guides to their identification*. *Collection Patrimoines Naturels*. Paris. 50 : 180-213.
- GRATELOUP, J. P. S. 1840. Description d'un fragment de mâchoire fossile, d'un genre nouveau de reptile (sau-

- rien), de taille gigantesque, voisin de l'*Iguanodon*, trouvé dans le Grès Marin, à Léognan, près de Bordeaux. *Actes de l'Académie Nationale des Sciences de Bordeaux*. Bordeaux. 2: 201-210.
- GÜRS, K. & JANSSEN, A.W., 2002. Revised Pteropod Biostratigraphy for the Miocene of the North Sea Basin. Northern European Cenozoic Stratigraphy; Proceedings of the eight Biannual Meeting of the RCNNS/RCNSP, Flintbek. pp. 117-131.
- HÄNTZEL, W., 1975. *Trace Fossils*, (second edition). In Treatise on Invertebrate Palaeontology. Part W. Miscellaneous (Supplement 1). : XXI + 269 p.
- HARTMANN-SCHRÖDER, G., 1996. *Annelida, Borstenwürmer, Polychaeta in Die Tierwelt Deutschland*. 58 : 648p., 295 figs.
- HAYWARD, P.J., 2001. Bryozoa (Ectoprocta) in COSTELLO, M.J., & alii , 2001. *European register of marine species : a check-list of the marine species in Europe and a bibliography of guides to their identification*. Collection Patrimoine Naturels. Paris. 50 : 325 - 333.
- HAYWARD, P.J. & RYLAND, J.S., 1998. Cheilostomatous Bryozoa. Part I. Aetioidea-Cribrilloidea. *Synopses of the British Fauna (New Series)*. 10 (2d Ed.) : 366 p., 120 figs.
- HAYWARD, P.J. & RYLAND, J.S., 1999. Cheilostomatous Bryozoa. Part II. Hippothooidea-Celleporoidea. *Synopses of the British Fauna (New Series)*. 14 (2d Ed.) : 416 p., 184 figs.
- HEERING, J., 1944. Die Oberoligocänen Bivalven (mit Ausnahme der Taxodonta) aus dem Peelgebiet (Die Niederlande). *Mededelingen van de Geologische Stichting*. C-IV-I-4: 1-48.
- HERRERA-CUBILLA, A., DICK, M.H., SANNER, J. & JACKSON, J.B.C., 2006. Neogene Cupuladriidae of tropical America. I : Taxonomy of recent *Cupuladria* from opposite sides of the Isthmus of Panama. *Journal of Paleontology*. 80(2) : 245-263.
- HINSCH, W., 1962. Die Molluskenfauna des Mittelmiozäns von Twistingen und Woltrup. *Geologisches Jahrbuch*. 80: 295-312.
- HOGARTH, P.J., 1999. *The Biology of mangroves*. Oxford University Press. New York. 76 p.
- HÖMES, M., 1856. Die fossilen Mollusken des Tertiärbeckens von Wien, 1. Band: Univalven. *Abhandlungen des kaiserlich-königlichen Geologischen Reichsanstalt*. 3: 1-479.
- HOOPER, J.N.A. & VAN SOEST, R.W.M., 2002. *Systema Porifera. A guide to the Classification of Sponges*. Kluwer Academic/Plenum Publ., New York. 2 Volumes. 48 + 1708 p. 1. : *Introduction and Demospongiae*. 2. *Calcarea, Hexactinellida, Sphinctozoa, Archaeocyatha, unrecognizable taxa and Index*.
- HYATT, A., 1874. Revision of the North American Poriferae ; with remarks upon foreign species. *Memoirs of the Boston Society of natural History*. Boston (USA). Part I (1874) : 399-408.
- HYATT, A., 1877. Revision of the North American Poriferae ; with remarks upon foreign species. *Memoirs of the Boston Society of natural History*. Boston. Part II (1877) : 481-554.
- JANSSEN, A.W., 1969. Beiträge zur Kenntnis des Miozäns von Dingden und seiner Mollusken-Fauna 2. *Geologica et Palaeontologica*. 3: 153-193.
- JANSSEN, A.W., 1984. *Mollusken uit het Mioceen van Winterswijk-Miste*. Een inventarisatie, met beschrijvingen van alle aangetroffen soorten. Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Nederlandse Geologische Vereniging, Rijksmuseum voor Geologie en Mineralogie. Leiden. 451 pp.
- JANSSEN, A.W., 1995. Systematic revision of holoplanc-tonic Mollusca in the collections of the „Dipartimento di Scienze della Terra“ at Torino, Italy. *Museo Regionale di Scienze Naturali Torino. Monografie* 17: 1-233.
- JAYATISSA, L.P., DAHDOUH-GUEBAS, S. & KOEDAM, N., 2002. A review of the floral composition of mangroves in Sri Lanka. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 138 (1) : 29-43.
- JONES, D.S., Ed., 2005. Marine Biodiversity of the Dampier Archipelago Western Australia 1998-2002. *Records of the Western Australian Museum*. Supplement n°66 : 412 p.
- JONES, D.S., 2005. *Exploration of the Marine Biodiversity of the Dampier Archipelago*. Report on the Results of the Western Australian Museum to explore the Marine Biodiversity of the Dampier Archipelago Western Australia 1998-2002: 27-50.
- JUNCOSA, A.M. & THOMLISON, P.B., 1988. A Historical and Taxonomic Synopsis of Rhizophoraceae and Anisophylleaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 75(4) : 1278-1295.
- KACZMARSKA, G., 1987. Asteroids from the Korytnica Basin (Middle Miocene, Holy Cross Mountains, Central Poland). *Acta Geologica Polonica*. Warszawa. 37 : 131-144.
- KAUTSKY, F., 1925. Das Miozän von Hemmoor und Basbeck-Osten. *Abhandlungen der Preussischen Geologischen Landesanstalt*. NF 97: 1-255.
- KEATING, R.C. & RANDRIANASOLO, V., 1988. The Contribution of Leaf Architecture and Wood Anatomy to Classification of the Rhizophoraceae and Anisophylleaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 75(4) : 1343-1368.
- KIKUCHI, T. , 1995. *Rapid sea level rise and mangrove habitat*. Institute for Basin Ecosystem Studies. Gifu University. 55 p.
- KLOS E. & HOLOHAN B.A., 1995. Observations on the ecology of the burrowing mud anemone *Cerianthopsis americanus* in Narragansett Bay, Rhode Island in Don Harper Jr. (ed.) *Diving for Science. Proceedings of the American Academy of Underwater Sciences. Fifteenth Annual Scientific Diving Symposium 5-8 October 1995. California Sea Grant*. 1995 : 43-49.

- KOEHLER, R., 1924-1927. Les Echinodermes des Mers d'Europe. I.-II. Doin Ed., Paris. I. (1924) : 362 p., pl. 1 à 9., II. (1927) : 339 p., pl. 10 à 19.
- KOJUMDGIEVA, E. & STRACHIMIROV, B., 1960. *Les fossiles de Bulgarie. VII Tortonien*. Académie des Sciences de Bulgarie. Sofia. 317 pp.
- KRAMP, P.L., 1934. Bryozoa. *Zoology of the Faroes*. 58 : 1-39.
- LAGAAIJ, R., 1952. The Pliocene Bryozoa of the Low Countries and their bearing on the marine stratigraphy of the North Sea Region. *Mededelingen van de Geologische Stichting*, Maastricht, Ser. C,V, n°5 : 218 p., 28 pls.
- LAGAAIJ, R., 1963. *Cupuladria canariensis* (Busk) portrait of a Bryozoa. *Palaeontology*. 6(1) : 172-217.
- LAMBERT, O., 2004. Systematic revision of the Miocene long-snouted dolphin *Eurhinodelphis longirostris* du Bus, 1872 (Cetacea, Odontoceti, Eurhinodelphinidae). *Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Sciences de la Terre*. Bruxelles. 74: 147-174.
- LAMBERT, O., 2005. Review of the Miocene long-snouted dolphin *Priscodelphinus cristatus* du Bus, 1872 (Cetacea, Odontoceti) and phylogeny among eurhinodelphinids. *Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Sciences de la Terre*. Bruxelles. 75: 211-235.
- LANDAU, B., BUE, A. & MARQUET, R., 2004. The Early Pliocene gastropoda (Mollusca) of Estepona, Southern Spain. Part 5: Tonnoidea, Ficoidea. *Palaeontos*. 5: 35-102.
- LENDENFELD, R. von, 1889. *A monograph of the horny sponges*. Trübner & Co. London. 936 p., 50 pls.
- LEVI, C., 1973. *Systématique de la classe des Demospongia (Demosponges)*. in P.P. Grassé : *Traité de Zoologie*. Paris. Masson. 3 (1) : 577-631.
- LIERL, H.-J., 1985. Der Miozäne Glimmerton von Gross Pampau (Kreis Herzogtum Lauenburg). Eine vorläufige Mitteilung. *Der Geschiebesammler*. 19 (1): 9-29.
- LOVEN, S., 1869. En ny art af släget Spatangus fraen Nordsjön. *Öfversigt af Kongliche Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar*. Stockholm. 9 : 733-735, pl.13.
- MACNAE, W., 1968. A general account of the fauna and flora of mangrove swamps and forests in the Indo-West-Pacific region. *Advances in Marine Biology*. 6 : 73-270.
- MACZYNSKA, S., 1977. Echinoids from the Korytnica Basin (Middle Miocene ; Holy Cross Mountains, Central Poland). *Acta Geologica Polonica*. Warszawa. 27 : 193-200.
- MACZYNSKA, S., 1987. A supplementary account on the echinoids from the Korytnica Basin (Middle Miocene; Holy Cross Mountains, Central Poland). *Acta Geologica Polonica*. Warszawa. 37 : 145-153.
- MARQUET, R., 1991. Recent temporary exposures of the Antwerpen Sands in the Antwerp City area: stratigraphy and fauna. *Contributions to Tertiary and Quaternary Geology*. 28 (1): 9-12.
- MARQUET, R., 1998. De Pliocene Gastropodenfauna van Kallo (Oost-Vlaanderen, België). *Publicatie van de Belgische Vereniging voor Paleontologie*. 2: 1-100.
- MARQUET, R., 2002. The Neogene Amphineura and Bivalvia (Protobranchia and Pteriomorpha) from Kallo and Doel (Oost-Vlaanderen, Belgium). *Palaeontos*. 2: 1-100.
- MARQUET, R., 2005. The Neogene Bivalvia (Heterodonta and Anomalodesmata) and Scaphopoda from Kallo and Doel (Oost-Vlaanderen, Belgium). *Palaeontos*. 6: 1-142.
- MASSEL, S.R., FURUKAWA, K. & BRINKMAN, R.M., 1999. Surface wave propagation in mangrove forests. *Fluid dynamics Research*. 24 : 219-249.
- MEINKOTH, N.A., 1995. *Field Guide to North American Seashore Creatures*. National Audubon Society. A. Knopf. New York. 813 p., 690 figs.
- MOORE, R., 1953. Bryozoa in Moore R. *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part G*. Lawrence. G : 156-158, 171-172, 227-229, 234.
- MOORE R.C., Ed., 1961. *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part Q*. Arthropoda 3, Crustacea, Ostracoda. University of Kansas Press. Lawrence (USA). 442 p.
- MOORE, R.C., 1966. *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part U*. Echinodermata 3(1-2). Lawrence (Kansas) : 695 p.
- MOORE, R.C. (ed.), 1969. *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part N Volume 2 (of 3) Mollusca 6 Bivalvia*. The Geological Society of America & The University of Kansas. Boulder. pp. 491-952.
- MORRISSON, P.F., 2005. *A general description of the subtidal habitats of the Dampier Archipelago*. Report on the Results of the Western Australian Museum to explore the Marine Biodiversity of the Dampier Archipelago Western Australia 1998-2002: 51-60.
- MORTENSEN, T., 1907. *Echinoidea II. The Danish Ingolf Expedition*. Hagerup. Copenhagen. IV (2) : 143 p., 19 pls.
- MORTENSEN, T., 1927. *Echinoderms of the British Isles*. Oxford University Press., 471 p., 269 figs.
- MOTHS, H., 1989. Die Molluskenfauna des miozänen Glimmertons aus Gross Pampau (Krs. Hzgt. Lauenburg, BRD). *Der Geschiebesammler*. 22 (3-4): 105-162.
- MOYES, J., 1965. *Les ostracodes du Miocène aquitain. Essai de paléocéologie stratigraphique et de paléogéographie*. Drouillard. Bordeaux. 339 p.
- NOSOWSKA, E., 1997. Asteroids from the Nawodzice Sands (Middle Miocene ; Holy Cross Mountains, Central Poland). *Acta Geologica Polonica*. Warszawa. 47(3-4) : 225-241.
- NYST, P.H., 1835. *Recherche sur les coquilles fossiles de la province d'Anvers*. Périchon. Bruxelles. III + 36 pp.
- NYST, P.H. & WESTENDORP, G.D., 1839. Nouvelles recherches sur les coquilles fossiles de la province d'Anvers. *Bulletin de l'Académie royale des Sciences de Bruxelles*. 6 (10): 393-414.
- PEREIRA DA COSTA, F.A., 1866. *Gastéropodes des dépôts tertiaires du Portugal*. Académie royale des Sciences. Lisbon. 252 pp.
- PINHEIRO, U.S. & HAJDU, E., 2001. Shallow-water *Aplysina* Nardo (Aplysinidae, Verongida, Demo-spong-

- iae) from Sao Sebastiao Channel and its environs (Tropical southwestern Atlantic) with a description of a new species and a literature review of other Brazilian records of the genus. *Revista brasileira. Zoologia*. 18(Suppl.1) : 143-160.
- POPPE, G.T. & GOTO, Y., 1991. *European Seashells. Vol. I. : Polyplacophora, Caudofoveata, Solenogaster, Gastropoda*. Christa Hemmen Verlag. Wiesbaden. 352 p., incl. 40 pls.
- POPPE, G.T. & GOTO, Y., 1993. *European Seashells. Vol. II. : Scaphopoda, Bivalvia, Cephalopoda*. Christa Hemmen Verlag. Wiesbaden. 221p., incl. 32 pls.
- RADWANSKI, A. & WYSOCKA, A., 2004. A farewell to Swiniary sequence of mass-aggregated, spine-coated echinoids, *Psammecchinus* and their associates (Middle Miocene ; Holy Cross Mountains, Central Poland). *Acta Geologica Polonica*. Warszawa . 54(3) : 381-399, 10 pls.
- RASMUSSEN, L.B., 1956. The Marine Upper Miocene of South Jutland and its molluscan Fauna. *Danmarks Geologiske Undersøgelse, II Raekke*. 81: 1-166.
- RINGELE, A., 1974. *Bijdrage tot de systematiek, de evolutie en de paleoecologie van Bivalvia uit Neogene afzettingen van Noord België*. Katholieke Universiteit Leuven, unpublished PhD thesis. 280 + 107 pp.
- ROTH, F. & HOEDEMAEKERS, K. (eds), 2005. The marine Gram Formation at Gram, Denmark: Late Miocene Geology and Palaeontology. *Palaeontos*. 7: 1-178.
- ROTHAUSEN, K., 1968. Die systematische Stellung der europäischen Squalodontidae (Odontoceti, Mammalia) *Palaeontologische Zeitschrift*. Stuttgart. 42: 83-104.
- SAMAII, T. & GIBBONS, M.J., 2005. Demospongiae taxonomy and biodiversity of the Benguela region on the west coast of South Africa. *African Natural History*. Durban. 1 : 1-96.
- SCHAEFER, W., 1972. Ecology and Palaeoecology of marine environments. *Oliver & Boyd Ed.*. Bristol. 568 p.
- SCHRAM, F.R., 1986. *Crustacea*. Oxford University Press. Oxford - New York. 606 p.
- SHEUE, C.-R., YONG, J.W.H. & YANG, Y.P., 2005. The *Bruguiera* (Rhizophoraceae) Species in the Mangroves of Singapore. Especially on the New Record and Rediscovery. *Taiwania*. 50(4) : 251-260.
- STENZEL, H.B., 1971. in Moore R., Ed. *Treatise on Invertebrate Palaeontology*. Mollusca 6. Bivalvia. N3. (953-1224).
- STRAUSZ, L., 1966. *Die Miozän-mediterranen Gastropoden Ungarns*. Akadémiai Kiadó. Budapest. 622 pp.
- SZCZECZURA, J., 1987. A new ostracod species, *Neomonoceratina chomentovensensis* sp. n., from the Korytnica Basin (Middle Miocene ; Holy Cross Mountains, Central Poland). *Acta geologica polonica*. Warszawa. 37(3-4) : 105-112.
- THOMAS, R.D.K., 1975. Functional morphology, ecology, and evolutionary conservatism in the Glycymerididae (Bivalvia). *Palaeontology*. 18(2) : 217-254, pl.38.
- TOPSENT, E.E., 1928. Spongiaires de l'Atlantique et de la Méditerranée. *Résultats des Campagnes Scientifiques accomplies sur son yacht par Albert I, Prince Souverain de Monaco, publiés sous sa direction*. Monaco. 74 : 376 p.
- UFFENORDE, H., 1981. Ostracoden aus dem Oberoligozän und Miozän des unteren Elbe-Gebietes (Niedersachsen und Hamburg, NW - Deutsches Tertiärbecken). *Palaeontographica. Abt. A*. 172(4-6) : 103-198. 10 pls.
- VAN BENEDEN, P.J., 1861. Un mammifère nouveau du crag d'Anvers. *Bulletins de l'Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux - Arts de Belgique*. Bruxelles. 30<sup>ème</sup> année, XII : 25-28.
- VAN BENEDEN, P.J., 1865. Recherches sur les mammifères du crag d'Anvers. Les Squalodons. *Mémoires de l'Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux - Arts de Belgique*. Bruxelles. XXXV : 85 p., 4 pl.
- VAN BENEDEN, P.J., 1869. Recherches sur les Squalodons. Supplément. *Mémoires de l'Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux - Arts de Belgique*. Bruxelles. XXXVII : 13 p., 1 pl.
- VANDENBERGHE, N., LAGA, P., LOUWY, S., VANHOORNE, R., MARQUET, R., DE MEUTER, F., WOUTERS, K. & HAGEMANN, H.W., 2005. Stratigraphic interpretation of the Neogene marine-continental record in the Maaseik well (49W0220) in the Roer Valley Graben, NE Belgium. *Memoirs of the Geological Survey of Belgium*. 52: 1-39.
- VANDENBERGHE, N., LAGA, P., STEURBAUT, E., HARDENBOL, J. & VAIL, P.R., 1998. Tertiary sequence stratigraphy at the southern border of the North Sea basin in Belgium. *SEPM Special Publication*. 60: 119-154.
- VANDENBERGHE, N., VAN SIMAEYS, S., STEURBAUT, E., JAGT, J.W.M. & FELDER, P.J., 2004. Stratigraphic architecture of the Upper Cretaceous and Cenozoic along the southern border of the North Sea Basin in Belgium. *Netherlands Journal of Geosciences / Geologie en Mijnbouw*. 83 (3): 155-171.
- VAN DER MARK, D., 1968. Eine neue Abra aus dem Miocän von Berchem bei Antwerpen. *Basteria*. 32 (4-5): 83-88.
- VAN SOEST, R.W.M., 2001 : Porifera in COSTELLO, M.J., & al. *European register of marine species : a check-list of the marine species in Europe and a bibliography of guides to their identification*. *Collection Patrimoines Naturels*. Paris. 50 : 85-103.
- VAN URK, R.M., 1971. Fossil Ensis species in the Netherlands. *Basteria*, 35 (1-4): 1-76.
- VAN VOORTHUYZEN, J.H., 1944. Miozäne Gastropoden aus dem Peelgebiete (Niederlande) (Rissoidea-Muricidae), nach Zittel's Einteilung 1924). *Mededeelingen van de Geologische Stichting*. C-IV-1-5: 1-116.
- VIGNEAUX, M., 1949. Révision des bryozoaires néogènes du Bassin d'Aquitaine. *Mémoires de la Société géologique de France*. Paris. Nouvelle Série. 28 : 155 pp., 11pls.

WELLS, H.W., WELLS, M.J. & GRAY, I.E., 1960. Marine sponges of North Carolina. *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society*. Raleigh. 76 : 200-245.

WILKINSON, I.P., 1980. Coralline Crag Ostracoda and their environmental and stratigraphical significance. *Proceedings of the Geological Association*. London. 91(4) : 291-306.

WOUTERS, K., 1978. Een systematische, biostratigrafische en paleobiologische studie van de Ostracoda uit Miocene afzettingen in Noord-Belgie. PhD Thesis KUL (unpublished). Leuven. 155 p. + 338 p., 48 pls.

Manuscrit déposé le 22.5.2006 et accepté pour publication le 28.8.2006.

## SUPPLÉMENT 1

# QUELQUES BOIS FOSSILES DU MIOCÈNE DE DOEL

H. DOUTRELEPONT

*Musée royal d'Afrique Centrale (MRAC), Préhistoire et Archéologie, Leuvensesteenweg 13, 3080 Teruren  
hugues.doutrelepont@skynet.be*

### 1. Les échantillons de bois miocènes du Deurganckdok à Doel

#### 1.1. Matériel examiné

Les trois échantillons examinés, sont centimétriques, allongés et subcylindriques, brun foncés d'aspect ligneux. Une fois dégagés de leur gangue de sédimentation, ils sont très fragiles avant leur dessiccation complète. Celle-ci les déforme et les rend durs et cassants.

Cette dessiccation à l'air entraîne par ailleurs une contraction différentielle due à la différence de résistance mécanique des tissus, ainsi qu'à leur degré de charge minérale. En ce cas précis cette charge différentielle est due à la pyritisation inégale des tissus. Les mouvements les plus importants sont ceux des parties les moins pyritisées.

La mise à l'air entraîne aussi une oxydation des pyrites avec formation de sulfates entraînant une dégradation des structures fines de l'échantillon comme l'examen microscopique a pu le montrer. Il y a donc grand intérêt à conserver les échantillons légèrement humides.

Certaines zones déformées sont le résultat d'une attaque fongique antérieure à l'enfouissement qui rendit le matériel plus spongieux et donc plus déformable car plus sensible aux différentes contraintes physiques imposées durant la phase de dépôt de l'échantillon.

La dessiccation se manifeste aussi par un retrait important et un délitage transversal, tangentiel et radial naturel offrant ainsi des faces d'observation classiques mais médiocres, car minéralisées secondairement par les sulfates de néoformation.

La plupart des échantillons ont été taraudés par des organismes xylophages, dont le volume des galeries a été préservé principalement dans l'axe longitudinal des échantillons (axe longitudinal du bois). On remarque un remplissage postérieur de celles-ci par du sédiment et une lapidification ultérieure bien marquée de ce matériel.

L'examen microscopique général des tissus confirme une attaque fongique antérieure à l'enfouissement, par la présence de mycélium fossile dans différents tissus.

L'observation occasionnelle des recoupements de ce mycélium par les galeries des xylophages, place cette attaque avant le taraudage.

La minéralisation par de la pyrite octaédrique en amas globulaires ou framboïdaux s'est développée en milieu réducteur au cours de phases anaérobiques de l'enfouissement des échantillons. Les amas pyriteux occupent principalement la lumière des vaisseaux, certains parenchymes et une partie de l'espace inter granulaire des galeries taraudées colmatées par des sédiments. Le développement des amas de cristaux de pyrite peut masquer les structures fines des tissus.

Les échantillons sont marqués par une morphologie d'abrasion et érosion superficielles typique des bois flottés.

#### 1.2. Méthodologie

Les échantillons ont été observés en microscopie optique, en lumière incidente, en fond noir ou fond clair. La saturation des couleurs en photographie a permis dans certains cas de renforcer le détail de certains caractères anatomiques importants. Les agrandissements linéaires varient entre 25 fois et 500 fois selon le caractère recherché et la possibilité d'examen optique offerte par l'échantillon.

Quand la cohésion et la grandeur de l'échantillon le permettent ce dernier sera fracturé manuellement afin de mettre en évidence les faces classiques d'examen anatomique. Chaque vue, transversale tangentielle et radiale par rapport à l'axe anatomique longitudinal du tronc sera décrit. Les rapports des tissus entre eux, leur dimensions, leur morphologie propre et leurs particularités permettront par différentes grilles, descriptions anatomiques et l'examen de lames minces de référence d'échantillons actuels, d'établir les critères de choix d'un ou plusieurs taxons. Elles permettront d'affiner selon l'état de l'échantillon et de son éventuelle ressemblance avec un taxon actuel, la proposition d'attribution à une famille, un genre et une espèce dans le meilleur des cas. L'étape suivante de la dénomination de l'échantillon fossile relève de la taxonomie paléontologique.

## 2. Position systématique de trois bois fossiles provenant des lithifications miocènes du Deurganckdok. Examen microscopique et description anatomique succincte

### 2.1. Echantillon 1 n° SGB 14E 283 - 1 (planche 11)

#### Aspect macroscopique

L'échantillon mesure 9.5 cm de longueur pour un diamètre moyen de 1.5 cm. C'est un morceau de fragment de tronc ou de branche d'un diamètre évalué à un peu plus de 10 cm. Son examen macroscopique révèle qu'il s'agit d'un bois de dicotylédone.

#### Examen microscopique

##### Section transversale

Les vaisseaux ont un diamètre tangentiel compris entre 30 et 80  $\mu\text{m}$ . Ils peuvent être solitaires, coalescents radialement par 2 ou 3, ou en coalescence tangentielle formant alors des groupes de 2 à 4 entités. Les éléments de vaisseaux constituant le tissu vasculaire ont une longueur de plus de 300  $\mu\text{m}$ . Le parenchyme vertical est paratrachéal et entoure irrégulièrement le corps du vaisseau. On observe quelques grosses cellules de parenchyme entourant partiellement le vaisseau.

##### Section tangentielle

Le parenchyme radial est composé de rayons épais de 3 à plus de 10 cellules. Les rayons sont hauts et dépassent 3mm. Ils sont hétérogènes de type 2a (codification de Kribs), surtout composés de cellules carrées et couchées. Leur densité est de 5 à 8 par  $\text{mm}^2$ .

Les rayons contiennent des cristaux rhomboédriques bien en place dans les cellules. Ils se différencient clairement des cristaux cubiques et octaédriques isolés ou en amas framboïdaux de sulfure de fer (pyrite) qui occupent les espaces intra et extra cellulaires des différents tissus. Ces derniers sont manifestement allochtones et traduisent les conditions successives de l'histoire du dépôt et de la fossilisation de l'échantillon.

Les cristaux rhomboédriques sont interprétés comme étant des formations autochtones restées en place et sont des pseudomorphoses d'oxalates de calcium préexistant naturellement dans le parenchyme radial.

##### Section radiale

Les ponctuations inter vasculaires sont scalariformes, serrées et marquées jusque dans la lumière des vaisseaux. Les perforations vasculaires sont scalariformes comprenant au moins 13 barres. Les ponctuations entre le parenchyme vertical et les vaisseaux sont ovales et petites. Les ponctuations entre le parenchyme radial et les vaisseaux sont plus grandes, légèrement obliques et marquées en relief sur les cellules des deux tissus de parenchyme. Certaines formations observées dans la lumière des vaisseaux sont supposées être des tilles.

La longueur exacte des fibres n'a pu être mesurée sur cet échantillon ; nous supposons qu'elle est supérieure à 0.9 mm. Les parois sont détériorées. Les déformations subies par ce tissu rendent difficile de définir son épaisseur originale. Certaines ponctuations ont pu être observées ; elles sont simples de 0.8 à 1  $\mu\text{m}$ .

#### Observations complémentaires

On observe la présence de mycélium dans les tissus parenchymateux et vasculaires dans les zones moins minéralisées en pyrite. La pyritisation partielle du bois a permis la bonne conservation de certaines parties de tissus dans leur forme et volume originaux, mais masque les fins détails anatomiques.

#### Position systématique

Les observations qualitatives des tissus, les mesures effectuées sur leurs éléments et leurs relations structurales conduisent, *vide* Metcalfe et Chalk 1950, à la famille des Rhizophoraceae et au groupe des *Bruguiera*, *Cerriops*, *Kandelia* et *Rhizophora*.

Dans ce groupe, le genre *Bruguiera* rassemble beaucoup de caractères relevés sur l'échantillon examiné. Une étude exhaustive des coupes anatomiques des bois des genres actuels de la collection de bois tropicaux du MRAC Tervuren conduit au même genre. Nous proposons la désignation : *Bruguiera* sp.

*Bruguiera* est un arbre qui se développe dans les mangroves des estuaires marécageux en milieu tropical.

### 2.2. Echantillon 2 n° SGB 14E 283 - 2 (planche 12)

#### Aspect macroscopique

L'échantillon mesure 7.5 cm de longueur pour un diamètre moyen de 1.5 cm. Il présente sur toute sa longueur des galeries cylindriques légèrement sinueuses serrées longitudinalement les unes contre les autres occupant ainsi la presque totalité de l'échantillon. Ces galeries creusées par un animal taraudeur ont été remplies du même sédiment que celui de la matrice gréseuse glauconifère de l'échantillon. Un peu de matière ligneuse subsiste entre les tubes supposés calcaires et attribuables à des mollusques térédiniformes. Les tubes dissous ne garantissent pas cette attribution. Les quelques structures vestigiales de bois minéralisées et mal conservées appartiennent à une dicotylédone.

#### Examen microscopique

##### Section transversale

La vue transversale montre des secteurs marqués par des rayons dont l'épaisseur comporte de 2 à 4 cellules allongées. Là où l'observation est possible, la lumière des fibres est plus ou moins fermée. Les vaisseaux, tangentiellement fort comprimés, comme le reste des tissus, ont tendance à s'assembler en groupes tangentiels de 2, ou de 4 à 6.

Quelques cellules de parenchyme paratrachéal ont été observées le long de certains vaisseaux.

Les tissus ligneux sont observables bien que fort comprimés par la rétraction, conséquence de leur dessiccation lors de la mise à l'air. La lumière des vaisseaux est fortement pyritisée.

Cette pyritisation se manifeste sous forme d'amas globuleux composés principalement de cristaux octaédriques qui tapissent et remplissent l'intérieur des vaisseaux.

#### *Section tangentielle*

Le parenchyme radial en vue tangentielle montre des rayons comportant plus de 30 cellules en hauteur et 3 ou 4 en épaisseur. Les rayons semblent homogènes et effilés vers leurs extrémités.

#### *Section radiale*

Les vaisseaux en vue radiale montrent sur certaines parties bien préservées des punctuations scalariformes et une perforation scalariforme.

#### *Observation complémentaires*

Comme pour l'échantillon précédent, nous observons dans la lumière des vaisseaux, des vestiges de mycélium antérieur à la minéralisation du bois.

#### **Position systématique**

Bien que les tissus soient de médiocre conservation, les caractères anatomiques observés rapprochent cet échantillon de la famille des Rhizophoraceae. Nous retrouvons comme pour l'échantillon 1:14 E 283 -1 des structures anatomiques semblables à *Bruguiera* et *Ceriops*. Nous proposons la désignation *Bruguiera* sp.

#### **2.3. Echantillon 3 n° SGB 14E 283 - 3** (planches 13, 46 et 47)

#### **Aspect macroscopique**

L'échantillon présente une structure de bois secondaire homoxylé caractéristique des conifères. La présence caractéristique de trachéides à punctuations aréolées confirme cette première observation.

Une partie de l'échantillon sera fracturée dans les trois directions caractéristiques pour l'analyse des structures ligneuses.

#### **Examen microscopique**

##### *Section transversale*

On observe des cernes de croissance avec un passage du bois final au bois initial plus ou moins bien marqué et la présence de canaux résinifères verticaux à cellules épithéliales épaisses, difficiles à observer sur l'échantillon. Ces canaux ne semblent pas être d'origine traumatique. Ils sont peu nombreux.

Les canaux résinifères verticaux sont des caractères de la famille des Pinaceae que nous pourrions confirmer par l'observation de canaux horizontaux en section tangentielle.

##### *Section tangentielle*

Les rayons (parenchyme radial) sont hauts (parfois plus de 20 cellules). Les cellules sont légèrement ovales. Les rayons peuvent avoir de courtes plages larges de deux cellules. Certains rayons s'élargissent en fuseaux montrant la présence d'un canal résinifère horizontal. On peut remarquer aussi la présence de parenchyme vertical.

L'ensemble de ces caractères confirme l'échantillon dans la famille des Pinaceae. Le canal résinifère légèrement décentré, la présence de cellules épithéliales épaisses et nombreuses et la présence de parenchyme vertical, nous dirige vers le groupe des Abietinoideae dans lequel deux genres, de structures fort proches, seront retenus : *Picea* et *Larix*.

##### *Section radiale*

Nous basant sur l'observation de la section radiale et sur la description de différents auteurs, nous allons tenter de confirmer et préciser le genre, *Picea* ou *Larix*.

Les trachéides peuvent montrer une double rangée de punctuations aréolées et nous observons des punctuations picéoides dans les champs de croisement. L'examen systématique des structures des deux genres, nous amène à choisir le genre *Larix*.

#### **Position systématique**

Nous retenons la présence d'un bois de conifère de la famille des Pinaceae du groupe des Abietinae et plus précisément du genre *Larix* Miller, 1754.

L'espèce est une démarche plus délicate étant donné qu'il s'agit d'un fossile et que toutes les démarches d'analyses réalisées sont faites en fonction de descriptions de bois actuels avec la réserve que cela implique. Cependant rien n'interdit de tenter de rapprocher l'espèce fossile d'une espèce actuelle.

#### **Complément concernant la détermination du bois de *Larix***

Après comparaison avec les bois des espèces actuelles du genre *Larix*, trois espèces retiennent l'attention sans pour autant avoir toutes les caractéristiques observées; Les structures qui définissent l'anatomie de ces bois sont celles d'êtres vivants actuels réagissant à leur milieu et présentant une certaine variabilité. Les espèces de *Larix* retenues sont les suivantes : *Larix gmelini* (Rup.) Litv., *Larix lyalii* ParI., *Larix occidentalis* Nuttall. *L. gmelini* appartient à la forêt des plaines circumboréales (Eurasie, avec pour limite isotherme nord 13°C. en juillet et l'isotherme sud 18°C. en juillet). Les autres espèces sont américaines et peuvent s'hybrider. *L. Lyalii* pousse en des étages plus élevés et de climat nettement plus froid.

Nous retenons l'espèce : *Larix occidentalis* Nuttall pour le nombre élevé de caractères anatomiques communs avec ces fossiles et sa souplesse écologique ou très grande adaptabilité.

### 3. Bibliographie

- BOUREAU, E., 1957: *Anatomie végétale*. Presses universitaires de France. Paris. 3 volumes.
- JACQUIOT, C., 1955 : *Atlas d'anatomie des bois de conifères*. Institut national du bois - Centre technique du Bois. Paris.
- GREGUSS, P., 1955: *Xylotomische Bestimmung der heute lebenden Gymnospermen*. Akademiai Kiado. Budapest. 308 p.
- GREGUSS, P., 1972 : *Xylotomi of living Conifers*. Akademiai Kiado. Budapest. 501 p.
- ILIC, J., 1991 : *CS/RD. Atlas of hardwoods*. Springer-Verlag. Berlin - Heidelberg - New-York. 525 p.
- METCALFE, C.R. & CHALK, L., 1950 : *Anatomy of Dicotyledons*. Clarendon Press. Oxford. 2 vols. 1500 p.

## SUPPLÉMENT 2

## DINOFLAGELLATE CYSTS OF A LOWER MIOCENE SEQUENCE AT DOEL

S. LOUWYE &amp; K. MERTENS

*Research Unit Palaeontology, Ghent University, Krijgslaan 281/S8, 9000 Gent, Belgium.*

### 1. Introduction

A large temporary outcrop – the Deurganckdok – in the Neogene of northern Belgium displayed the Pliocene Kattendijk and Lillo formations resting unconformably on Oligocene clays. However, a glauconitic sandstone with Miocene macrofossils was encountered in a few places in the Deurganckdok outcrop (see Figs 1 and 2). The aim of this contribution was to relatively date the Miocene sandstone through a biostratigraphic analysis using dinoflagellate cysts.

### 2. Material and method

The palynological preparation of 50.15 g of sediment followed standard maceration techniques involving demineralisation with HCl and HF for the removal of respectively the carbonates and silicates. No oxidation, alkali treatment or ultrasound treatment was applied since these can damage the cysts. The residue was sieved on a 20 µm nylon mesh, and stained with safranin. A total number of 287 dinoflagellate cyst specimens were recorded through a systematic scan of a slide. Another slide was scanned for rare and well-preserved specimens. The diversity of the recorded assemblage is good: a total of 34 in situ marine palynomorph species was recorded (29 dinoflagellate cyst species, 4 marine algae incertae sedis and 1 green alga). Reworking of pre-Neogene species is moderate. 39 terrestrial palynomorphs – mainly bisaccate pollen – were recorded. The preservation of the palynomorphs is moderate to good, although cysts with protoperidinioid affinity are rare. This might indicate mild post-depositional oxic conditions which affected or possibly destroyed part of the protoperidinioid cysts. The species of the genera *Spiniferites* and *Achomosphaera* are not differentiated but grouped together, since – apart from a few species – since their low biostratigraphic in the Neogene. Taxonomy follows Fensome & Williams (2004).

### 3. Biostratigraphy, relative dating and correlation

The biozonation with dinoflagellate cysts defined by de Verteuil & Norris in the Miocene deposits of the

Salisbury Embayment (eastern Coastal Plain, U.S.A.) already proved to readily applicable to the Miocene sediments of the southern North Sea Basin (Louwye et al. 2000). Their DN2 *Sumatradinium soucouyantiae* Interval Zone is defined from the highest occurrence (HO) of *Chiropteridium galea* to the HO of *Exochosphaeridium insigne*. Common species in this zone are *Apteodinium spiridoides* and *Distatodinium paradoxum*. The presence to common occurrence of the eponymous species is furthermore characteristic, and the zone is furthermore typified by the HO of some early Neogene species such as *Cerebrocysta satchelliae* and *Stoveracysta conerae*. The absence of the latter two species and the presence of *E. insigne* in our study material indicates that our sample holds the upper part of the DN2 Zone. Noteworthy is the co-occurrence of Salisbury Embayment, *S. druggii* only appears in the overlying DN3 Interval Zone. According to de Verteuil & Norris (1996), the upper part of the DN2 Interval Zone has an early Burdigalian age. The *Sumatradinium druggii* and *E. insigne*, a phenomenon also noted in the Kiel Sands Member (Berchem Formation) in the Antwerp City area (LOUWYE et al., 2000). In the type area of the zonation, the absence of index species such as *Labyrinthodinium truncatum* and *Cerebrocysta poulsenii* excludes a younger age (late Burdigalian or Middle Miocene age).

The Miocene Berchem Formation in the type area – Berchem – has been analysed biostratigraphically with dinoflagellate cysts by Louwye et al. (2000). An analogue dinoflagellate cyst assemblage was encountered in the upper part of the decalcified Kiel Sands Member in the sections “Antwerpen – Van Rijswijkklaan” and “Berchem – Grote Steenweg”, and also in the basal part of the (calcareous) Antwerpen Sands Member in the section “Antwerpen – Kievitstraat” (De Meuter *et alii* 1976). Louwye *et alii* (2000) considered the three sections to be of early Burdigalian age, and concluded that the sedimentary difference between both sections lies only in a different glauconite content and the presence or absence of calcareous fossils, i.e. the spatial distribution of the decalcification front. The dinoflagellate cyst assemblage found in the underlying Edegem Sands Member by Louwye (2005) has a slightly older age.

#### 4. Recorded palynomorphs

Raw counts are given between brackets of the palynomorphs recorded during the count. Palynomorphs recorded outside the routine counting are followed by an asterisk.

Dinoflagellates :

*Apteodinium australiense\**, *Apteodinium spiridoides* (4), *Brigantedinium?* spp. ind. (3), *Dapsilidinium pseudocoligerum* (1), *Dinopterygium cladoides* (1), *Distatodinium paradoxum* (6), *Echinidinium* sp. ind. (1), *Exochosphaeridium insigne* (3), *Lingulodinium machaerophorum machaerophorum* (4), *Lingulodinium multivoirgatum\**, *Lejeunecysta* sp. ind. (4), *Melitasphaeridium choanophorum* (2), *Operculodinium centrocarpum centrocarpum* (10), *Operculodinium israelianum* (3), *Operculodinium longispinigerum\**, *Operculodinium multivoirgatum\**, *Operculodinium piaseckii\**, *Pentadinium laticinctum laticinctum\**, *Pyxidinospis tuberculata\**, *Pyxidinospis* sp. ind.\* , *Reticulatosphaera actinocoronata* (3), Reworked pre-Neogene dinoflagellate cysts (6), *Selenopemphix brevispinosa* (1), *Selenopemphix nephroides* (1), *Selenopemphix quanta* (2), *Sumatradinium druggii* (1), *Sumatradinium soucouyantiae* (1), *Systematophora placacantha* (90), *Tectatodinium pellitum\**, *Tuberculodinium vancampoae\**.

Marine algae incertae sedis :

*Cyclopsiella granosa/elliptica* complex\*, *Nannobarbophora gedlii\**, *Paralecaneilla indentata* (2), Small spiny acritarch\*.

Green algae :

Tasmanites (1).

Terrestrial palynomorphs :

Pollen – spores (38).

#### 5. References

- DE MEUTER, F., WOUTERS, K. & RINGELE, A., 1976. Lithostratigraphy of Miocene sediments from temporary outcrops in the Antwerp City area. *Geological Survey of Belgium Professional Paper*, Bruxelles.1976/3: 19 pp.
- DE VERTEUIL, L. & NORRIS, G., 1996. Miocene dinoflagellate stratigraphy and systematics of Maryland and Virginia. *Micropaleontology*, Supplement 42: 1-172.
- FENSOME, R. A. & WILLIAMS, G. L., 2004. *The Lentini and Williams Index of Fossil Dinoflagellates 2004 Edition*. AASP (American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation) Contributions Series Number, 42: 1-909
- LOUWYE, S., DE CONINCK, J. & VERNIERS, J., 2000. Shallow marine Lower and Middle Miocene deposits at the southern margin of the North Sea Basin (northern Belgium): dinoflagellate cyst biostratigraphy and depositional history. *Geological Magazine*. London. 137(4): 381-394.
- LOUWYE, S., 2005. The Early and Middle Miocene transgression at the southern border of the North Sea Basin (northern Belgium). *Geological Journal*. London. 40(4) : 441 – 456.

## PLANCHES 1 à 47

### Remarques

**Collections.** A l'exception de quelques pièces de collections particulières, aimablement prêtées pour examen, prises de vues et autorisation de publication, les échantillons figurés font partie des collections du Département du Service géologique de Belgique ou du Département de Paléontologie de l'IRSNB. Ces deux Départements ont des codifications différentes, en voici le décryptage.

**Indexation des Collections du Service Géologique de Belgique.** L'échantillon est désigné d'après sa provenance géographique (*Archives du S.G.B.*), exemple : Planchette géologique 1/40.000 n°14, moitié *Est* (Lillo), point d'observation 283, l'échantillon n°1 de ce site sera désigné : *SGB 14 E 283 - 1*.

**Indexation des Collections du Département Paléontologie.** Les spécimens figurés appartiennent à la série *Invertébrés Secondaires et Tertiaires*. Chaque spécimen est porteur de son numéro d'inventaire, exemple : *IST. 7023*.

**Sources iconographiques :** Hormis quelques précieux clichés de terrain pris par le Dr. T. Moorkens et deux macropotos dues à M. H.P. De Bond, tous les clichés macroscopiques ont été réalisés et retouchés par les auteurs. Les clichés MEB ont été réalisés à l'IRSNB (Bruxelles). Les clichés microscopiques concernant l'anatomie des bois ont été réalisés au MRAC (Tervuren) par H. Doutrelepon.

### Abbreviations utilisées :

Coll. EW : Collection Eric Wille  
Coll. FS : Collection Frans Smet  
Coll. FV : Collection Frank Van Dingenen

**Planche 1 : Vues du site**

1. Septembre 2001. Flanc occidental du Deurganckdok *Deel II*. Vue du profil dans le secteur central du chantier.

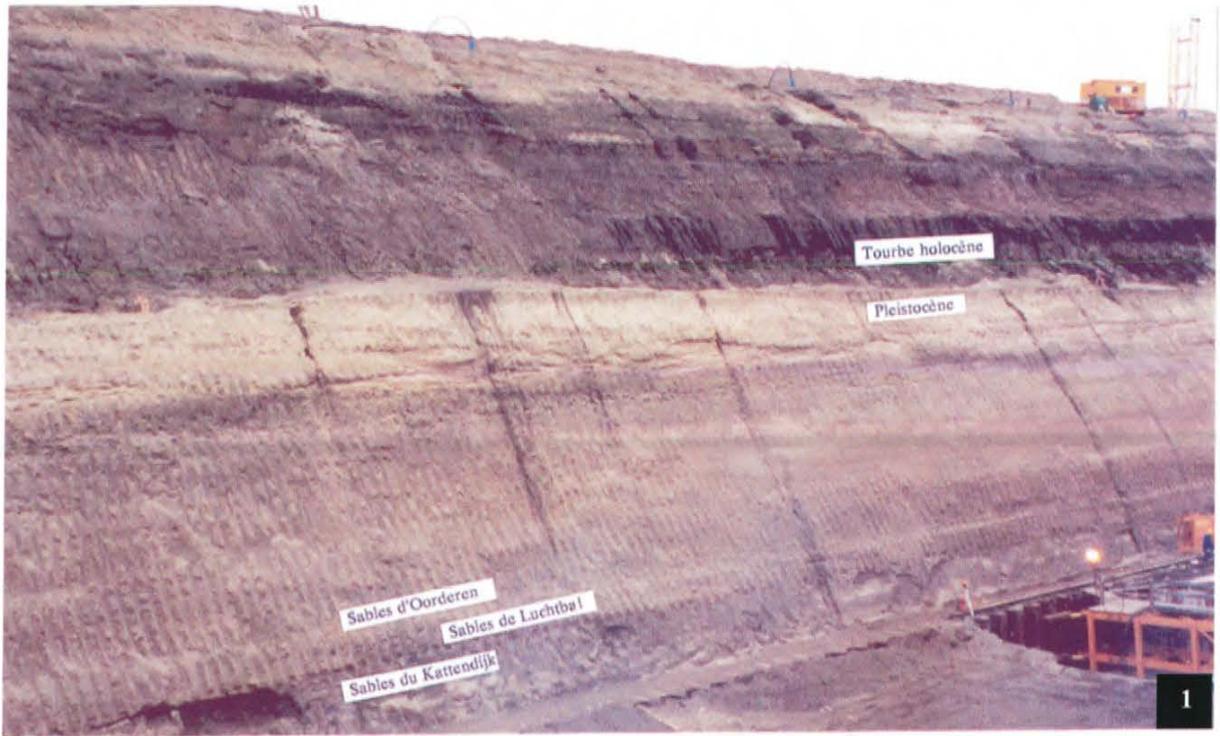
La partie inférieure des Sables du Kattendijk est masquée par le coffrage métallique. Le biseau de Sables du Luchtbal a en ce secteur une épaisseur qui varie de 0m80 à 1m05. La présence de ce biseau de lumachelle compacte de ces sables a empêché la formation des figures sédimentaires dites de type *loadcast* qui marquent habituellement en cette région la base des Sables d'Oorderen.

Le Gravier de base des Sables du Kattendijk et le contact avec le Miocène sont à quelques 50cm sous la base du radier. La surface d'extension du radier ne peut être perturbée. La pente des couches permet de supposer que deux mois d'avancement du chantier permettront d'accéder au niveau sans déranger les fondations du radier.

2. Décembre 2001. Vue plongeante ENE de la première fouille du contact des Sables du Kattendijk (Pliocène) sur les sables miocènes.

Cette vue montre le secteur, situé un rien plus nord, choisi et préparé pour opérer une première campagne de fouilles du Gravier de base des Sables du Kattendijk et rencontrer le sommet du Miocène. Deux petites fouilles préliminaires ont permis de localiser le Gravier de base à ras du radier et ont démontré sa richesse en restes de vertébrés marins bien conservés. Le Miocène semble stérile.

Un déblaiement par bandes de plus ou moins dix mètres sur toute la largeur du fond du chantier est programmé avec l'accord de la direction du chantier. Les sédiments seront enlevés et tamisés sur mailles de 10, 5, 2.5 et 0.5 mm. Après examen du contact avec les sédiments miocènes sous-jacents, le fond de la fouille sera égalisé et nivelé afin d'assurer la stabilité du fond de chantier. Les premières lithifications porteuses d'astéries seront découvertes en ce secteur.



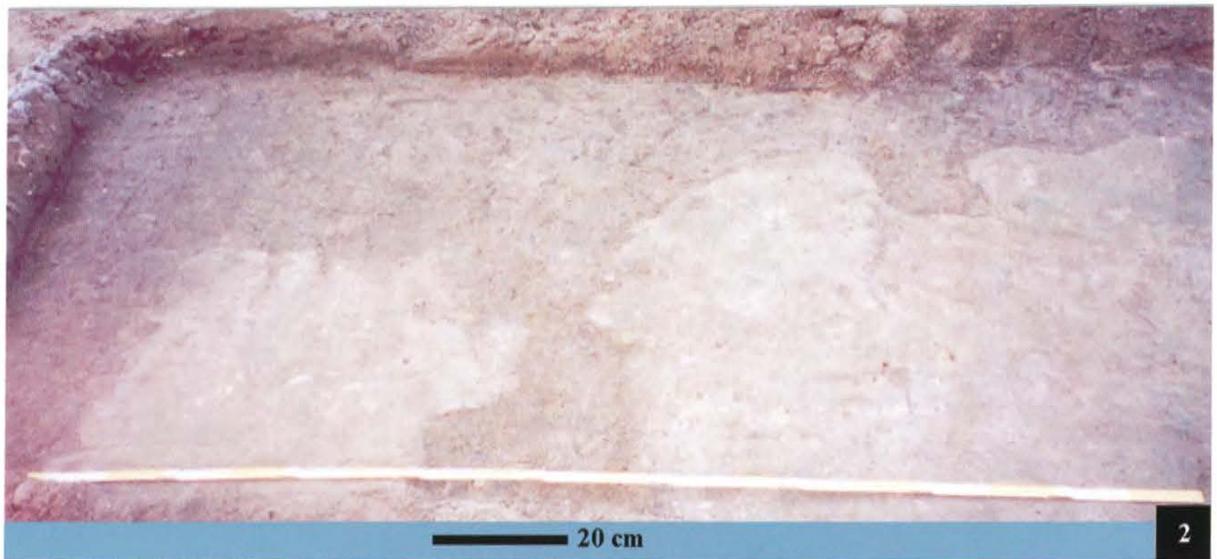
**Planche 2 : Détails des fouilles**

1a -b, 2 et 3 : Fouille du 08-09. 12. 2001. La première bande , près de 160m<sup>2</sup> de surface, a été prospectée et quelques 25m<sup>3</sup> de sédiments enlevés et tamisés. Deux vues (1a-1b) du secteur oriental de la fouille avant égalisation et nivellement, et détails (2 et 3) de la surface du Miocène abrasée par le Gravier de base. Celle-ci présente des alternances d'aires sableuses meubles (teinte foncée, sable fin à moyen très glauconifère) et d'aires argileuses (teinte claire, argile silteuse glauconifère remaniée et altérée) plus compactes à surface fortement bioturbée et perforée. L'éclairage rasant de fin de journée hivernale (17h05) fait ressortir quelque peu le relief de ces dernières.

2 : Le double mètre est orienté SSW – NNE. Afin d'accentuer le contraste, un centimètre de sédiment sableux a été enlevé à la brosse.

3 : Le double mètre est aligné suivant l'axe du chantier et pointe vers le NNE.

Les indentations des aires argileuses suggèrent une phase érosive et permettent de supposer qu'elles sont antérieures aux aires sableuses. Les aires argileuses sont constituées principalement de matériaux dérivés de l'Argile de Boom immédiatement sous-jacente.



**Planche 3.** Mars 2002. Autre aspect du sommet du Miocène. Sol de mangrove et banc de *Glycymeris* disséminés. En ce point situé une centaine de mètres au sud (SSW) de la première fouille, le Gravier de base des Sables du Kattendijk est très ténu. Il ne compte que quelques centimètres d'épaisseur et est très peu concentré. Quelques grosses valves isolées d'*Arctica* remaniées le surmontent. La partie inférieure des Sables du Kattendijk montre des sections caractéristiques de ses deux principaux types de terriers. Les uns ont une section quasi circulaire de dimensions centimétriques, les autres ont une section ovalaire très comprimée de dimensions subdécimétriques. Le décimètre supérieur des sables miocènes présente de nombreuses petites tubulations verticales à remplissage sableux glauconifère clair. La surface tronquée par la pelleteuse et soigneusement lissée montre de nombreuses sections de coquilles de *Glycymeris*. La plupart de celles-ci sont bivalves et à l'horizontale, donc en position normale et vraisemblablement de vie. Cette strate à *Glycymeris* a livré un assemblage de dinoflagellés qui permet de l'attribuer aux Sables d'Edegem (Dr. S. Louwye RUG-Gent).



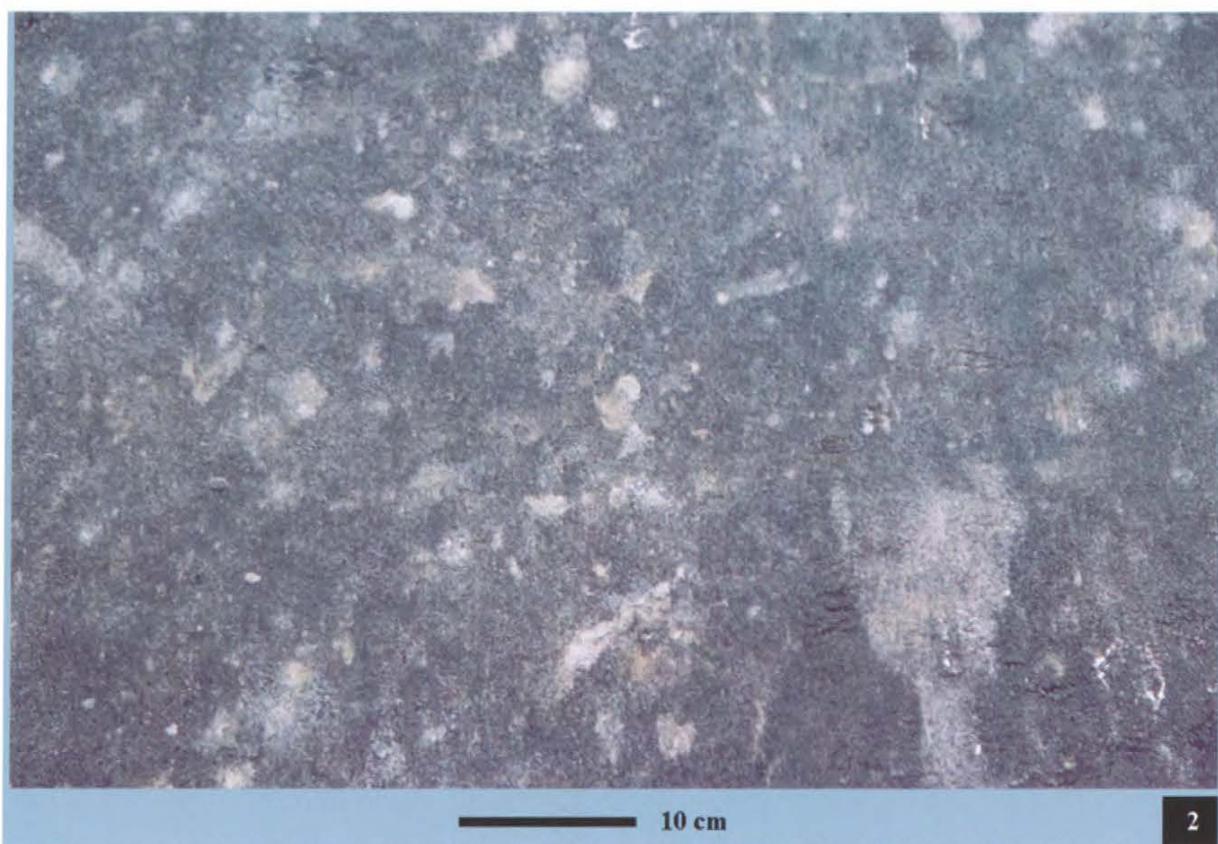
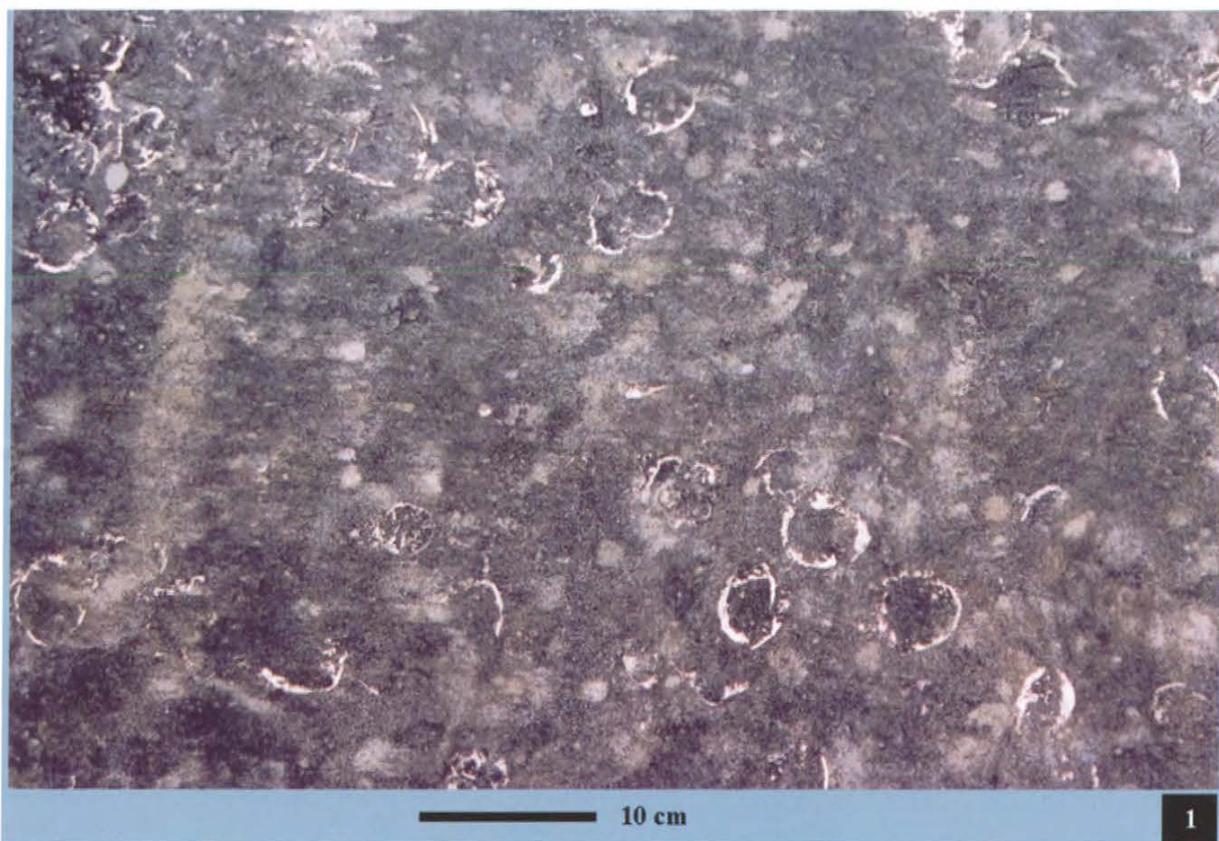
**Planche 4.** Mars 2002. Détails des surfaces horizontales.

**1.** Détail en plan d'une aire sableuse lissée à coquilles de *Glycymeris* disséminés, restées bivalves.

Détail en plan de la surface lissée d'une aire sableuse glauconifère attribuée aux Sables d'Edegem. Elle présente des petits groupes de *Glycymeris* et se situe un rien en avant du profil de la planche 3. C'est dans ce secteur que fut découvert en court de lissage un remarquable spécimen bivalve de *Hinnitis ercolaniana* (Coll. FV)..

**2.** Détail en plan d'une autre aire sableuse lissée, fortement bioturbée mais dépourvue de fossiles.

Autre surface lissée d'une aire sableuse argileuse et glauconifère porteuse d'innombrables petites galeries à remplissage sableux clair légèrement glauconifère également attribuée aux Sables d'Edegem. Hormis ces traces les sables miocènes n'y ont livré aucun autre fossile. En ce secteur situé à près de 150 m au sud de la première fouille, le Gravier de base des Sables du Kattendijk faisait virtuellement défaut. Il se réduisait à un horizon pelliculaire à rares gravillons diffus coiffant des surfaces argileuses dont le sédiment provient du remaniement du sommet altéré de l'Argile de Boom immédiatement sous-jacente (0m50).



**Planche 5.** Horizon miocène lithifié. Cet horizon particulier est considéré comme un Lit distinct. Il sera désormais désigné sous le nom de Grès du Deurganckdok, il appartient au Membre des Sables de Kiel de la Formation de Berchem.

1. 09.12.2001. Flanc occidental de la fouille, vue vers le Nord. Miocène : sables avec horizon lithifié (*in situ*).

Horizon lithifié miocène in situ. (14 E 283 - 09.12.2001). Flanc occidental de la fouille, vue vers le Nord. Petite descente d'observation (un mètre de profondeur) dans les sables miocènes. Quelques structures tubulaires verticales énigmatiques apparaissent. Celles-ci rappellent celles rencontrées lors des fouilles préliminaires. Mais si elles présentent même section circulaire, même cortex de sable fin brunâtre légèrement induré et même remplissage central continu ou interrompu de sable fin blanchâtre légèrement glauconifère, leur extension verticale est métrique. L'interprétation la plus vraisemblable s'avérera être celle de fantômes de racines mère (trace la plus large) et adventives (traces les plus grêles) de palétuviers. Un horizon argileux calcaire est présent à 0m60 sous le Gravier de base des Sables du Kattendijk. Cet horizon est diffus et inconsistant (côté droit du cliché) ou dense et induré (lithifié) sur 1 à 8 cm d'épaisseur (front et côté gauche du cliché). Il présente diverses perforations et bioturbations. L'aire indurée a été dégagée sur quelques 50cm (côté droit de la photo). La descente est comme convenu aussitôt rebouchée.

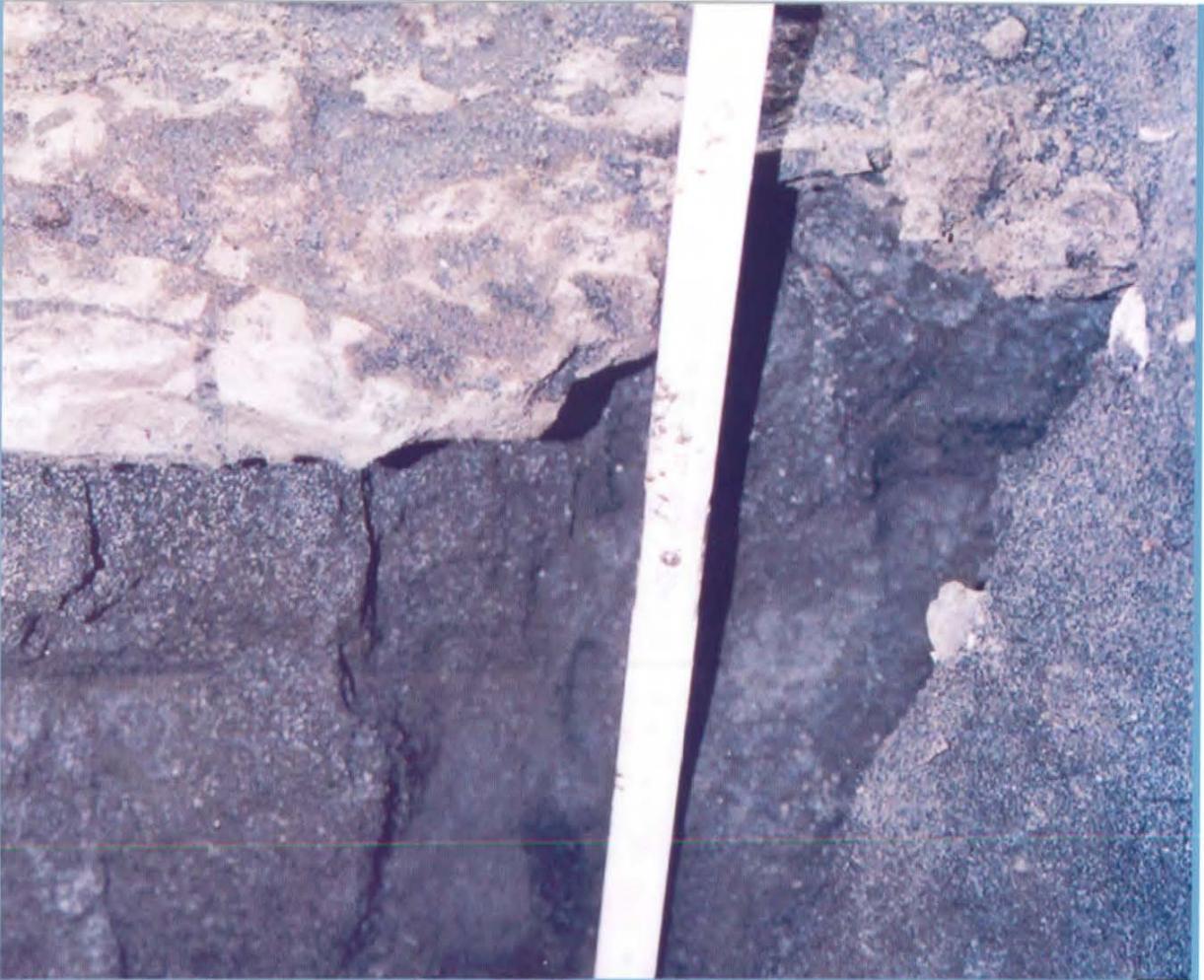
2. 10.12.2001. Sommet de l'horizon lithifié et les sables glauconifères sous-jacents.

Horizon lithifié miocène in situ. (10.12.2001). Vue légèrement oblique du front redégagé pour la visite de nos collègues les Dr., K. Gürs, T. Moorkens et D. Spiegler. Le relief naturel de la surface de l'horizon lithifié ainsi que la différence granulométrique extrême entre les sables très glauconifères sous-jacents et sus-jacents sont mis en évidence. Cliché Dr. T. Moorkens.



50 cm

1



10 cm

2

**Planche 6.** Sol de mangroves. Détail du profil rafraîchi, cf. Planche 5, Fig 1, 10.12.2001.

Fantômes de racines de palétuviers. (10.12.2001). Détail du profil de la descente discrète effectuée dans les sables miocènes, zone surmontant l'horizon calcaireux du même profil rafraîchi. Cette nouvelle section se situe 3 à 5 cm en arrière du profil de la planche 5. La trace principale et complexe serait celle d'une racine mère d'un palétuvier (Rhizophoraceae, *Bruguiera* sp.). Elle descend sous l'horizon argileux carbonaté. Les autres traces seraient celles de racines adventives. Cliché Dr. T. Moorkens.



5 cm

**Planche 7.** Fantôme de racine concrétionnée.

Les deux clichés se font suite et montrent une de ces structures attribuées à des racines de palétuviers. Celle-ci faiblement concrétionnée fut trouvée à l'horizontale en une partie très diffuse, non indurée et particulièrement sableuse de l'horizon argileux carbonaté. Canicule et vents de ces jours l'ont mise en évidence et en ont rendu possible un dégagement au pinceau et un traitement préventif in situ. La structure multiple et emboîtée des parois désagrégées et disparues, le remplissage sableux fin clair à peine chargé de quelques grains de glauconie remaniés survenu après le dessèchement du végétal et impliquant le pourrissement complet des tissus internes sont décelables. Dans la partie basse (partie droite du cliché) désensablée au pinceau, un vestige de la structure interne se devine.



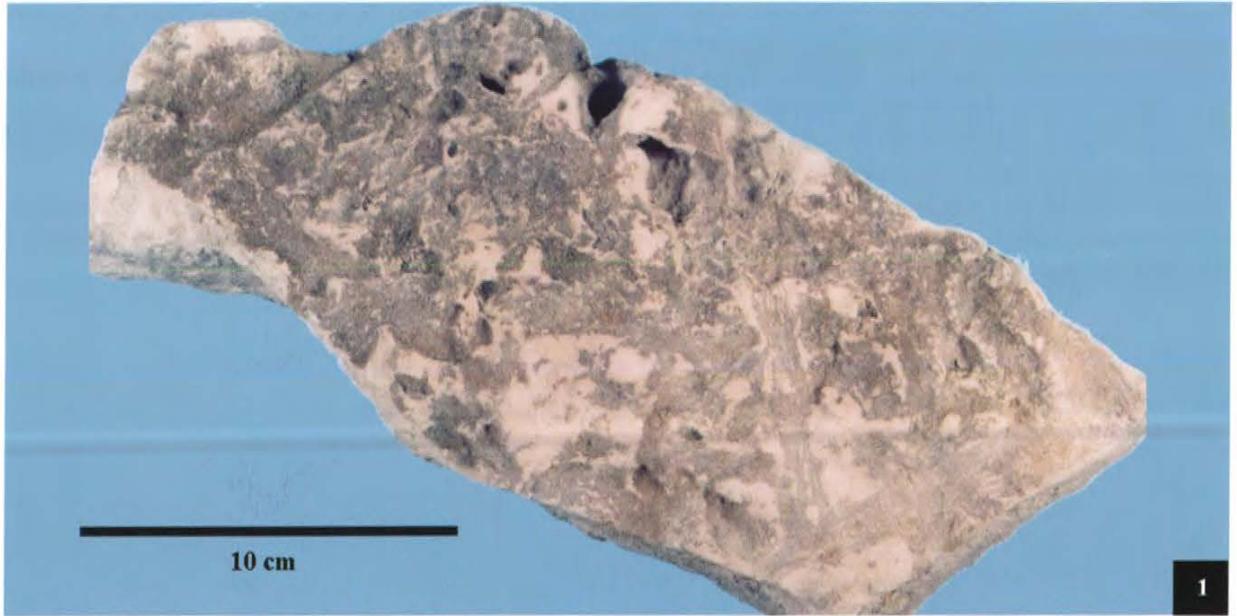
**Planche 8.** Horizon lithifié. Diverses vues d'un fragment prélevé in situ (Coll. SGB : 14 E 283 – 3).

Une partie de sa section est naturelle et montre une érosion latérale ancienne très marquée. L'échantillon mesure 27 cm de longueur et 11 cm de largeur. Son épaisseur maximale est de 5.4 cm. Il a été photographié après lavage à l'eau et brossage délicat. Les sédiments adhérant aux faces supérieure et inférieure ont été ainsi retirés et conservés (cf. Planche 10, figures 1 et 3).

1. Sa face supérieure présente une surface intensément bioturbée mais porte en outre des traces d'érosion et d'altération ultérieures non moins significatives. Le sédiment constitutif argileux gris beige induré est recouvert d'une fine pellicule argilo-silteuse brunâtre révélant une phase d'oxydation. Sur cette pellicule est venu s'incruster un épandage sableux très glauconifère de grain fin à moyen (cf. Planche 10, figure 1). Le grain moyen des sédiments de couverture forcera progressivement par la suite.

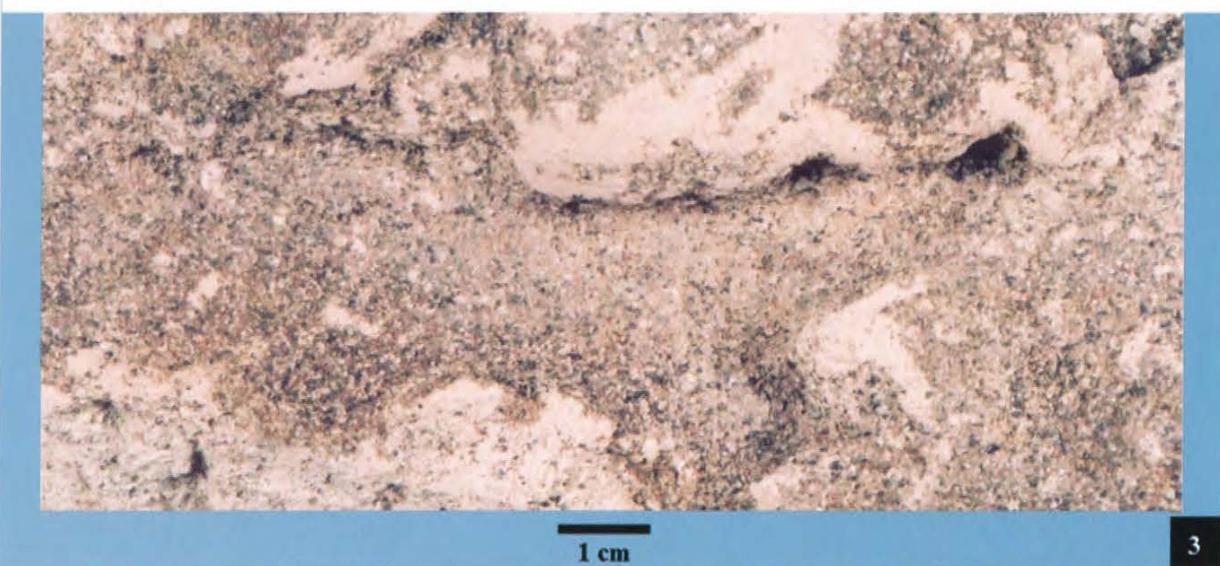
2. Section artificielle. Celle-ci révèle une succession d'événements. Une masse sableuse de grain moyen à grossier extrêmement glauconifère fut recouverte par un flot argileux carbonaté qui subit une forte bioturbation. Légèrement compacté, ce manteau argileux fut d'abord érodé en surface, mais également sur ses bords. Il aurait ensuite été oxydé et, enfin enseveli sous une nouvelle masse sableuse glauconifère de grain moyen plus fin (cf. Planche 10, figure 2).

3. La face inférieure démontre que la couche argileuse carbonatée rejetée s'ancra et se compacta sur les sables très glauconifères qu'elle recouvrait. Les traces d'activités biologiques y sont en ce secteur très faibles.



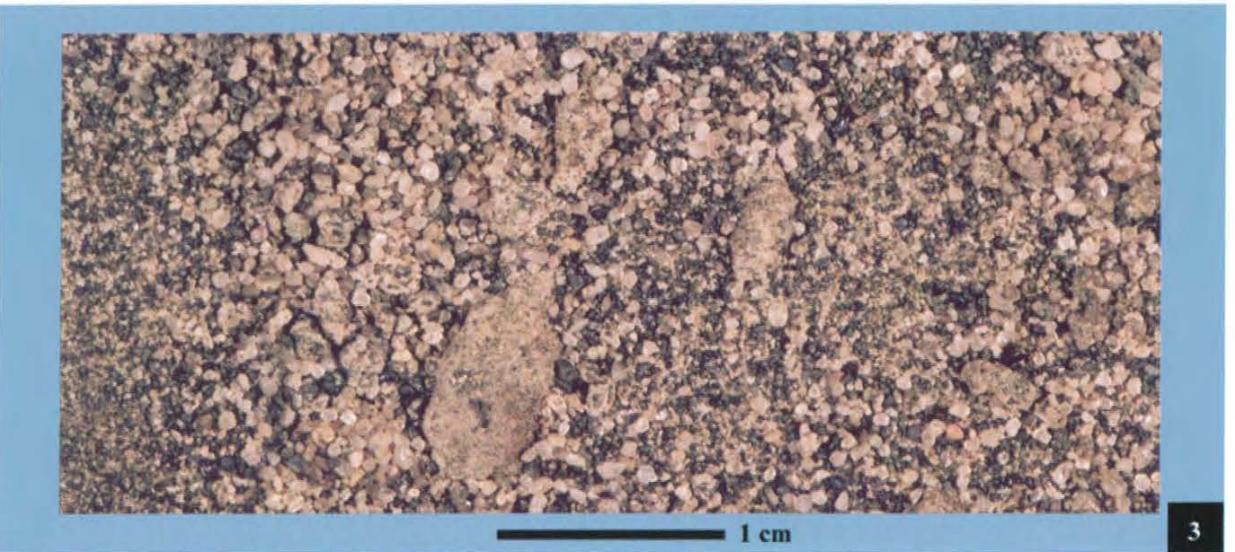
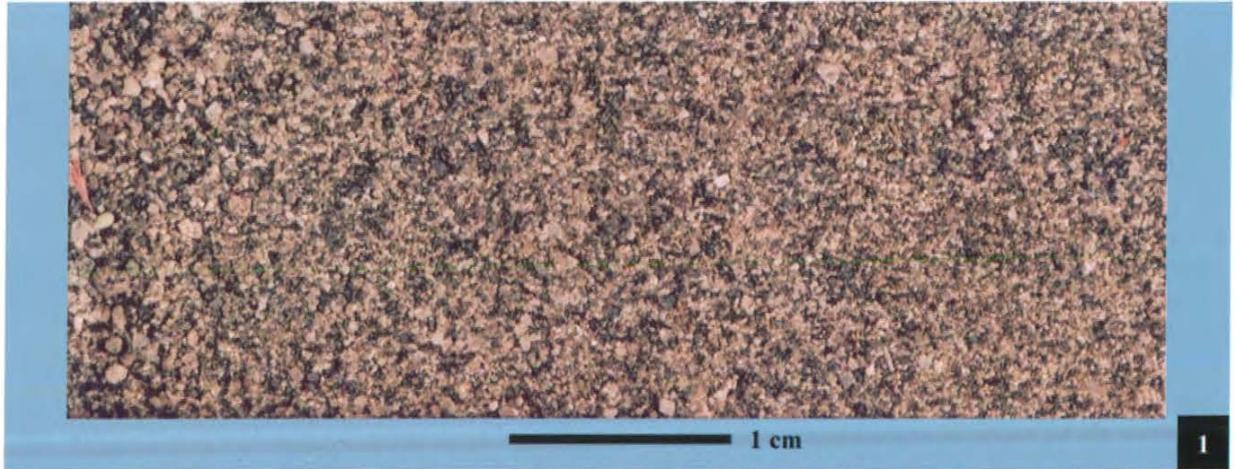
**Planche 9.** Horizon lithifié (Grès du Deurganckdok). Détails de quelques aires de la surface supérieure de l'horizon lithifié (échantillon prélevé in situ et figuré Planche 8).

1. Horizon lithifié, face supérieure : détail d'une grande empreinte bifurquée en creux, à structure microstriée et onduleuse. Celle-ci est peut-être d'origine végétale.
2. Horizon lithifié, face supérieure : détail d'un bord naturel, perforé, érodé et abrasé. Celui-ci témoigne du fait que le sédiment appelé à s'indurer fut, à peine déposé et cohérent, soumis à une érosion aquatique.
3. Horizon lithifié, face supérieure : détail d'une petite dépression montrant la surimposition des couches suivantes: argile carbonatée plus ou moins indurée, pellicule brunâtre avec incrustations sablo-silteuses glauconifères et recouvrement sableux glauconifère.



**Planche 10.** Horizon lithifié (Grès du Deurganckdok). Faciès sédimentaires. Même zone, même échantillon (cf. Planches 8 et 9).

1. Aspect du sédiment brut surmontant immédiatement l'horizon lithifié.
2. Vue oblique du même échantillon mettant en exergue son relief naturel qui témoigne d'une bioturbation superficielle intense. La section visible est artificielle, elle résulte d'un coup de marteau.
3. Aspect du sédiment brut sous-jacent l'horizon lithifié. Son grain moyen est trois fois supérieur à celui du sédiment sus-jacent l'horizon.



**Planche 11.** Echantillon recelant un bois flotté de palétuvier (Rhizophoraceae cf. Bruguiera).

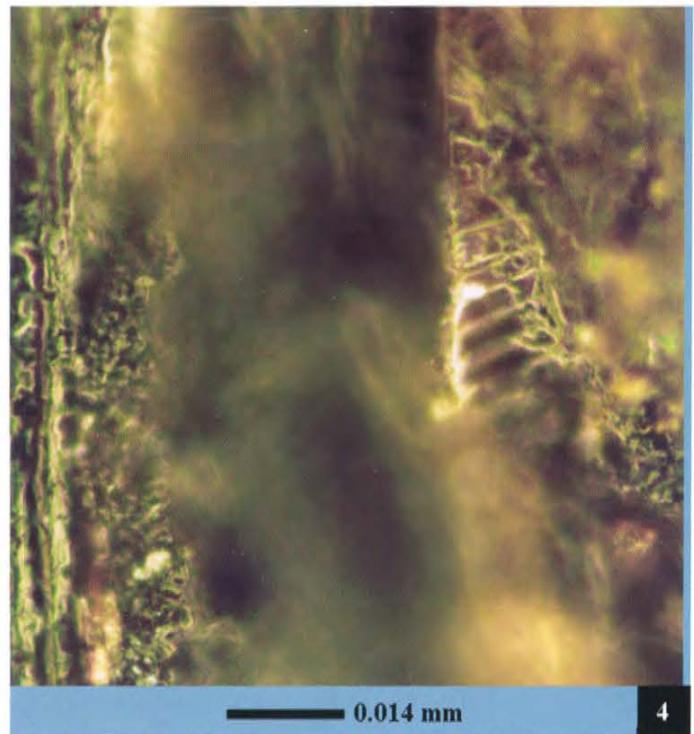
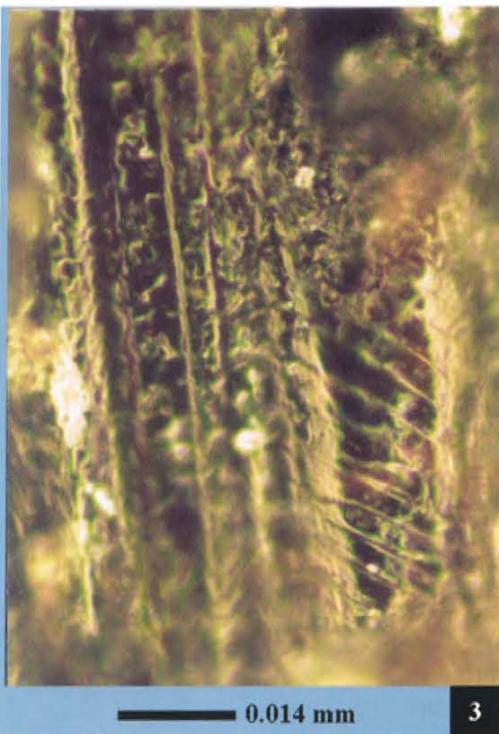
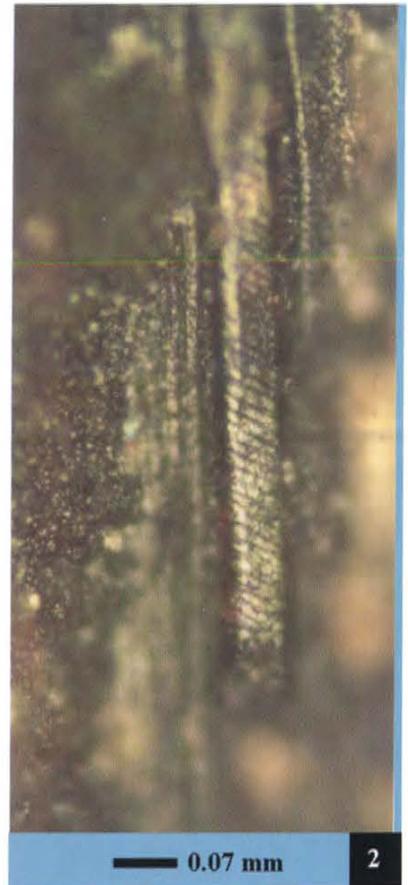
(Coll. SGB : 14 E 283 – 1).

**1.** Vue de l'ensemble de l'échantillon dressé. Le morceau de bois est engangé dans la partie supérieure de la lithification. Celle-ci présente une très faible granulométrie. Le morceau de bois provient d'une branche morte, séchée et désagrégée avant d'avoir été emportée par un courant aquatique.

La partie inférieure de la lithification est sableuse, glauconifère et lumachellique.

**2, 3 et 4.** Clichés microscopiques d'un fragment extrait du même bois flotté. Fond épiscopique, lumière incidente. (H. Doutrelepont, MRAC).

**2.** Vue des ponctuations scalariformes sur un segment de vaisseau partiellement conservé (vue radiale). **3.** Vue agrandie d'une portion de perforation scalariforme (vue radiale). **4.** Vue agrandie d'une autre portion de perforation scalariforme (vue radiale).

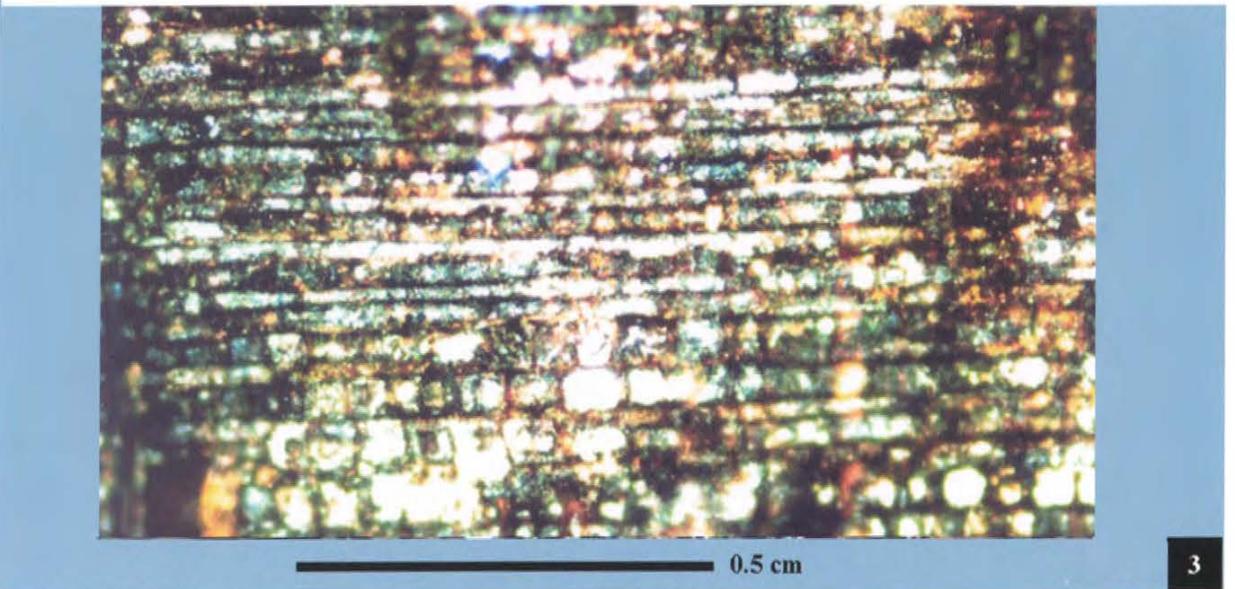
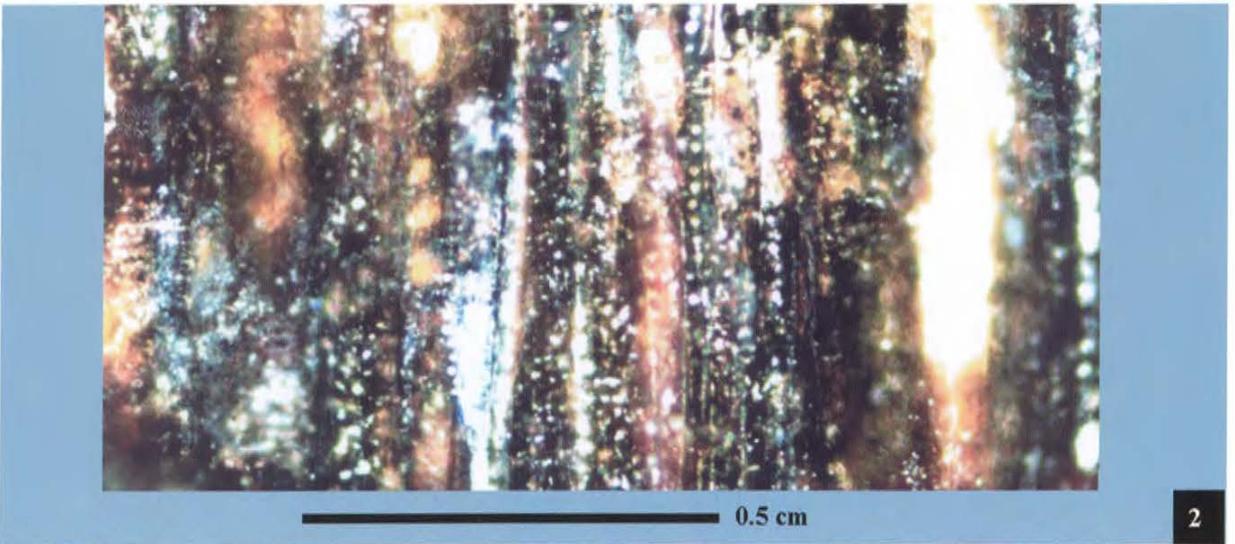


**Planche 12.** Autre bois de palétuvier (Rhizophoraceae , cf. Bruguiera) flotté, et taraudé (Coll. SGB : 14 E 283 – 2).

**1.** Vue partielle de l'échantillon sur sa gangue pétrie de menus fragments coquilliers. Le morceau de bois provient d'une branche morte et désagrégée avant d'avoir été emportée par un courant aquatique. Celle-ci devait encore avoir un certain degré de fraîcheur pour avoir attiré une colonie de tarets.

**2, 3.** Clichés microscopiques de lames minces réalisées dans un fragment du même bois. Fond épiscopique, lumière incidente et saturation des couleurs (H.Doutrelepont, MRAC) .

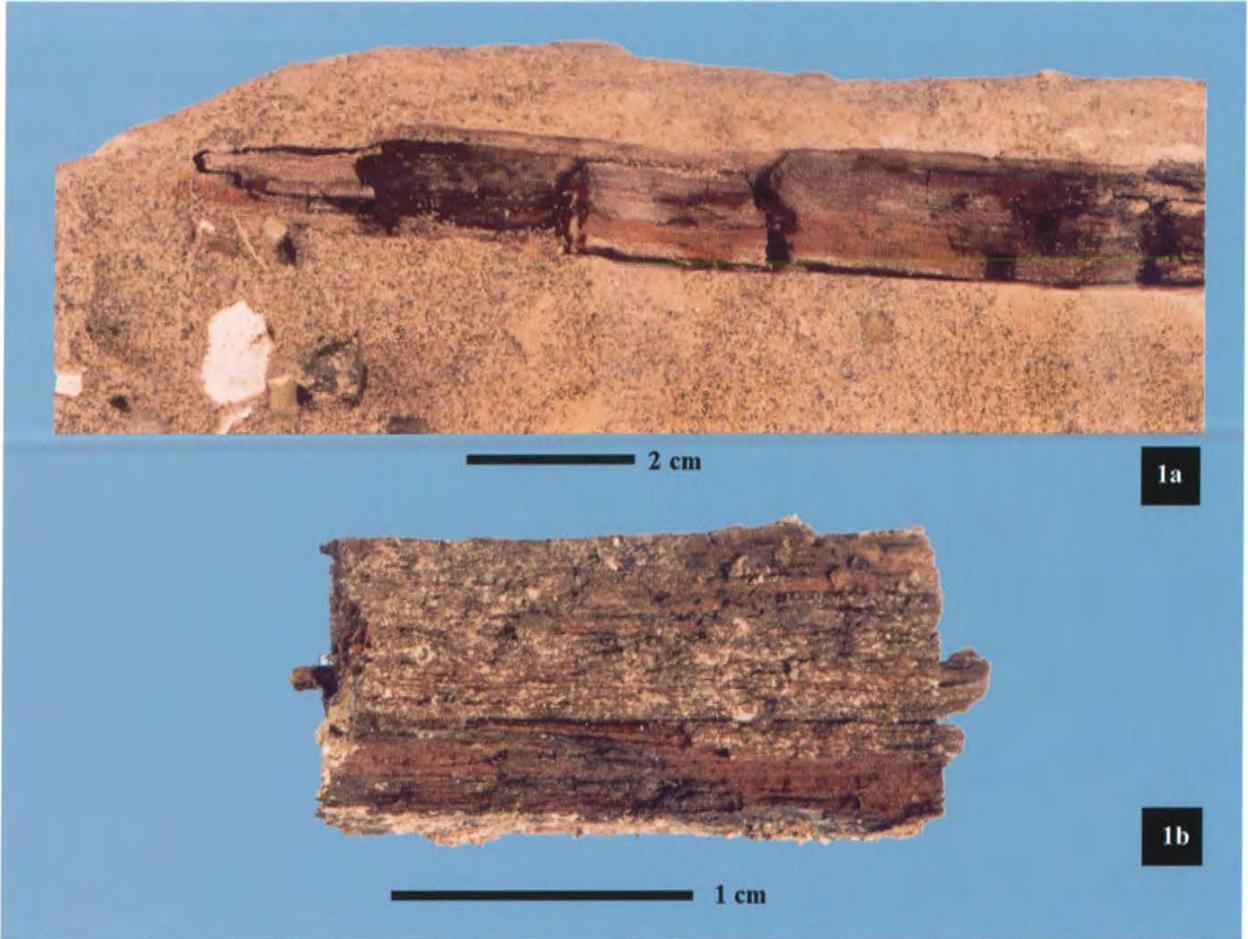
**2.** Coupe tangentielle montrant des rayons multicellulaires élevés. **3.** Coupe radiale montrant une portion de rayon à cellules hétérogènes.



**Planche 13.** Autre bois fossile (Conifère – Pinaceae – *Larix* sp. ) et Mollusca – Teredinidae (Coll. SGB : 14 E 283 – 4).

**1.** Lithification de type dalle porteuse d'un grand morceau de bois flotté. Il s'agit d'un bois de conifère de la Famille des Pinaceae, *Larix* sp. (mélèze). **1a.** Vue de la plus grande partie du bois flotté en sa lithification porteuse. Celle-ci est présentée en position première, le bois flotté est un apport ou échouage tardif. La partie inférieure de la lithification est sableuse glauconifère et lumachellique. Elle a été basculée et renversée ultérieurement. **1b.** Vue d'ensemble du petit fragment de bois extrait pour examen anatomique. Le bois est à peine induré et non déformé ( sections anatomiques cf. planches 47 et 48).

**2.** Colonie de Teredinidae (*Teredo* sp.) grésifiée avec vestiges du bois porteur perforé. **2a.** Face montrant des vestiges pelliculaires du végétal presque intégralement rongé par les tarets. **2b.** Face montrant quelques tubes de *Teredo* et leur degré de développement.



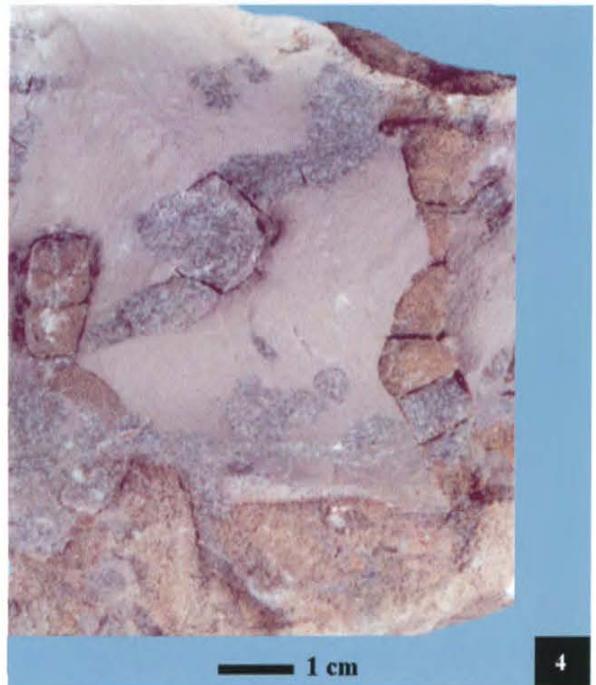
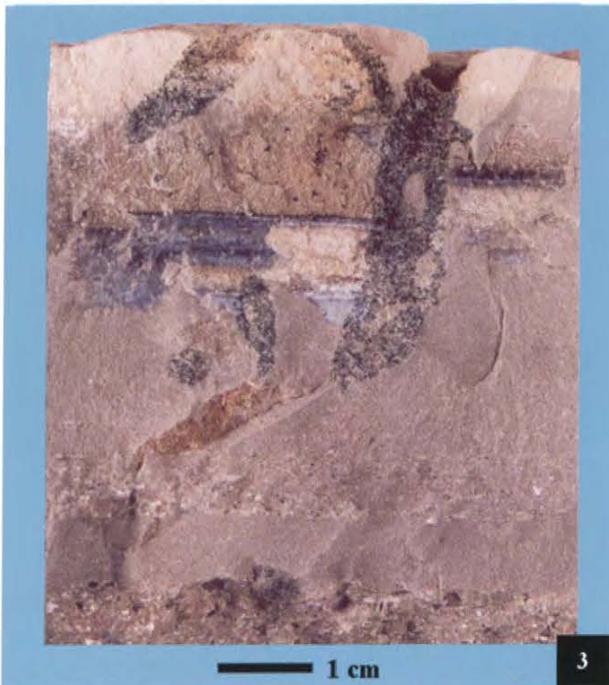
**Planche 14.** Section artificielle d'une grande lithification du type dalle (Coll. SGB : 14 E 283 – 5).

1. Section artificielle d'une grande lithification (la partie figurée mesure 39 cm de longueur) remarquablement tabulaire (type qualifié dalle) montrant la succession des dépôts constitutifs et quelques terriers à remplissage sableux glauconifère.

2. Autre section artificielle de la même lithification. Celle-ci est orthogonale à la précédente et montre à sa base, une des deux valves d'une coquille béante et renversée de *Cyrtodaria* demeurée valves en connexion.

3. Cette même lithification montre en outre en sa partie supérieure une coquille encore bivalve d'un pélécy-pode du genre *Ensis* brisée et décalée au droit d'un terrier.

4. Section artificielle (bris au marteau) d'une autre lithification (Coll. SGB : 14 E 283 – 6) montrant deux terriers à remplissage séquentiel. Le plus complexe suggère onze (ou douze ?) phases de remplissages alternativement ténus et significatifs correspondant à autant de marées hautes et basses successives.



**Planche 15.** Petit fragment de lithification à succession sédimentaire type.

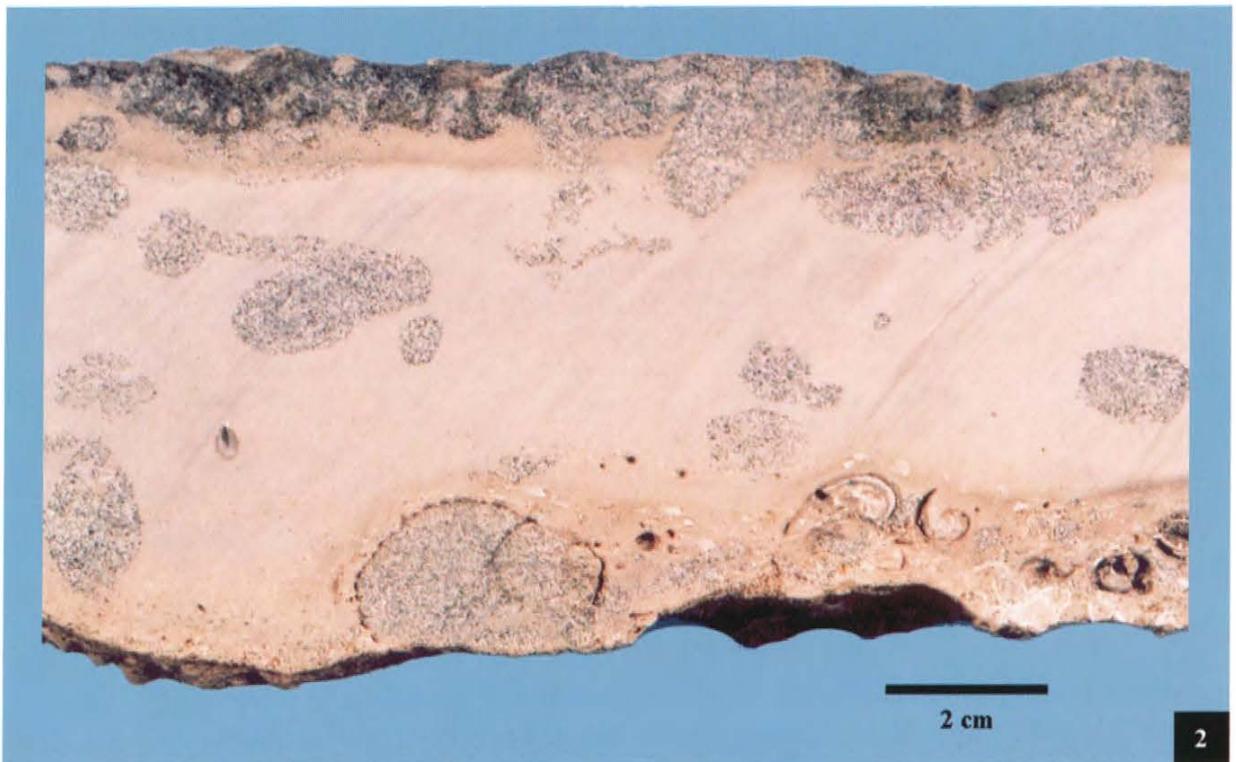
Petit bloc clivé intentionnellement dans la masse d'une grande lithification du type dalle afin de montrer la succession type des sédiments constitutifs et l'intensité de la bioturbation de sa masse centrale essentiellement argileuse (Coll. EW).

La succession type est faite de sables glauconifères mi-fins, de strates sableuses glauconifères lumachelliques, d'une masse argileuse carbonatée et d'une coiffe de sables fins glauconifères. La densité de galeries ou terriers y est très variable. Leur remplissage, à l'exception de celui des terriers à remplissages séquentiels, est des très constant.



**Planche 16.** Section artificielle d'une grande lithification du type dalle trouvée renversée dans le Gravier de base des Sables du Kattendijk (Coll. SGB : 14 E 283 – 7).

L'échantillon est présenté en première position de gisement, avant son basculement et renversement. **1.** Partie terminale de la section réalisée à la scie diamantée montrant un grand terrier oblique à remplissage sableux glauconifère fortement oxydé **2.** Suite de la même section montrant en coupe quelques coquilles de mollusques et la section antéro-postérieure du test d'un échinide spatangiforme à partie postérieure surbaissée.



**Planche 17.** Oxydation et rubéfaction particulières.

Faces supérieures de deux petites lithifications miocènes devenus galets du Gravier de base des Sables du Kattendijk qui suggèrent une phase d'altération oxydante et rubéfiante continentale particulièrement intense. Cette phase serait postérieure à la fragmentation et à la dislocation des lithifications situées en zone intertidale, et postérieure à leur abandon ou rejet en zones définitivement émergées et apparemment soumises à un climat subdésertique tropical. Ce type de fragments de l'horizon lithifié s'est montré particulièrement fréquent dans le secteur le plus méridional de l'ensemble de l'aire fouillée. Brisés ou sciés, ces fragments présentent un aspect identique aux lithifications in situ ou remaniées, ce qui exclu qu'il s'agisse de concrétions distinctes.

L'origine précise des scarifications particulières superficielles qu'elles présentent est inconnue.

**1a-b.** Petit fragment de lithification (Coll. SGB : 14 E 283 – 8) particulièrement érodé, abrasé et rubéfié (a) et détail de celui-ci (b).

**2a-b.** Autre fragment similaire (Coll. SGB : 14 E 283 – 9) mais plus quadrangulaire, marqué par les mêmes altérations (a) et détail (b).

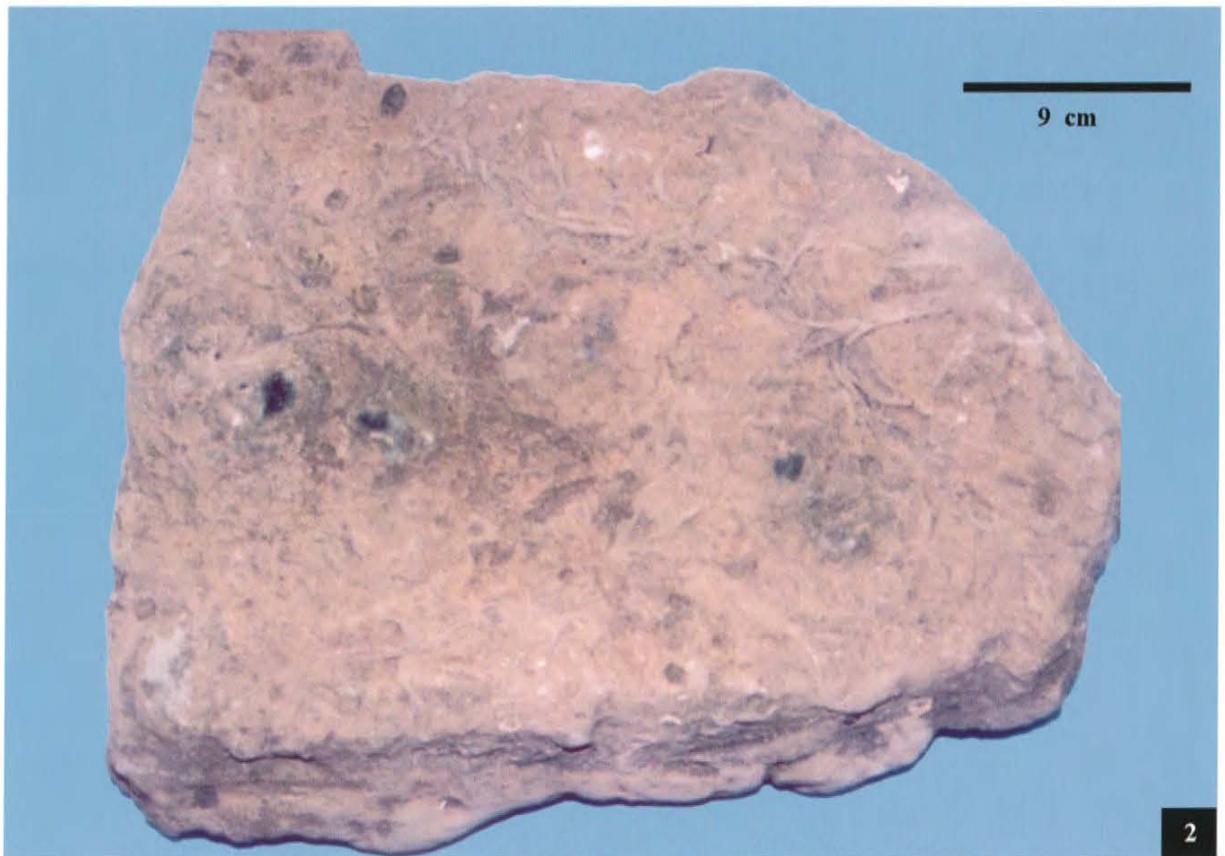
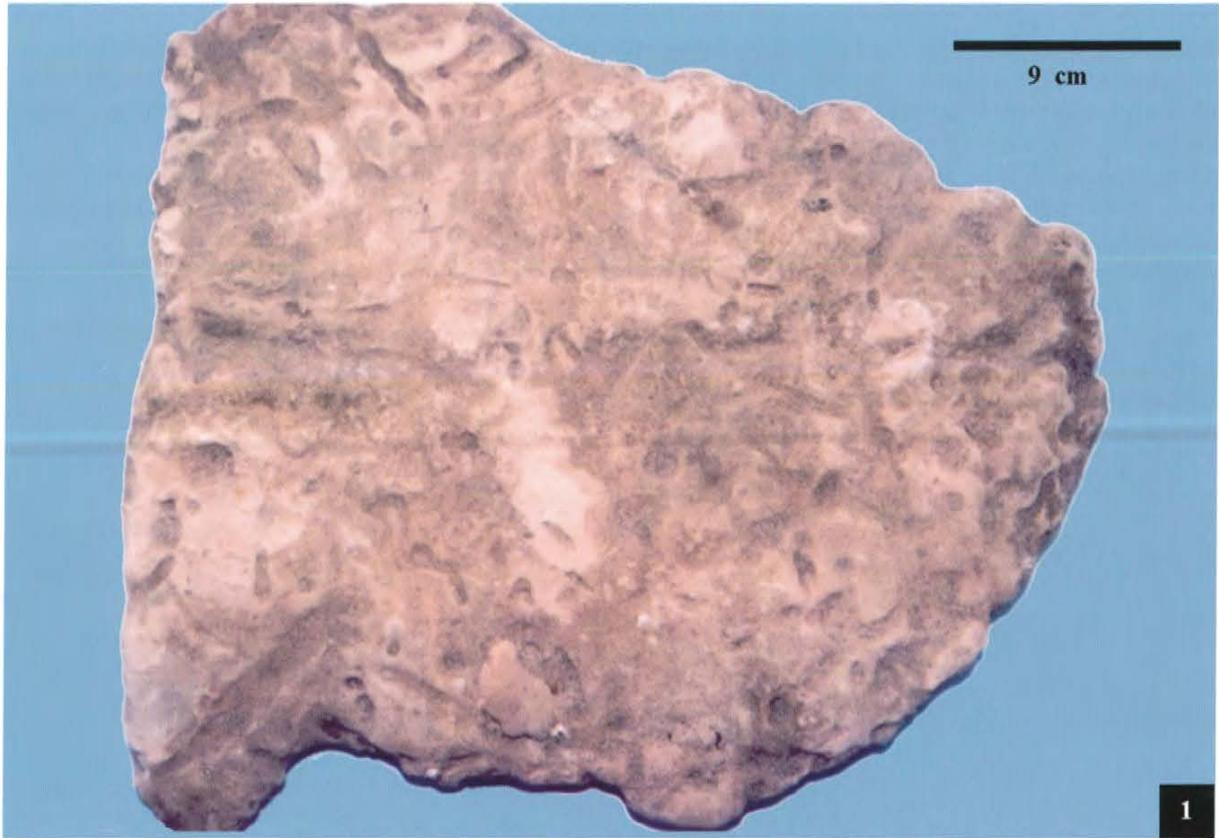


**Planche 18.** Exemple de lithification du type dalle (Coll. SGB : 14 E 283 – 10).

Lithification de 36 cm sur 33 cm, et de 6 cm d'épaisseur dont tous les côtés sont manifestement érodés. Un de ceux-ci a formé un léger surplomb à bord onduleux et arrondi. Sa face inférieure est porteuse d'un réseau très dense de pistes d'annélides.

1. Face supérieure d'une lithification du type dalle, érodée sur tous ses côtés, avec ses bioturbations, galeries et orifices de terriers.

2. Face inférieure de la même lithification (36 cm sur 33 cm, épaisseur 6 cm) montrant érosion latérale et réseau dense de pistes d'annélides (voir détail planche 19, fig. 2).



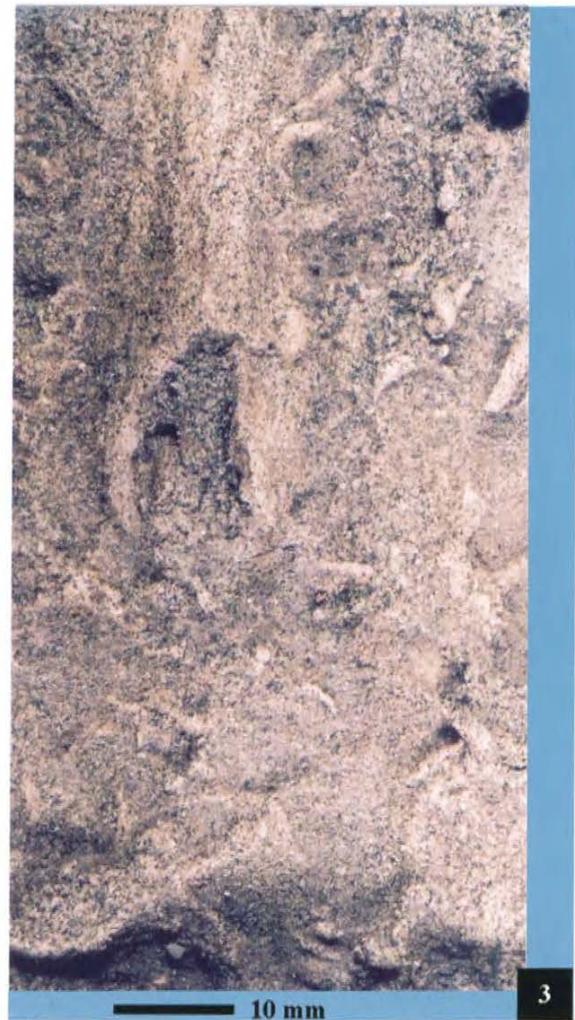
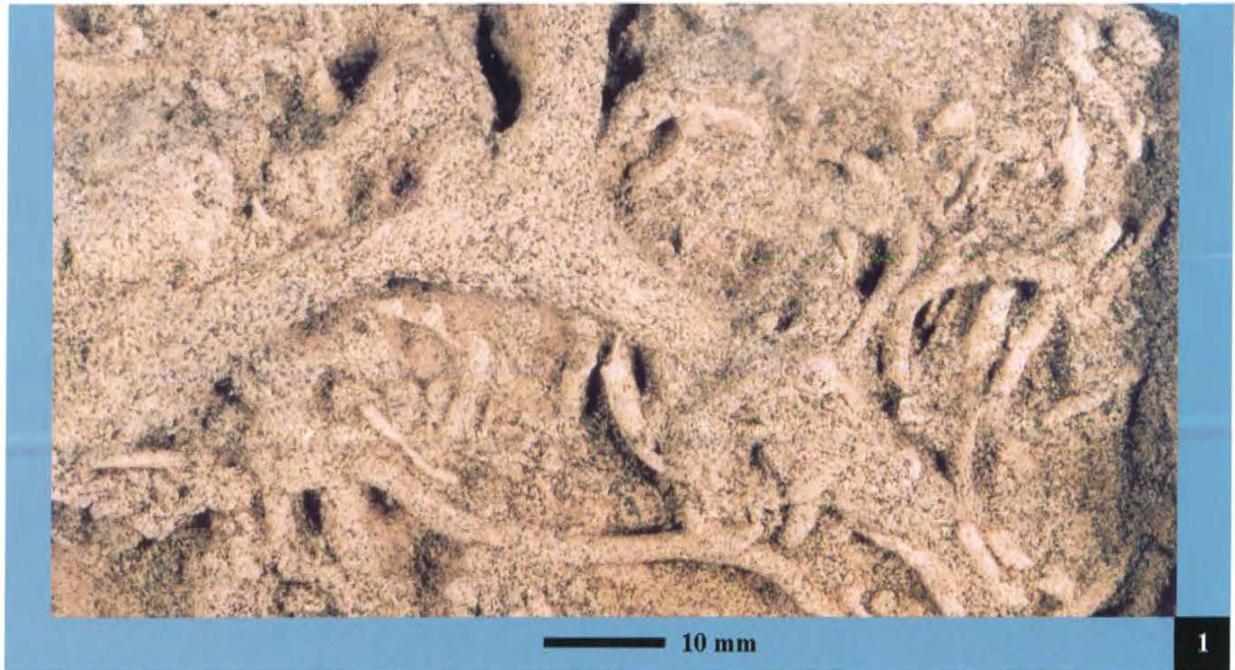
**Planche 19.** Principaux types de pistes ou galeries d'annélides.

Les vues suivantes illustrent quelques principaux types de pistes ou galeries d'annélides que présentaient la face inférieure de nombreuses lithifications du type dalle. Il s'agit d'annélides sédentaires tubicoles vivant sur des surfaces indurées et préférant généralement la face inférieure de celles-ci lorsqu'en surplomb. Leurs tubes sont en fait des gaines non calcaires mais mucilagineuses rigides ou souples. Une zone non battue par les vagues leur offre un meilleur abri.

En toute logique, ils n'ont pu se développer qu'après induration suffisante des lithifications et constitueraient une population postérieure aux premiers occupants des lieux, des annélides fousseurs sableux (cf. amphitrites) ou mudicoles (cf. térébelles). Des terriers attribués à ces deux types sont illustrés planche 20.

L'attribution précise de semblables traces est encore fort hasardeuse. Certaines de celles-ci (1 et 2) évoquent quelques peu celles d'annélides du type *Polycirrus* (Terebellidae).

1. Détail d'un entrelacement de pistes ou terriers de divers annélides sur la face inférieure d'une grande lithification du type dalle (Coll. SGB : 14 E 283 – 11).
2. Détail d'un secteur de la face inférieure du bloc figuré planche 18 (Coll. SGB : 14 E 283 – 10).
3. Détail de la face inférieure d'une autre lithification (Coll. SGB : 14 E 283 – 12).

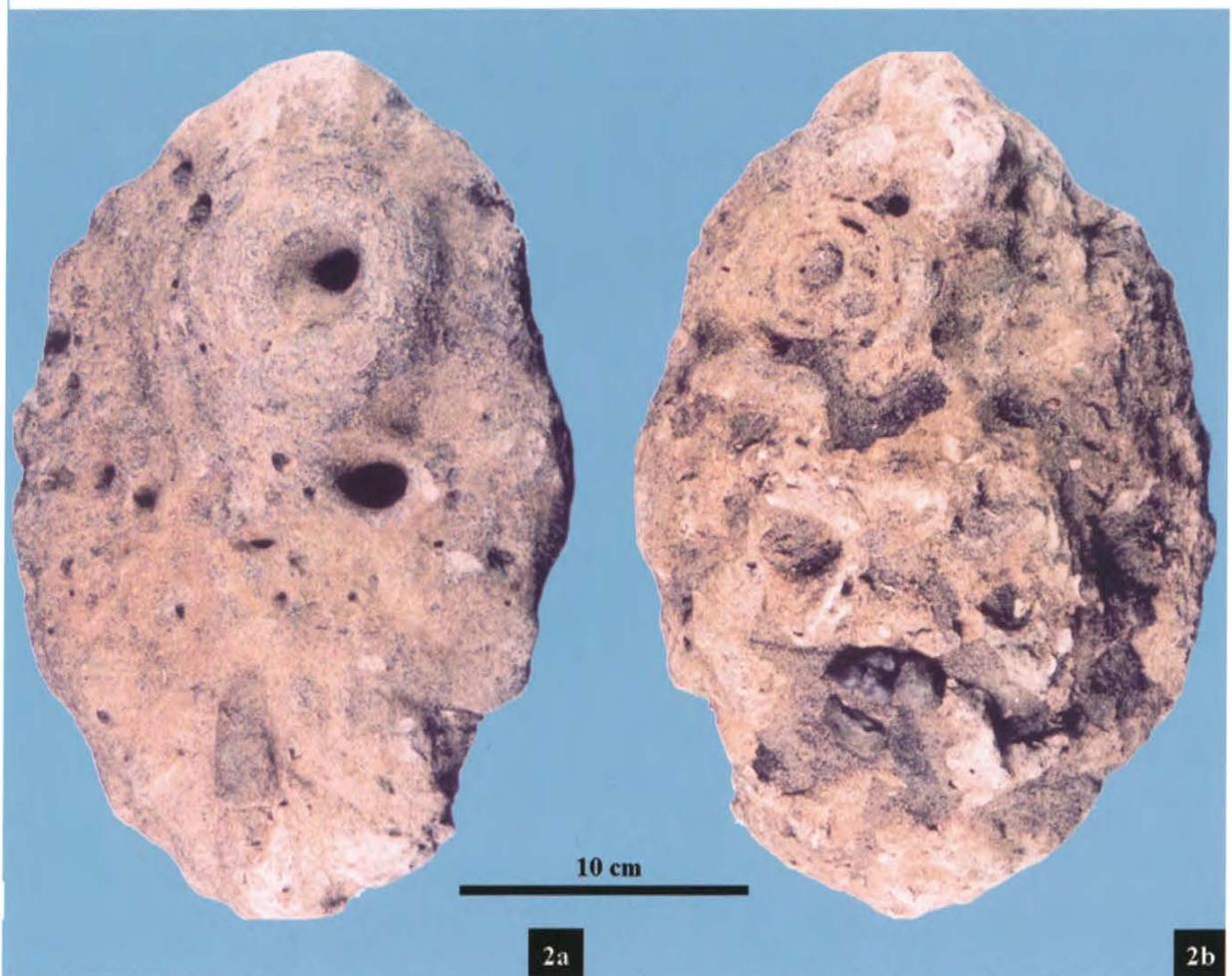
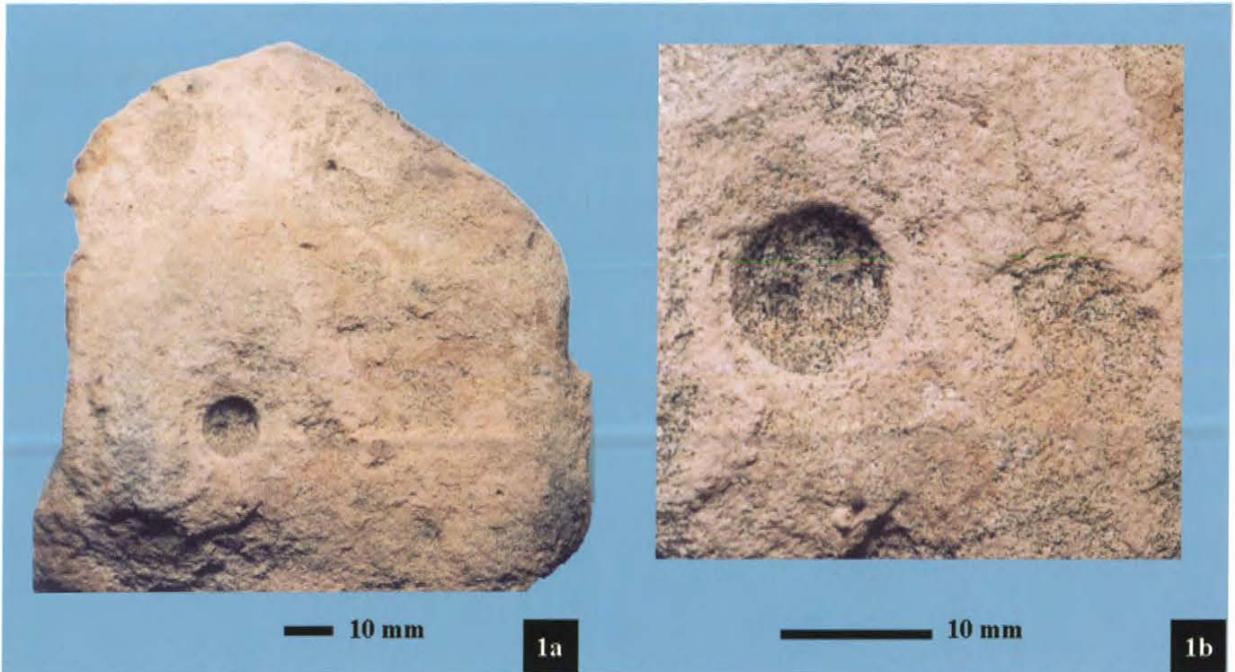


**Planche 20.** Terriers de grands annélides polychètes sédentaires - cf. *Terebella* et cf. *Amphitrite*.

Deux blocs très différents porteurs de terriers de forte section circulaire à subcirculaire attribuables à des annélides. Le premier bloc (1) est décimétrique, et présente une petite dépression contenant un orifice à section parfaitement circulaire. Ce type de terrier correspond à celui d'un annélide sédentaire n'effectuant pratiquement qu'ouvertures et rétractions de son panache de tentacules et guère de déplacements corporels verticaux. Le second bloc (2) mesure plus de trente centimètres de longueur et quinze d'épaisseur, il porte deux protubérances avec galeries à section subcirculaire. Ces terriers répétitivement cimentés par l'intérieur correspondent à ceux des annélides sédentaires effectuant de fréquents mouvements verticaux d'étirement et de retrait et provoquant la formation progressive d'un monticule constitué de particules du sédiment déplacé (Coll. EW).

**1.** Le premier type de terrier est attribuable à un annélide du type térébelle (cf. genre *Terebella*). **1a.** Bloc porteur du terrier d'un annélide. **1b.** Détail de l'orifice du terrier.

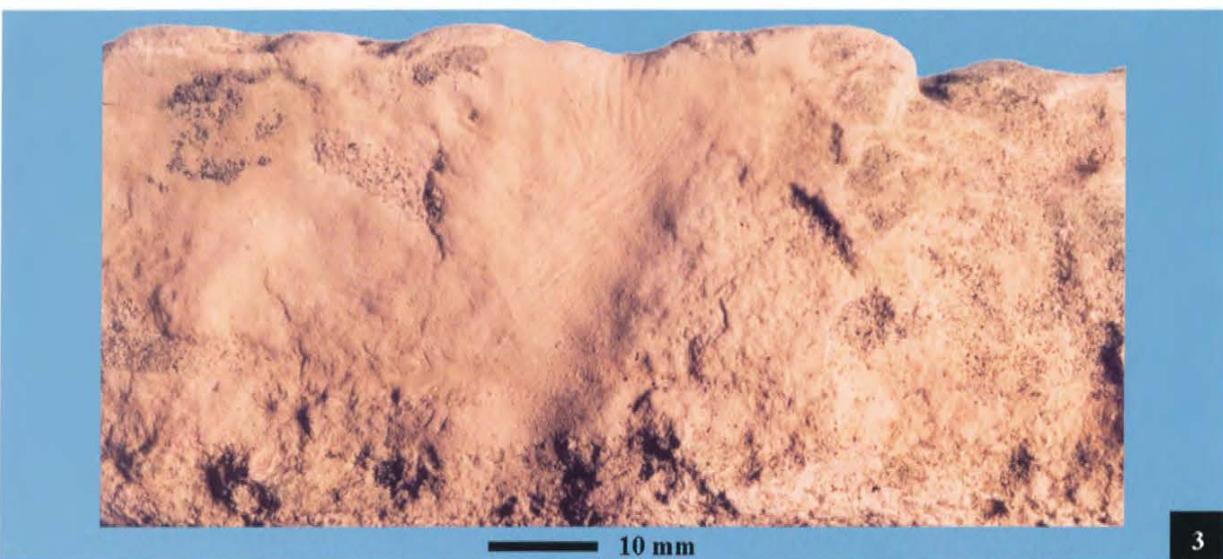
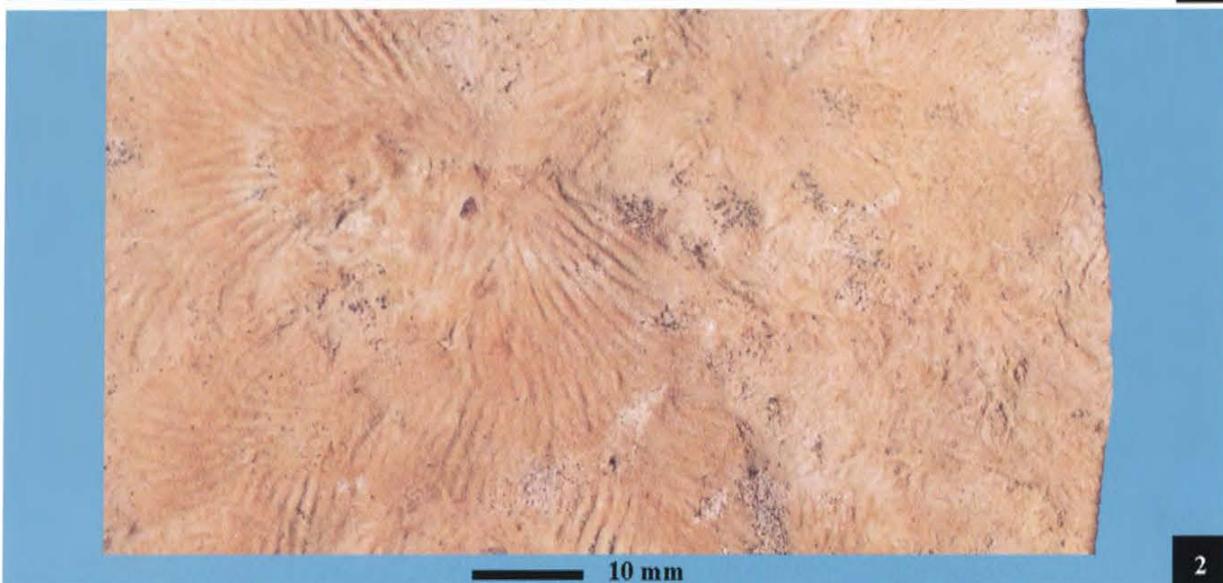
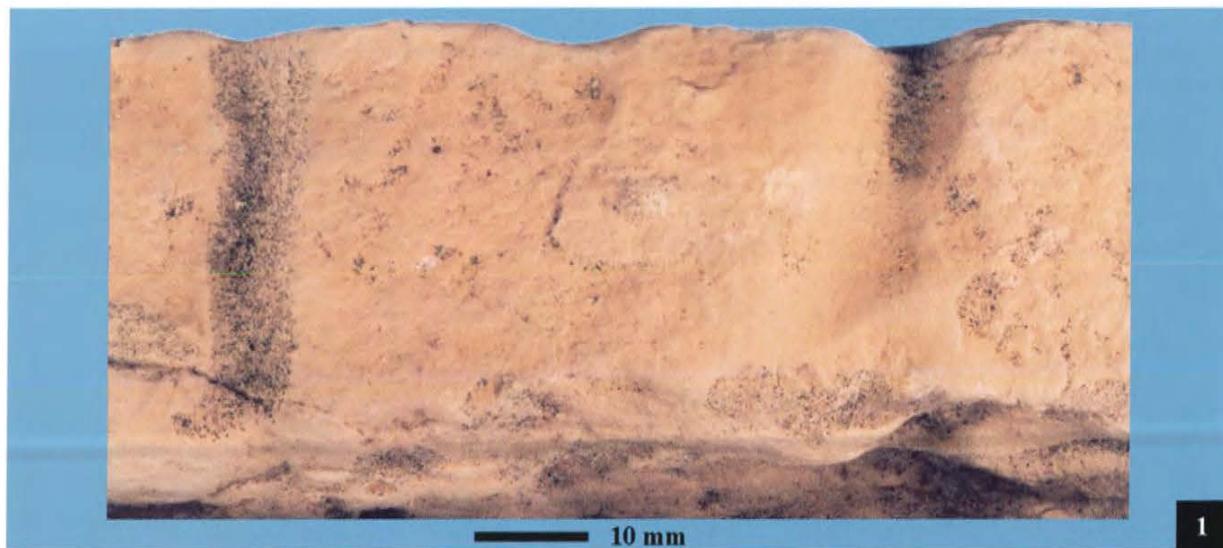
**2.** Le second type de terrier serait attribuable à des annélides du type amphitrite (cf. genre *Amphitrite*). **2a-b.** Faces supérieure et inférieure d'un bloc porteur de deux terriers de grands annélides sédentaires.



**Planche 21.** Traces d'annélides polychètes sédentaires de type Sabella et patine particulière.

Exemples de lithifications du type dalle de faible épaisseur, à contours et faces supérieures particulièrement oxydés sinon rubéfiés et porteuses de délicates empreintes des panaches branchiaux verticillés attribuables à des annélides polychètes sabelliformes. La finesse du poli démontre que l'érosion et la patine de sa surface sont antérieures au remaniement brutal du au Gravier de base des Sables du Kattendijk (Coll. SGB : 14 E 283 – 1)

1. Une section érodée naturellement porteuse de galeries verticales et patine ancienne. Cette section est naturelle. Elle résulte de la fragmentation qui s'est produite après un début d'induration de la dalle argileuse et son affouillement.
2. Face supérieure d'un bloc altéré et rubéfié avec des traces du panache verticillé d'un annélide sabelliforme.
3. Autre section anciennement érodée et patinée montrant un terrier d'annélide supposé sabelliforme.



**Planche 22.** Exemple d'épandage pelliculaire (Coll. SGB : 14 E 283 – 13).

Diverses vues et détails d'une petite lithification également devenue galet du Gravier de base des Sables du Kattendijk mais sans avoir subi altération ou rubéfaction particulières. Sa face supérieure est porteuse de traces de nombreuses pistes à remplissage sablo-glaucônifère fin. Un clivage artificiel a permis d'apprécier la finesse du grain moyen constitutif de sa partie inférieure et la délicate conservation de restes très ténus. On notera la présence de la frêle coquille d'un *Ensis* juvénile, étale et renversée mais demeurée valves en connexion.

- 1a. Face supérieure d'une lithification devenue galet.
- 1b. Vue d'une section de clivage du même échantillon.
2. Détail de quelques galeries comblées.
3. Détail du petit *Ensis* avec ses valves étales
4. Détail d'une trace très discrète .

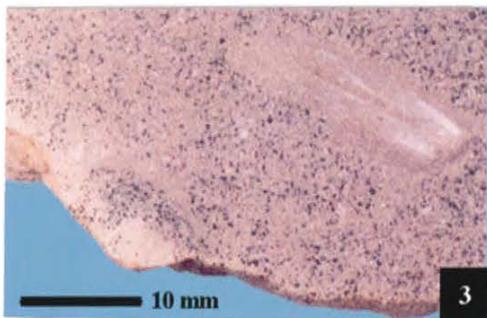


1a



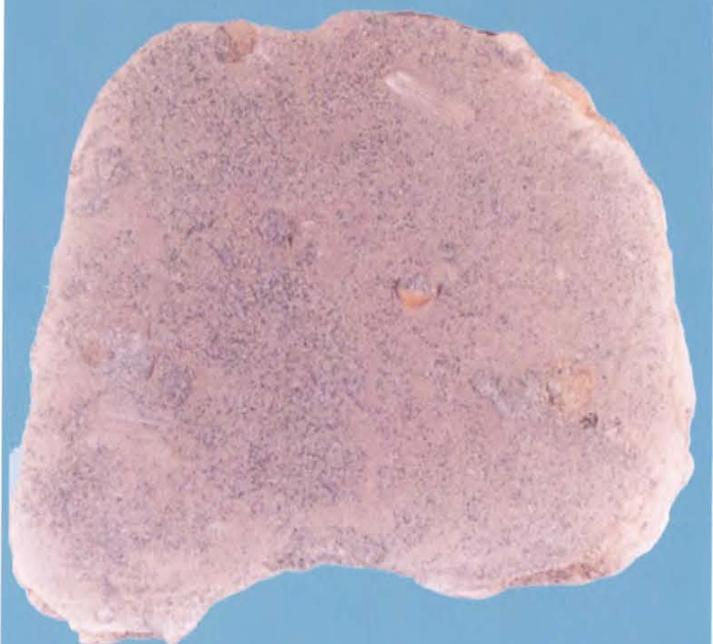
10 mm

2



10 mm

3



20 mm

1b



10 mm

4

**Planche 23.** Porifera – Demospongiae – Verongida. Famille Aplysinidae – Aplysina sp. Petit fragment de lithification ayant livré une portion significative d'un spongiaire tubulaire de taille moyenne. Ce spongiaire, ou sa partie supérieure, aura été arraché de son support inconnu. Sa charge sédimentaire interne l'aura remplacé en position subverticale dans le sédiment vaseux l'accompagnant.

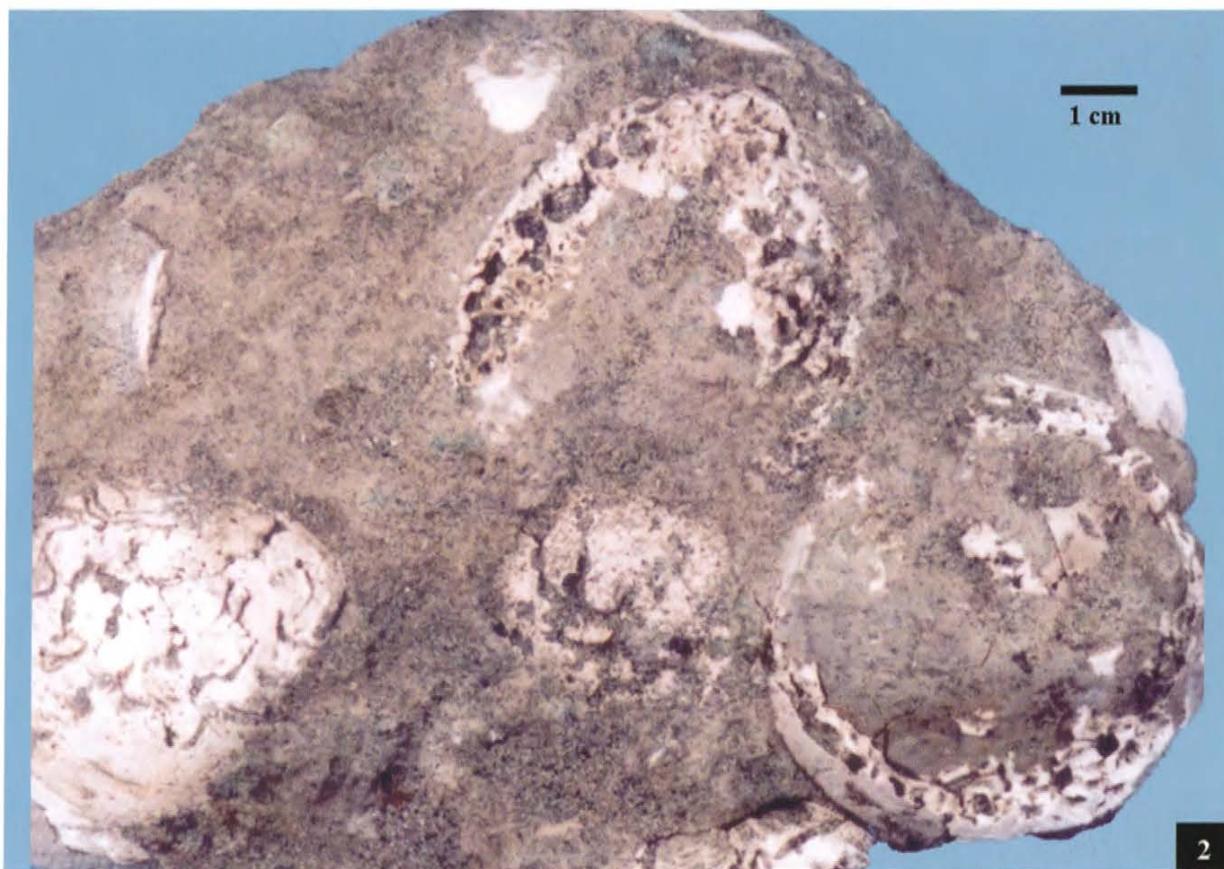
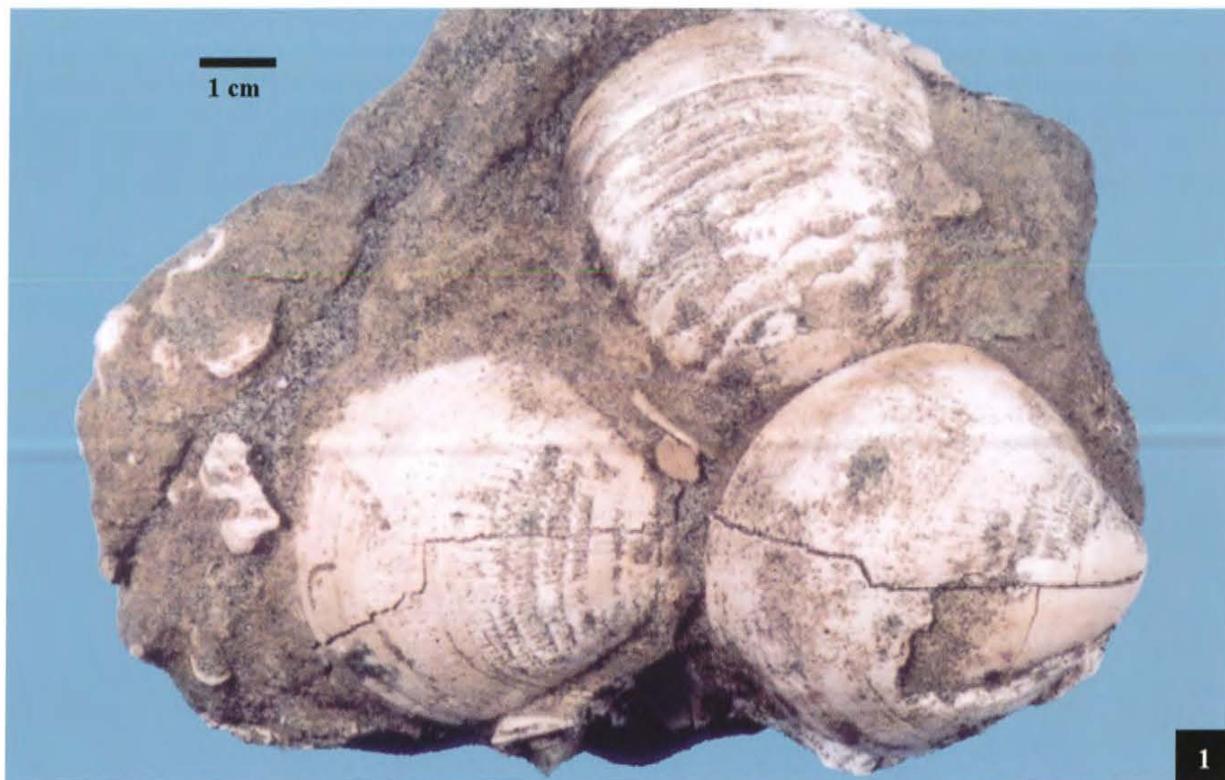
1. Face supérieure du spongiaire dégagé de sa gangue.
2. Petit fragment de lithification porteur d'un spongiaire.
3. Partie supérieure et éclaté partiel du spongiaire montrant sa constitution interne et le sédiment de comblement.
4. Vue latérale du spongiaire extrait de sa gangue.



**Planche 24.** Conservation des coquilles des grands bivalves et présence de spongiaires clionides.

1. Bloc avec grands bivalves en vue dorsale, deux valves de *Glycymeris lunulata baldii* Glibert & Van de Poel, 1965 et une valve de *Pelecypora* (anc. *Pitar*) *polytropha nysti* (D'Orbigny, 1852). Ces coquilles sont relativement peu altérées. Les brisures et arrachements partiels de coquilles résultent du prélèvement mécanique. Une partie de l'abrasion superficielle de la partie élevée des coquilles est due au gravier de base des Sables du Kattendijk dont le bloc fut extrait.

2. Bloc porteur de valves isolées de *Glycymeris* montrant une profonde biodégradation essentiellement due à l'activité de spongiaires perforants du type clionide. Les faces internes des coquilles avaient servi de support aux tubes calcaires d'annélides polychètes sédentaires de type serpulide. La décalcification postérieure à l'induration de ces lithifications a dissout les délicats tubes de ce type de serpulides, mais n'a pu venir à bout de la masse plus volumineuse des coquilles de *Glycymeris*. Ces dernières étaient toutefois pulvérulentes ou liquéfiables. Leur préservation a nécessité un traitement in situ.



**Planche 25.** Grande lithification du type dalle, porteuse d'astéries *Ceramaster cf. polonicus* Nosowska, 1997.  
Vue d'un secteur de la face supérieure d'une grande lithification qui porte les squelettes, dont certains presque intacts, d'une dizaine d'astéries goniastéroides. Ce bloc a été retrouvé au sommet des sables miocènes et partiellement enchâssé dans le Gravier de base des Sables du Kattendijk. Sa face supérieure ne révéla au premier rinçage sur place que trois astéries. Une fine pellicule argileuse très légèrement silteuse masquait la présence des autres individus qui n'apparaîtront qu'après frottement délicat à la brosse douce et seront mis en valeur par un minutieux dégagement du à son inventeur et propriétaire (Collection E. Wille).



**Planche 26.** Constitution du bloc porteur des astéries *Ceramaster cf. polonicus* Nosowska, 1997 (cf. pl. 25).

Diverses vues de la lithification porteuses des astéries goniastéroides. (Collection E. Wille).

1. Détail d'une partie de la face inférieure de l'ancien surplomb naturel du bloc à astéries figuré Planche 29. Celle-ci est constituée par une masse sableuse glauconifère lumachellique. Sa plus grande dimension résiduelle mesure près de 60cm.

2. Vue d'un côté anciennement érodé du même bloc montrant la succession de ses sédiments constitutifs et la résistance différentielle à l'érosion en résultant. L'érosion aurait été active avant l'induration complète du bloc. Ce qui signifierait que sa partie supérieure se trouvait à fleur d'eau, voire momentanément émergée.

3. Section artificielle du même bloc montrant la succession des sédiments constitutifs : lumachelle sableuse glauconifère, diffuse, masse argileuse carbonatée compacte et couverture argileuse meuble terminale, porteuse des astéries.

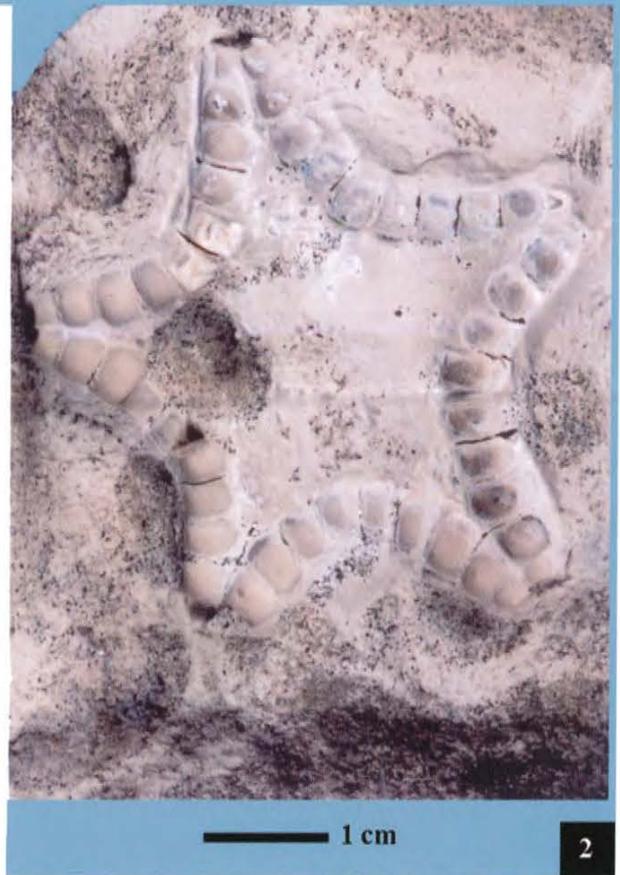
Ce bloc illustre à la perfection la puissance de l'érosion latérale, due aux mouvements de flux et de reflux des marées successives en une passe étroite ou un goulot entre îlots mangroviens. Chaque mouvement étant freiné par la présence de la croûte d'épandage de la tempestite en phase d'induration, accentuait érosion et affouillement latéraux. L'induration insuffisante de la croûte allait provoquer sa fracturation dès que l'affouillement aura dépassé les limites de la portance gravifique.



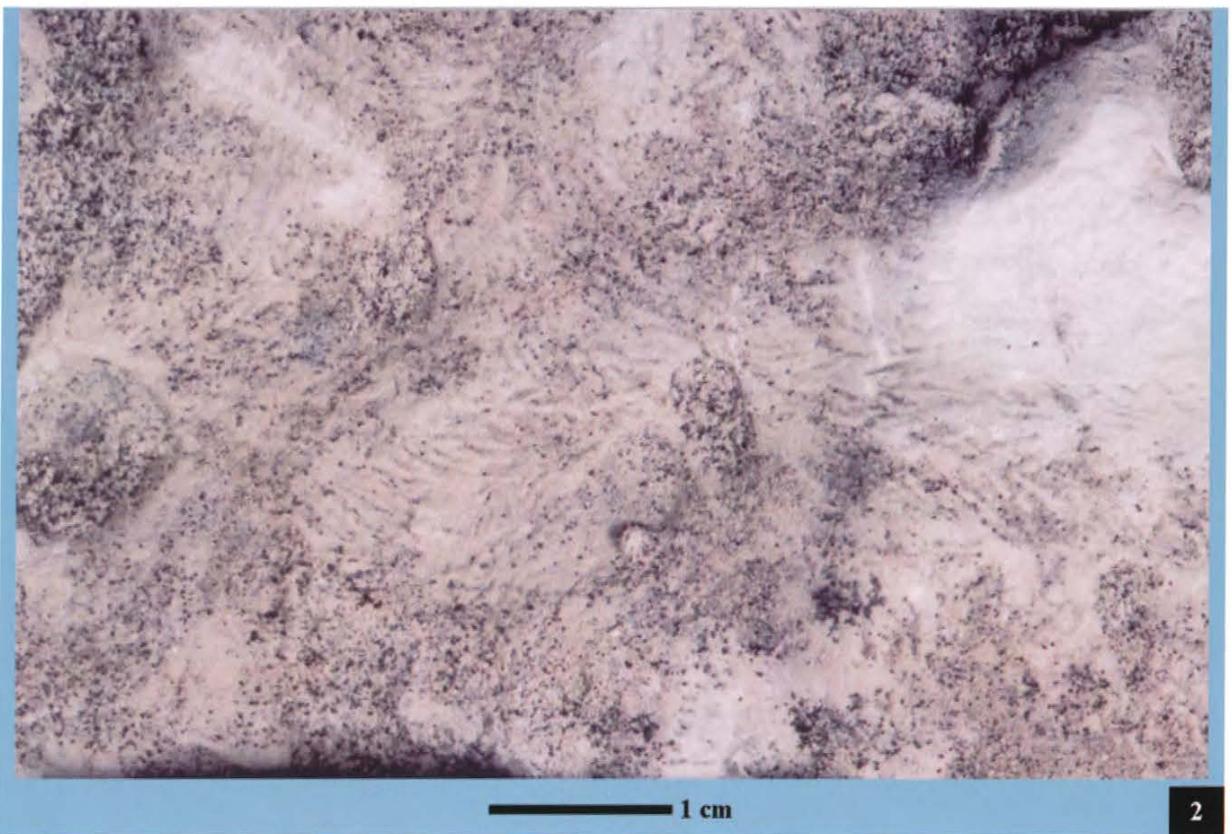
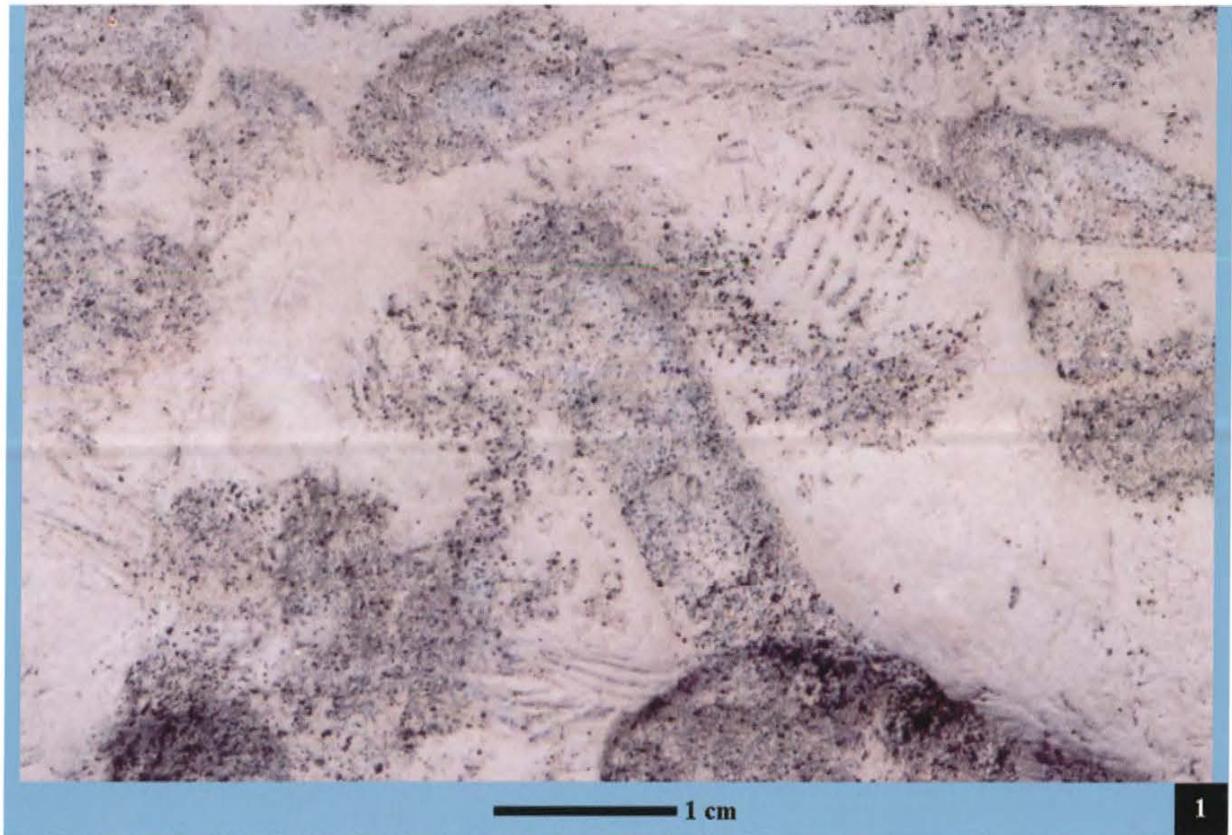
**Planche 27.** *Ceramaster cf. polonicus* Nosowska, 1997. Diverses astéries du même bloc.

Ces astéries proviennent toutes de la surface supérieure du bloc figuré planches 25 et 26 in Collection E. Wille. Vues de divers spécimens d'astéries cf. *Ceramaster polonicus* du même bloc. **1.** Vue dorsale d'un spécimen presque intact mais partiellement engangué. Les pièces terminales du squelette des bras lui font défaut, ses faces supérieure et inférieure sont encore superposées mais se sont disjointes. **2.** Individu dont la face supérieure a perdu ses granules les plus fins et dont les pièces terminales des bras font également défaut. **3.** Individu dont les faces supérieure et inférieure viennent de se dissocier. Les gaz produits par la corruption des tissus internes associés à un très faible courant superficiel de marée en auront été la cause. Les pièces terminales des bras manquent et quelques assules se sont dissociées. **4.** Détail de la partie marginale du spécimen figuré en 3. Quelques traces de reptation se devinent encore à côté de l'astérie. Ces dernières ont toutefois été légèrement endommagées en cours de dégagement. Si on se réfère aux minutieuses observations de SCHAEFER (1972), tous ces détails caractéristiques de la dégradation progressive du squelette de semblables astéries révèlent qu'il s'est écoulé un peu plus de 72 heures après leur décès (en milieu tropical).

Les terriers à remplissage séquentiel qui les accompagnent (cf. Planche 14, figure 4) nous proposent une succession de onze marées, hautes et basses, avant leur enfouissement définitif. Ce chiffre vient corroborer la précédente proposition.



**Planche 28.** *Ceramaster cf. polonicus* Nosowska, 1997. Traces au repos et traces de reptation. Ces détails proviennent de la surface supérieure du bloc figuré planches 25 et 26. Collection E. Wille. **1.** Même échantillon. Traces supposées attribuables aux *Ceramaster*: au repos étales, en mouvement reployées. **2.** Même échantillon. Autres traces de reptation attribuées aux *Ceramaster*.



**Planche 29.** Bloc à échinides et terrier concrétionné.

Vue d'une partie d'une lithification du type *dalle* de plus de 48 cm sur 43 cm et de plus de 14 cm d'épaisseur porteuse de trois tests d'échinides irréguliers spatangiformes et d'un grand terrier bifide concrétionné.

Le bloc a été fortement érodé sur tout son pourtour et posait sur le fond en offrant de larges surfaces en surplomb. C'est sur une de ces aires en surplomb qu'a été édifié le terrier bifide cimenté et concrétionné. Ce terrier est forcément postérieur à l'induration complète de la lithification et postérieur à l'érosion de sa périphérie. Les éléments de gravillon l'entourant appartiennent au gravier de base pliocène (Gravier de base des Sables du Kattendijk). Il n'est pas exclu qu'il soit donc d'âge pliocène. Son type correspond à celui de certains crustacés callianissiformes terricoles, à celui de certains poissons téléostéens fouisseurs gobiiformes ou encore à celui réunissant en symbiose callianassidés et gobiidés. Les échinides appartiennent eux à la faune miocène. Le spécimen figuré serait un Spatangidae attribuable sous réserves au genre *Hemipatagus*. Les deux autres, non figurés, à test plus frêle pourraient être des Loveniidae. Echantillon appartenant à la Collection E. Wille.

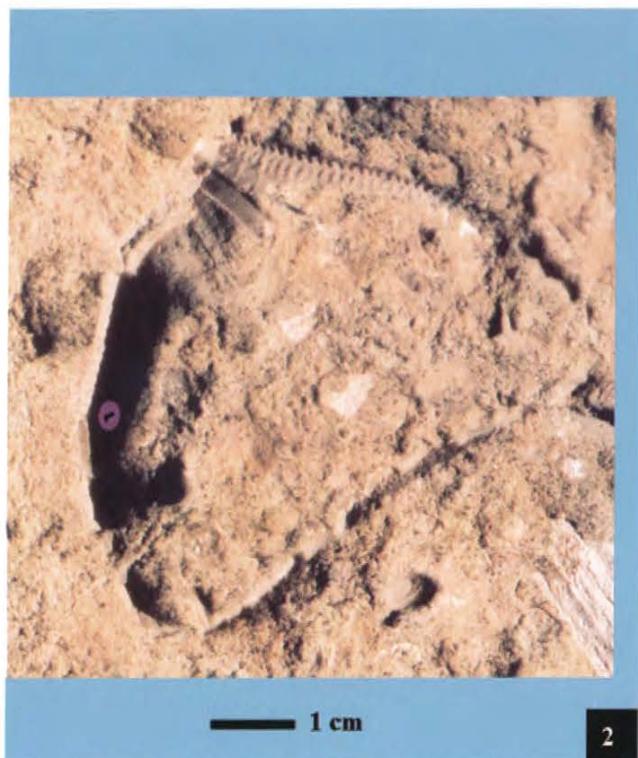
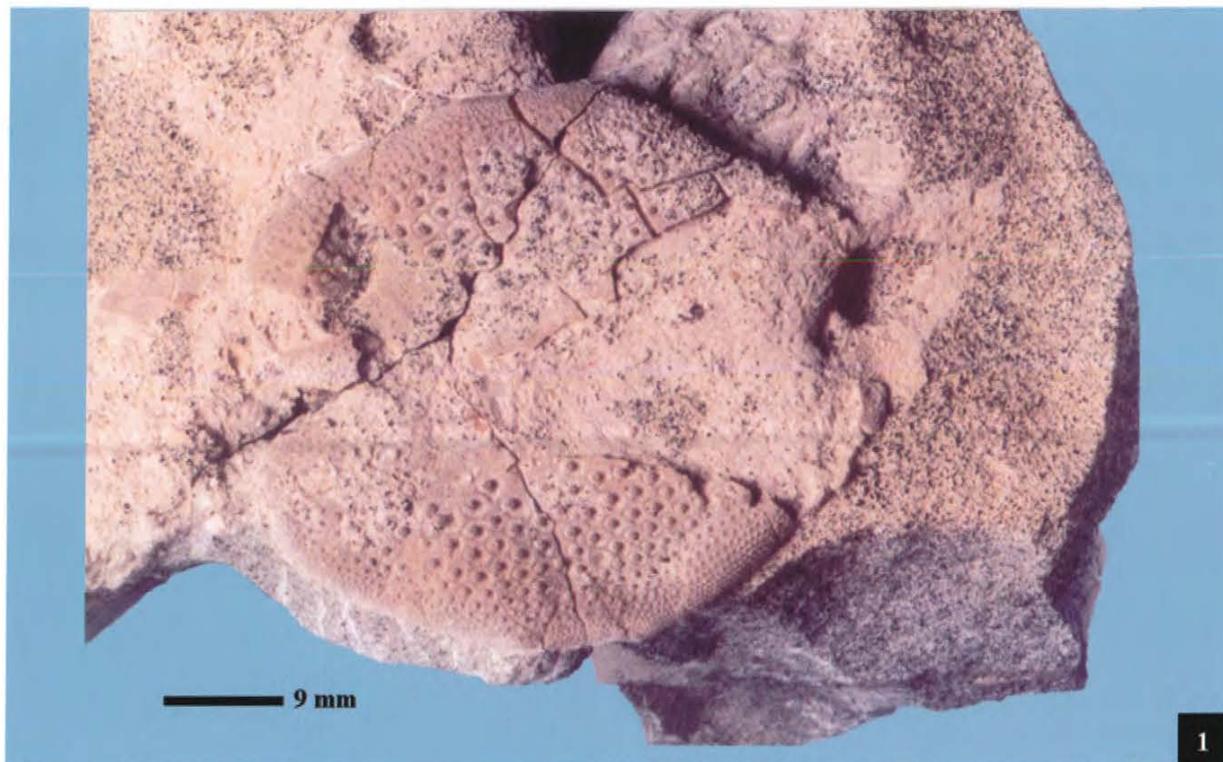
1. Détail de la face inférieure de l'échinide irrégulier spatangiforme cf. *Hemipatagus*, d'une extrémité du terrier concrétionné et de quelques gravillons pliocènes adhérant superficiellement à la lithification.

2. Vue plus générale de la face inférieure d'une extrémité de la grande et massive lithification présentant le test d'un petit échinide irrégulier spatangiforme cf. *Hemipatagus* et un grand terrier concrétionné débouchant sous surplomb.



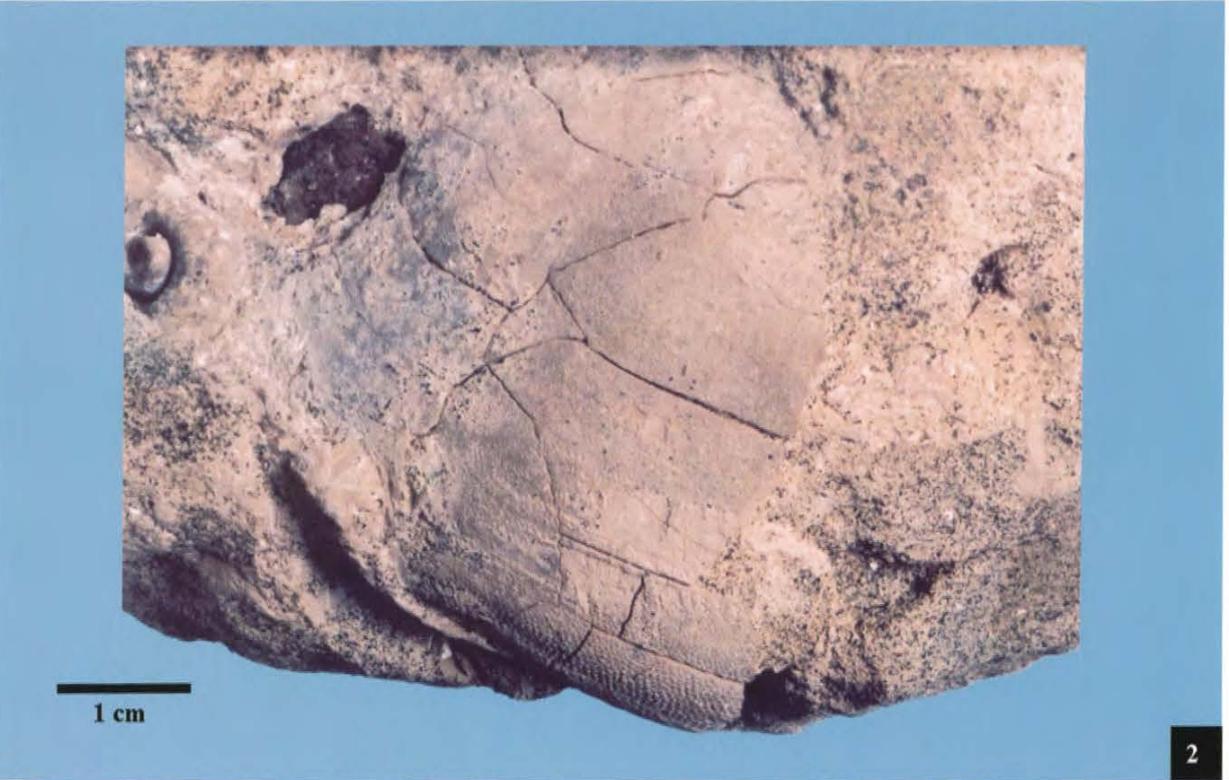
**Planche 30.** Spatangoida - cf. Famille Spatangidae

1. Face inférieure d'une lithification malencontreusement fracassée montrant la face orale d'un échinide spatangiforme cf. *Hemipatagus*. Cet individu était demeuré ou s'était remis en position de vie.
2. Grand éclat, face latérale du test d'un autre type d'échinide irrégulier spatangiforme présentant une section antéro-postérieure particulièrement élevée et gibbeuse. Cette portion de test est vue par sa face interne. Elle est fermement prise dans la masse de la lithification et est particulièrement érodée et abrasée. Ceci résulte du basculement et du retournement de la lithification lors de son remaniement. L'intensité de l'oxydation de cette face suggère une assez longue exposition aérienne. L'abrasion pourrait être en partie éolienne.
3. Petit secteur de la partie inférieure d'une lithification montrant l'empreinte partielle de l'ornementation de la face supérieure du test d'un échinide irrégulier spatangiforme. L'animal était en position de vie. Les trois orifices visibles sont ceux qui furent utilisés pour le passage de ses pieds respiratoires tubulaires, pénicillés et extrêmement extensibles.



**Planche 31.** Spatangoida - cf. Famille Spatangidae

1. Partie de la face inférieure d'une lithification recelant divers éléments du test écrasé et disloqué d'un échinide irrégulier spatangiforme. Le test jeté en laisse d'éstran, face orale vers le haut, et vraisemblablement fracturé par le choc s'est disloqué sous la pression d'enfouissement si légère fut-elle. Ses plaques constitutives se sont disjointes, certaines sont demeurées presque juxtées et le processus de lithification les cimentant a empêché une dispersion plus importante. Après remaniement et basculement, le bloc a été légèrement érodé. Cette érosion fut toutefois trop faible pour venir à bout de la cimentation ancienne.
2. Autre partie de face inférieure d'une lithification montrant une portion latérale postérieure du test d'un grand spatangide prise dans sa masse. Les plaques de cette partie du test sont restées en connexion anatomique.



**Planche 32.** Bryozoa – Ostracoda – Vertebrata.**1.** Bryozoa – Cheilostomata – Famille Cupuladriidae – *Discoporella* sp.

Un des trois spécimens découverts lors du débitage des lithifications. Clichés H.P. De Bond.

**2.** Ostracoda – Podocopa – Famille Loxoconchidae – *Kuiperiana tenuiplicata* Bassiouni, 1962

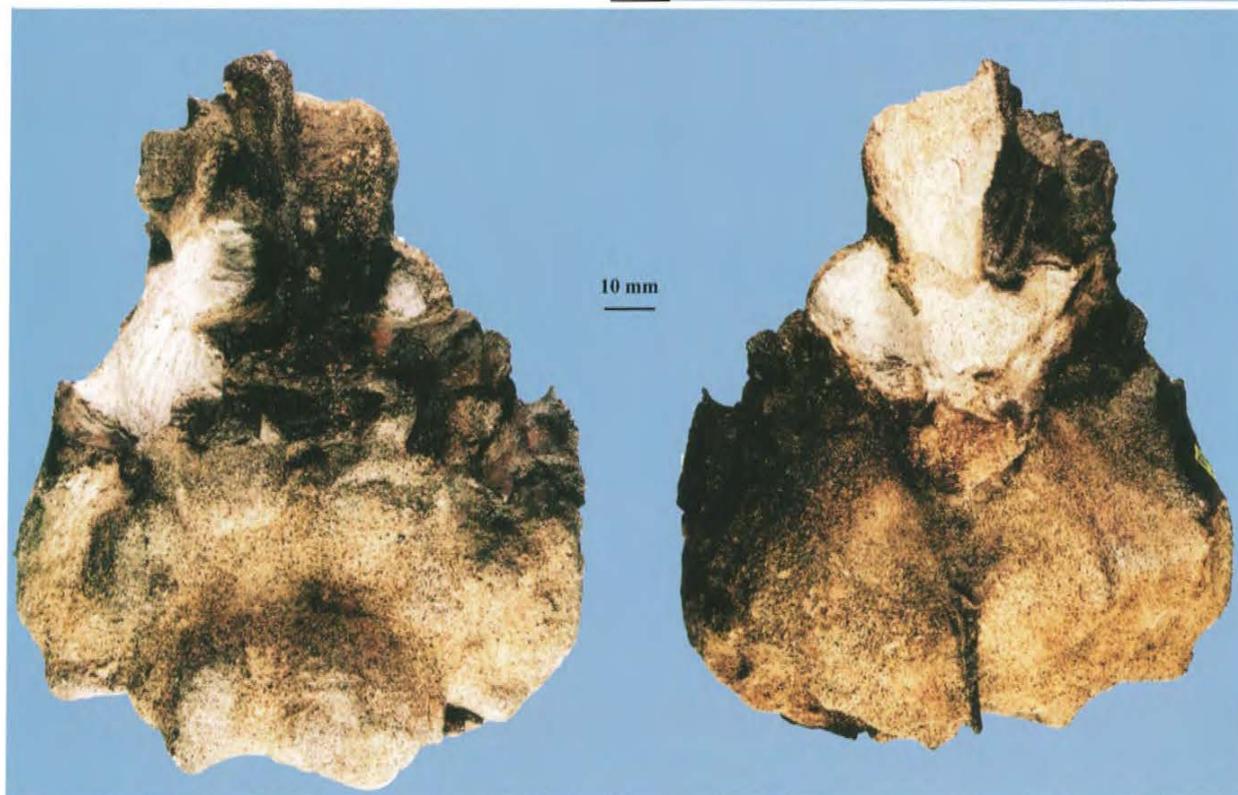
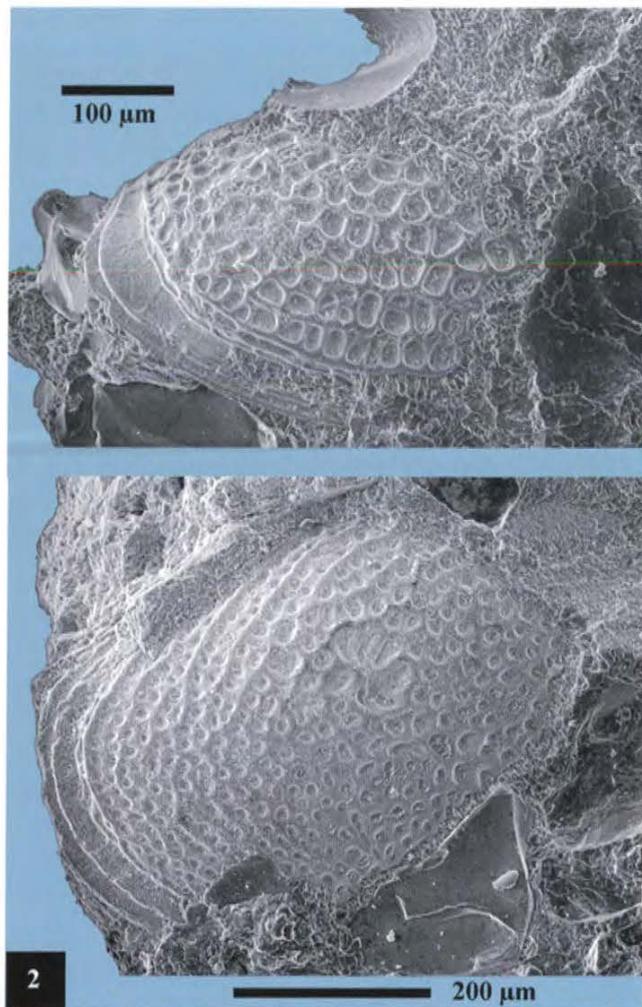
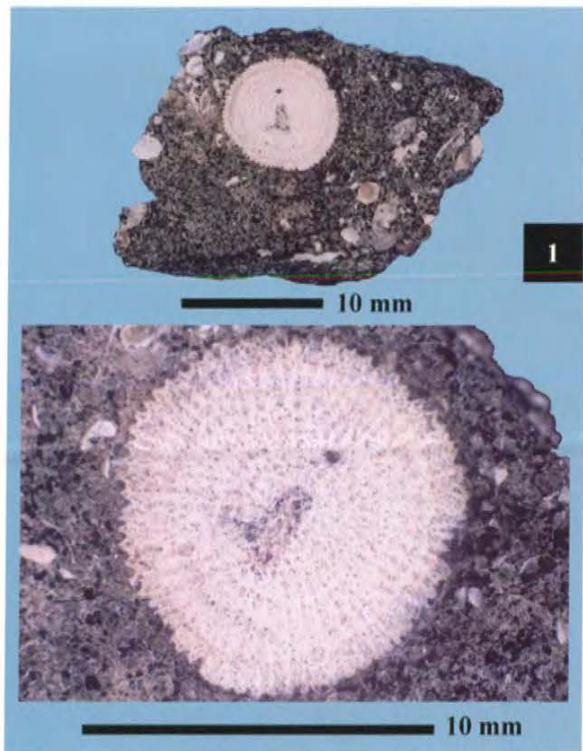
Vues de la face externe des deux seules valves isolées d'ostracodes découvertes lors du débitage au lithosecteur de divers fragments résiduels des lithifications. Elles sont engangées dans leur lithification originale.

**3.** Vertebrata – Mammalia – Cetacea – Odontoceta

Famille Eurhinodelphinidae – *Schizodelphis marckhoviensis* (du Bus, 1872).

La figure présente deux vues d'un délicat vestige crânien pris dans une concrétion gréseuse. Celle-ci était superficiellement très faiblement glauconifère, ce qui pourrait résulter d'un enrobage secondaire. Sa masse est constituée d'un sable fin blanc, pratiquement dépourvu de glauconie. Ceci évoque un échouage, un ensablement et une grésification en milieu côtier désertique aride, ainsi qu'un remaniement ultérieur.

Il est difficile de préciser le degré de soudure des composants de ce crâne et par conséquent de tenter d'en préciser l'âge. Il semblerait toutefois qu'il aurait appartenu à un individu juvénile ou adolescent plutôt qu'à un individu sénile.



**Planche 33.** Vertebrata - Mammalia - Cetacea - Archaeoceta.

Famille Squalodontidae - Squalodon sp. cf. *Squalodon antverpiensis* Van Beneden, 1861

**1.** La figure présente trois vues, dorsale (**1a**), ventrale (**1b**) et latérale gauche (**1c**) de la partie postérieure d'un crâne engangué dans une concrétion gréseuse superficiellement faiblement glauconifère, mais constituée d'un sable fin blanc, pratiquement dépourvu de glauconie. Ceci évoquerait un échouage, un ensablement et une grésification en milieu côtier désertique aride.

La longueur totale résiduelle de cette pièce est de 48.5 cm. Le degré de soudure des pièces crâniennes est suffisant pour suggérer un individu adulte. Membre des Sables de Kiel. Collection E. Wille.

La qualité de préservation de toutes les parties osseuses permet de penser qu'il s'agit d'une portion de carcasse en dérive flottante. La lourde masse céphalique s'est détachée du tronc qui gonflé poursuit son errance, corrompue elle avait déjà perdu ses mandibules. Les dents supérieures viennent de quitter leurs alvéoles demeurées intactes, aucun organisme marin n'est venu y adhérer ou les altérer.

Une faible abrasion latérale du crâne suggère toutefois une petite phase transitoire précédant la grésification complète et l'enfouissement définitif.

**2.** Molaire. Gravier de base de la Formation du Kattendijk. Faces externe et interne d'une dent découverte à proximité et dans la même masse de déblai ayant livré le crâne illustré. Sa fraîcheur permet de supposer qu'elle aurait pu appartenir au même individu. Elle ne s'insère toutefois en aucune des alvéoles que présente cet arrière crâne.



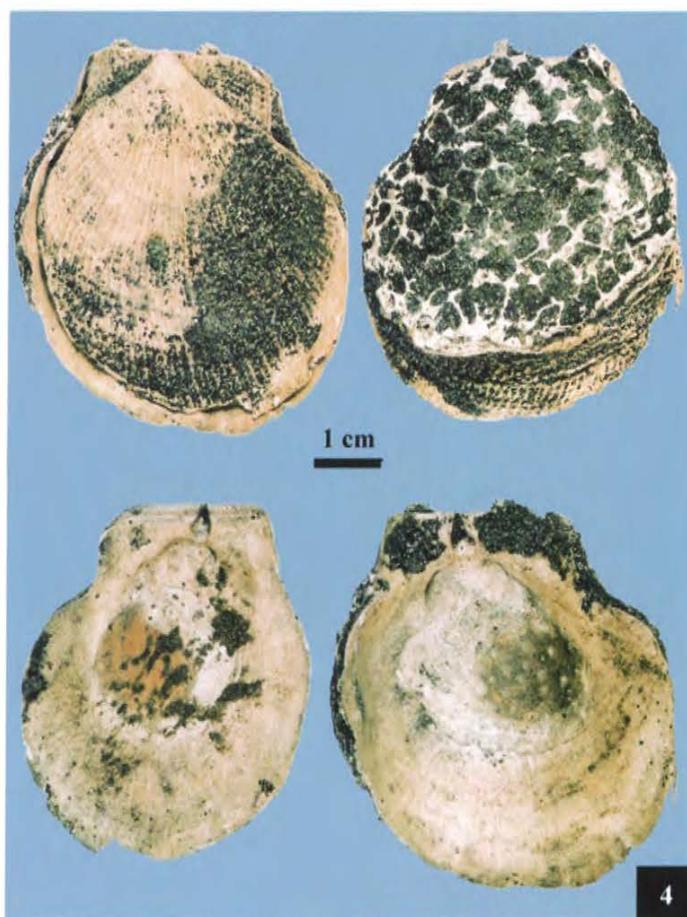
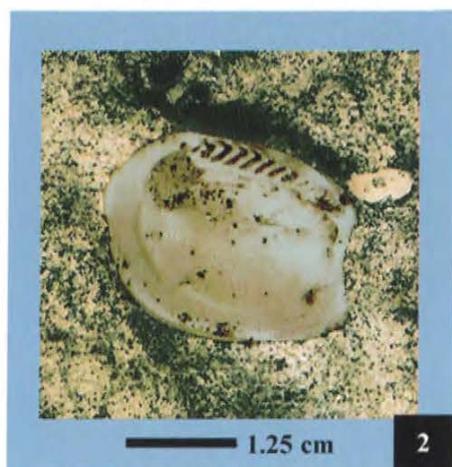
**Planche 34.** Mollusca. Bivalvia : Familles Glycymerididae , Nuculidae , Tellinidae et Pectinidae.

Les figures **1**, **2**, et **3** : concernent des lithifications ou des détails de leur contenu. **1.** Famille Glycymerididae : *Glycymeris lunulata baldii* Glibert & Van de Poel, 1965. **2.** Famille Nuculidae : *Leionucula haesendoncki haesendoncki* (Nyst & Westendorp, 1839). **3.** Famille Tellinidae: *Angulus posterus* (Beyrich *in* von Koenen, 1868).

Les coquilles dépareillées et altérées des *Glycymeris* adhèrent fermement à la lithification porteuse. La cimentation scellant leur destin à celui de cette lithification serait donc de peu postérieure à la constitution de l'ensemble.

Les graviers ou gravillons présents en surface sont des constituants du Gravier de base des Sables du Kattendijk, ils y adhèrent à peine et se retirent à la brosse souple.

La figure **4** illustre un spécimen parfaitement préservé avec ses valves demeurées en connexion de *Hinnitis ercolaniana* Cocconi, 1873 récolté dans les sables à *Glycymeris* et *Arctica* sous-jacents.



**Planche 35.** Mollusca. Bivalvia : Famille Hiatellidae *Panopea menardi kazakovae* Glibert & Van de Poel, 1966

1. Grande lithification du type *pain de pierre*. Ses dimensions sont de 68 cm sur 36 cm, et 14.5 cm d'épaisseur. Elle est légèrement renflée en sa partie axiale. Sa section est ellipsoïdale légèrement aplatie. Sa composition est essentiellement gréseuse et glauconifère. La couverture argileuse carbonatée lui fait presque défaut. La lumachelle diffuse qu'elle contient semble avoir subi de légers mouvements oscillatoires avant de se figer. Tous ses côtés sont manifestement érodés mais cette érosion latérale est bien moindre que celle de la plupart des autres lithifications. Sa configuration générale et relativement massive la rapproche des deux blocs ayant livré les crânes de *Squalodon* et *Schizodelphis*. Elle est toutefois nettement plus chargée en glauconie.

Sa face *inférieure ? in situ* est porteuse d'une valve d'un bivalve *Panopea menardi kazakovae* Glibert & Van de Poel, 1966 et de la thèque d'un petit cirripède *Balanus (Chirona)* sp. guère décelable à cette échelle. Son *autre* face porte un test écrasé d'échinide spatangiforme. La photographie de la coquille de *Panopea* donne l'impression d'un contre relief ; celle-ci est en creux et non en saillie.

Il est plus que vraisemblable que le bloc a été renversé et que l'échinide au test écrasé, disloqué et partiellement préservé occupait initialement une position inverse. Un test d'échinide irrégulier en dérive échouera plus naturellement face orale vers le haut. Son écrasement par une charge massive pourra provoquer la fracturation du test et pourrait en outre être cause de la dispersion de ses plaques ambulacraires et interambulacraires sauf si l'enfouissement immédiat et une éventuelle cimentation postérieure de la masse sédimentaire englobante y succédaient.

1. Inferior surface of large stone (68 cm on 36 cm and 10.5 cm thick) with fragment of *Panopea (P.) menardi kazakovae* Gilbert & Van de Poel, 1966 and a minute *Balanus (Chirona)* sp. At the other side, fragments of a spatangid test are present.

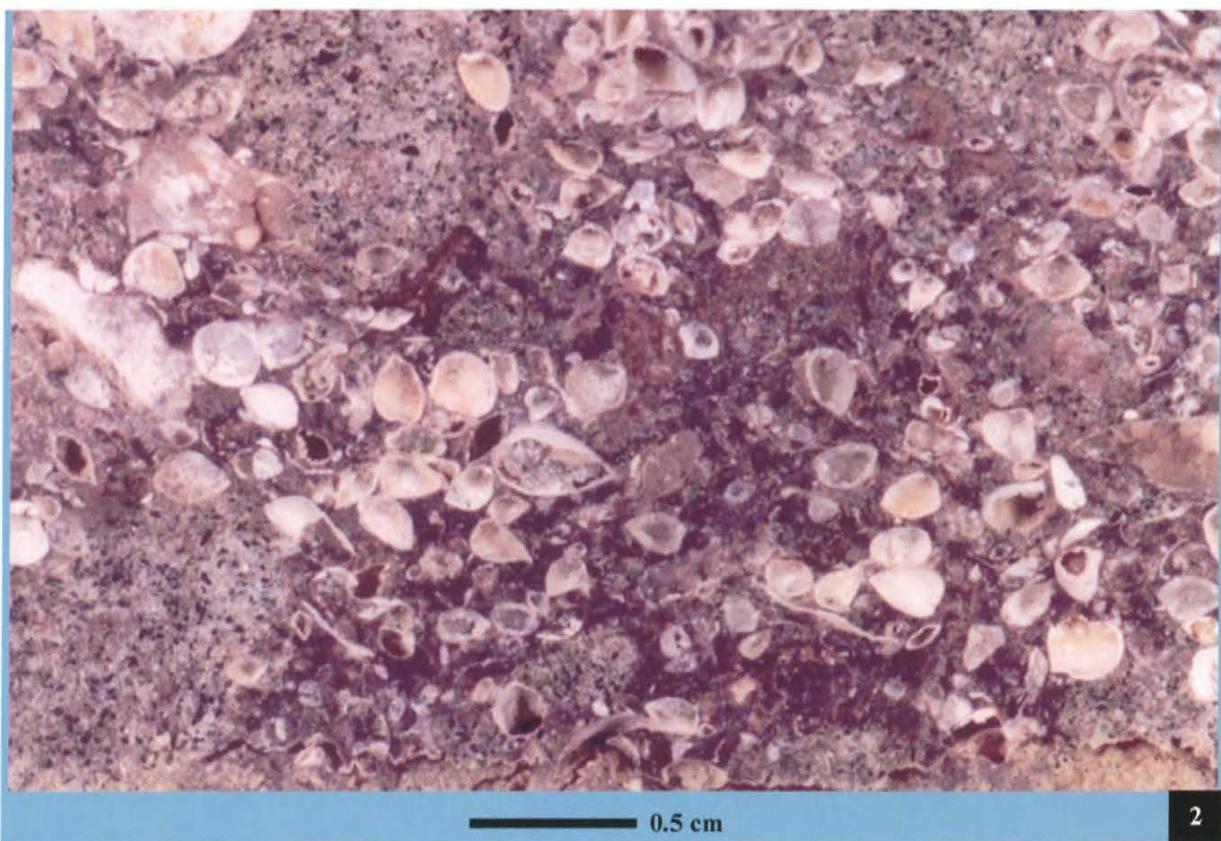
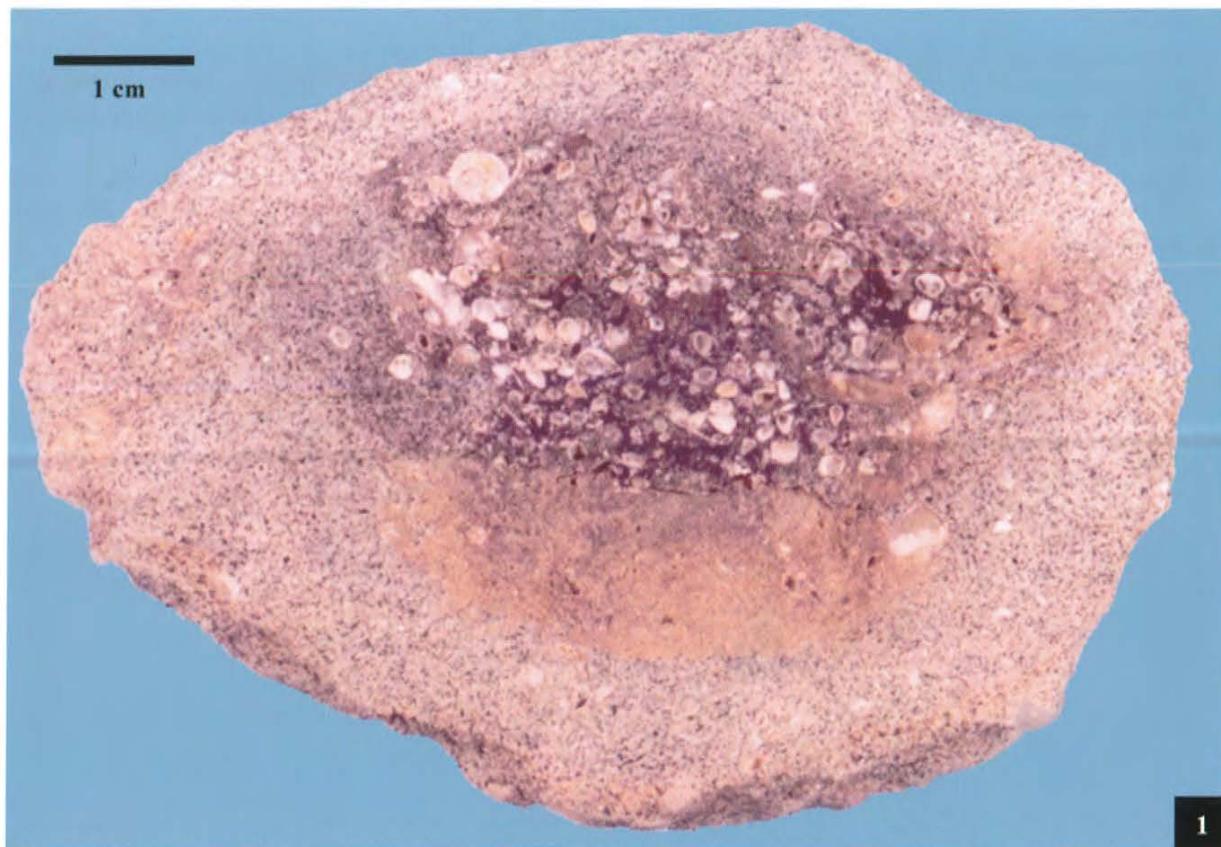
2. *Korobkovia woodi* (Nyst, 1861).

3. *Panopea (P.) menardi kazakovae* Gilbert & Van de Poel, 1966.



**Planche 36.**

1. Artificially split surface of a large stone showing a concentration of the small bivalve *Spaniodontella nitida* (Reuss, 1867).
2. Magnified part of the same sample.



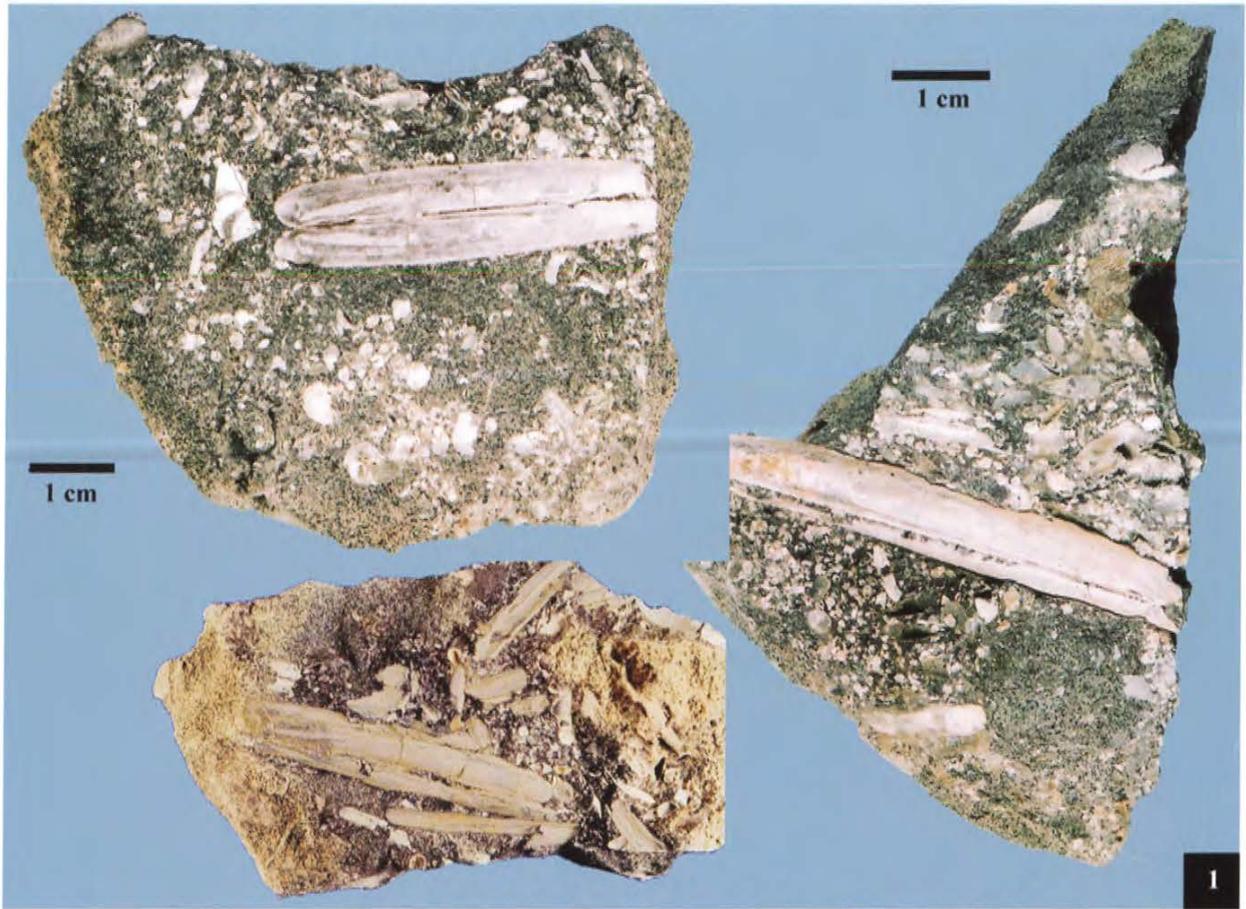
**Planche 37.**

1. *Glossus l. crassus* (Nyst & Westendorp, 1839). Antwerp, Ring Kennedytunnel ; Edegem Sand Member.
2. *Glossus b. burdigalensis* (Deshayes, 1832). Léognan, Gironde, France; Le Coquillat; Lower Burdigalian.
3. *Glossus b. cypriniformis* (Nyst in Dewalque, 1868). Antwerp, Ring Kennedytunnel ; Edegem Sand Member.
4. *Glossus b. cypriniformis* (Nyst in Dewalque, 1868). Doel, Deurganckdok; Kiel Sand Member.
5. *Glossus b. cypriniformis* (Nyst in Dewalque, 1868). Rumst, Wienerberger Quarry; Berchem Formaion, Miocene.
6. *Glossus olearii* (Semper, 1861). Antwerp, Ring Borgerhout; Deurne Sand Member.
7. *Glossus lunulatus lunulatus* (Nyst, 1835). Antwerp, metro station Schijnpoort. Antwerp Sand Member.



**Planche 38.**

1. *Ensis hausmanni* (Goldfuss, 1841).
2. *Cyrtodaria angusta* (Nyst & Westendorp, 1848).

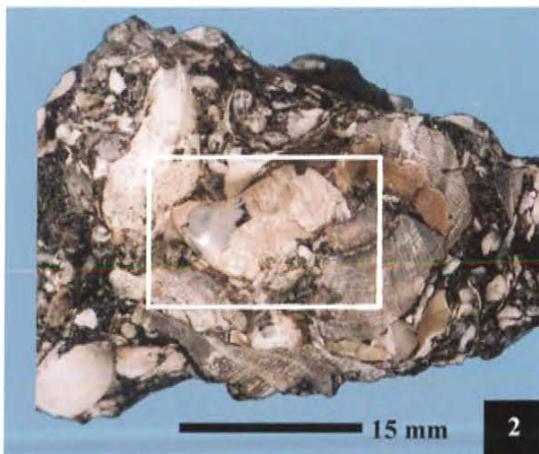


**Planche 39. 1.** Inferior view of stone with typical shell concentration, including **1a.** *Ensis*, **1b.** *Cyrtodaria*, **1c.** *Scaphander* and **1d.** *Ficus*.



**Planche 40.**

1. *Glossus lunulatus crassus* (Nyst & Westendorp, 1839).
2. *Allogramma miocaenica* nov. sp., paratype.
3. Same species, holotype.
4. *Ficus c. condita* (Brongniart, 1823).
- 5a. Same species, cast. 5b. *Ficus simplex* (Beyrich, 1856), cast. 5c. *Scaphander grateloupi* Michelotti, 1847.

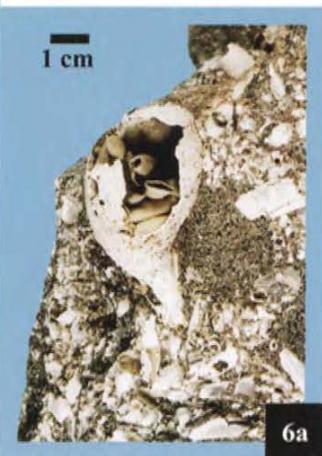
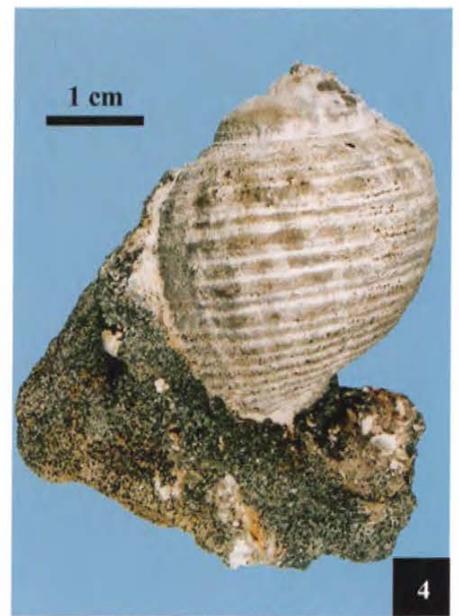


**Planche 41.**

**1, 2.** *Ficus simplex* (Beurich, 1856).

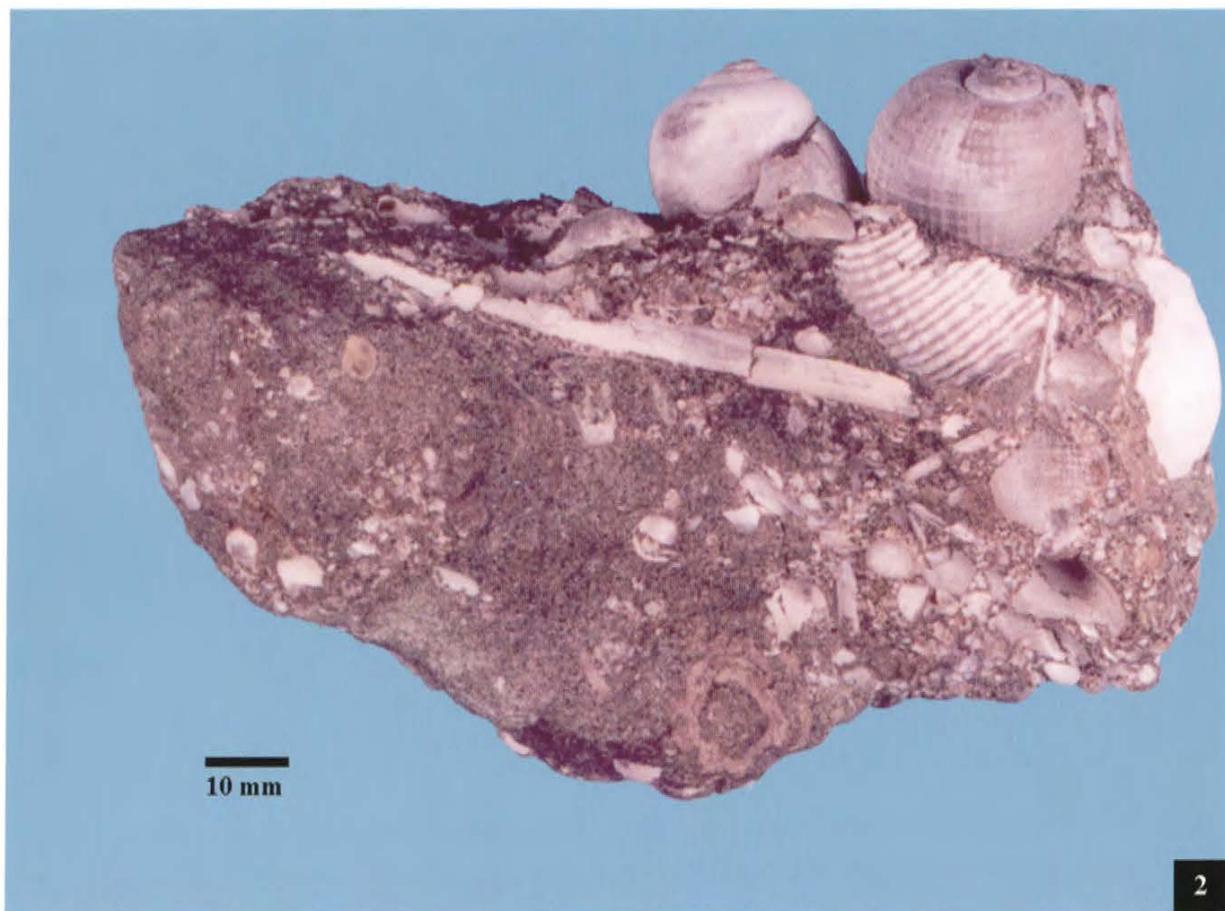
**3, 4, 5.** *Semicassis b. bicoronata* (Beyrich, 1854); in **3** and **5** also *Glossus burdigalensis cypriniformis* (Nyst in Dewalque, 1868).

**6a, 6b.** *Vaginella austriaca* Kittl, 1886 in *Ficus* sp.



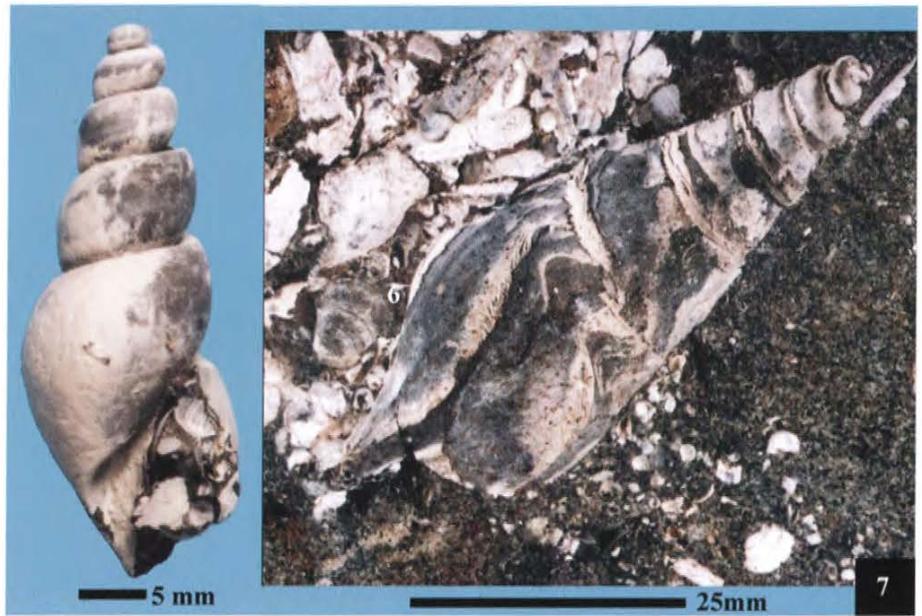
**Planche 42.**

1. Slightly opalised sandstone with dens shell concentration, with large gastropods (*Semicassis b. bicoronata* (Beyrich, 1854) and *Ficus c. condita* (Brongniart, 1823)).
2. View of same sample, upside down.



**Planche 43.**

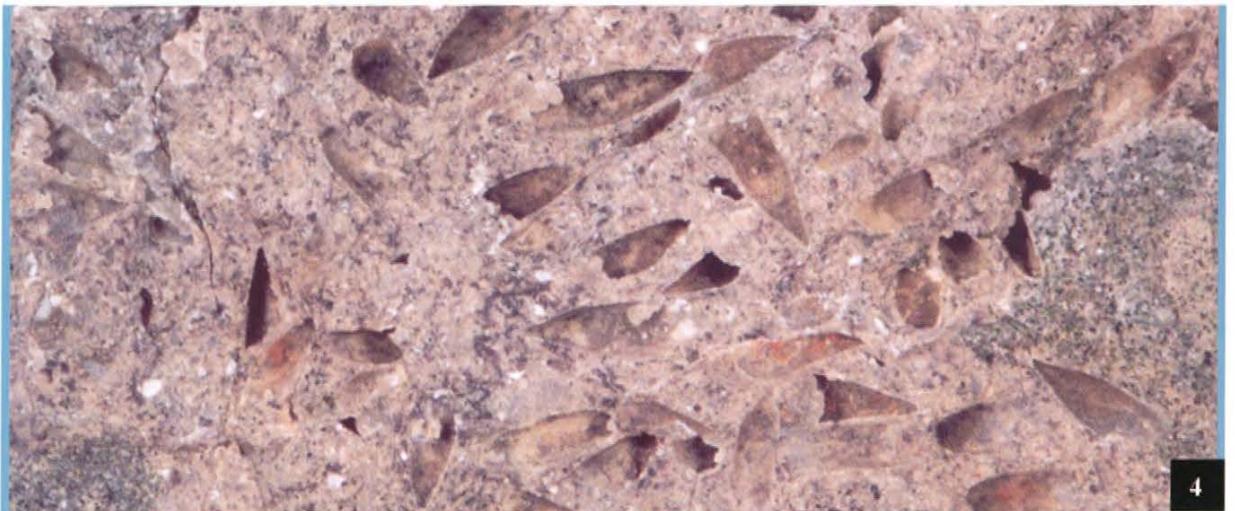
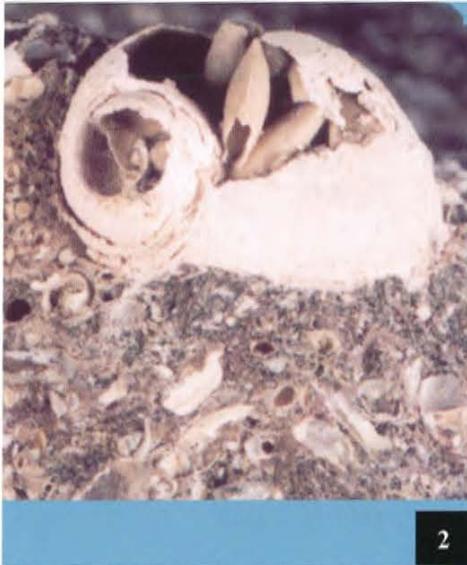
1. *Semicassis laevigata gliberti* nov. Subsp. Antwerp, Ring Kennedytunnel; Edegem Sand Member.
2. Same, Doel, Deurganckdok Sandstone Bed.
3. *Semicassis saburon* (Bruguière, 1792). Espichel, near Lisbon, Portugal ; Recent.
4. *Semicassis laevigatum miolaevigata* (Sacco, 1890). Korytnica, Holy Cross Mountains, Poland ; Early Badenian.
5. Same, Miste, Achterhoek, The Netherlands; Miste Bed, Aalten Member, Hemmoorian.
6. Same, Montegibbio, Sassuolo, Italy; Tortonian.
7. *Orthosurcula steinvorthei* (von Koenen, 1872). Doel, Deurganckdok Sandstone Bed.



**Planche 44.**

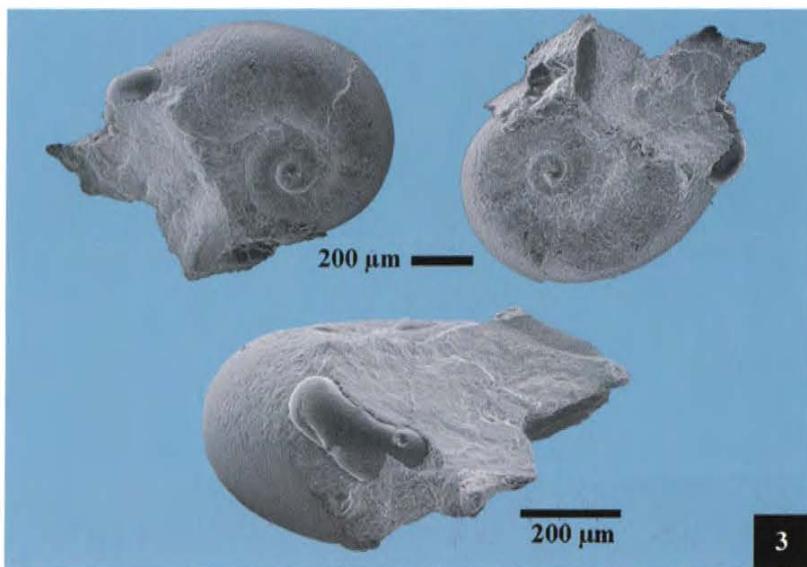
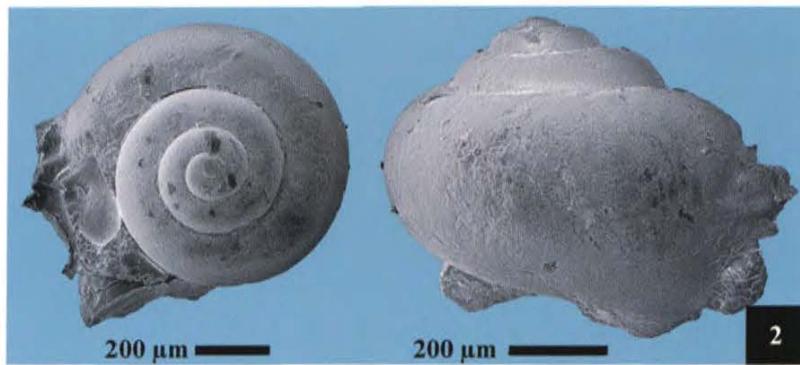
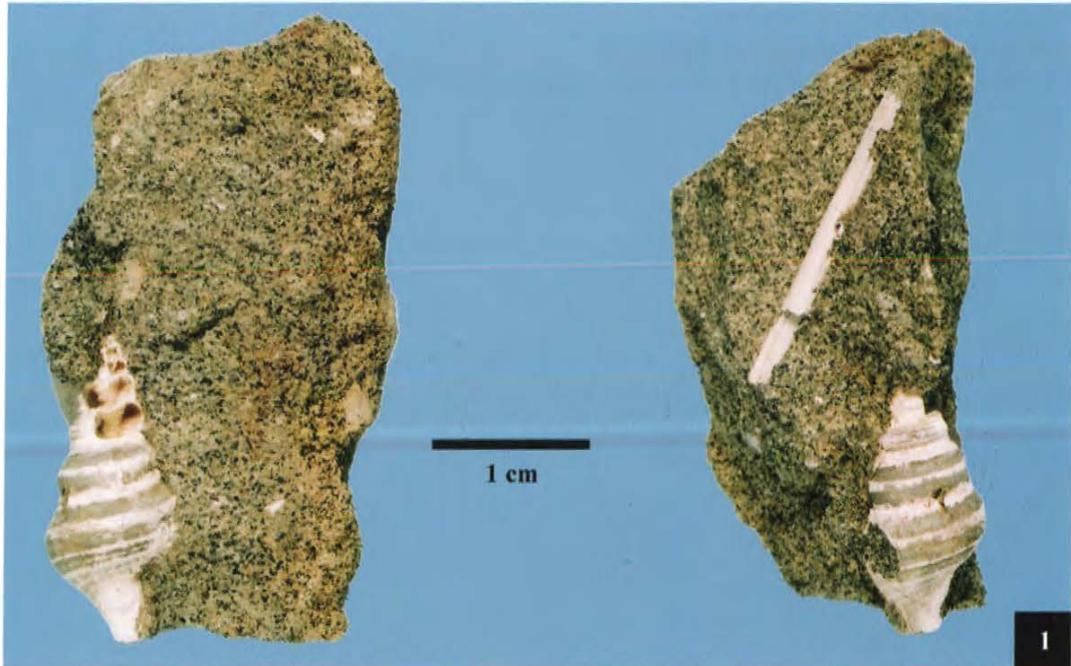
1-4. *Vaginelle austriaca* Kittl, 1886.

1. Stone with *Ficus*, filled with pteropod shells.
2. Magnification of the *Ficus* showing the pteropods.
3. Stone with negatives of pteropods.
4. Magnification of 3.



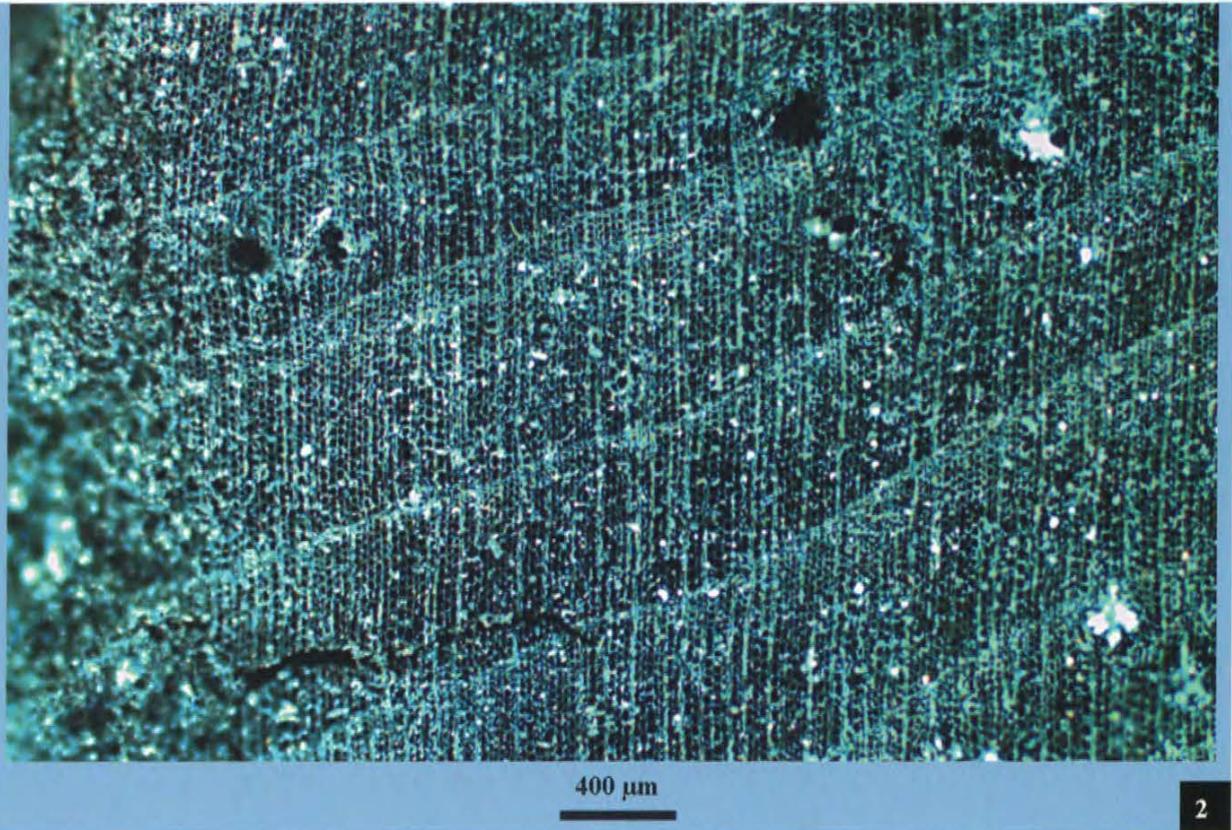
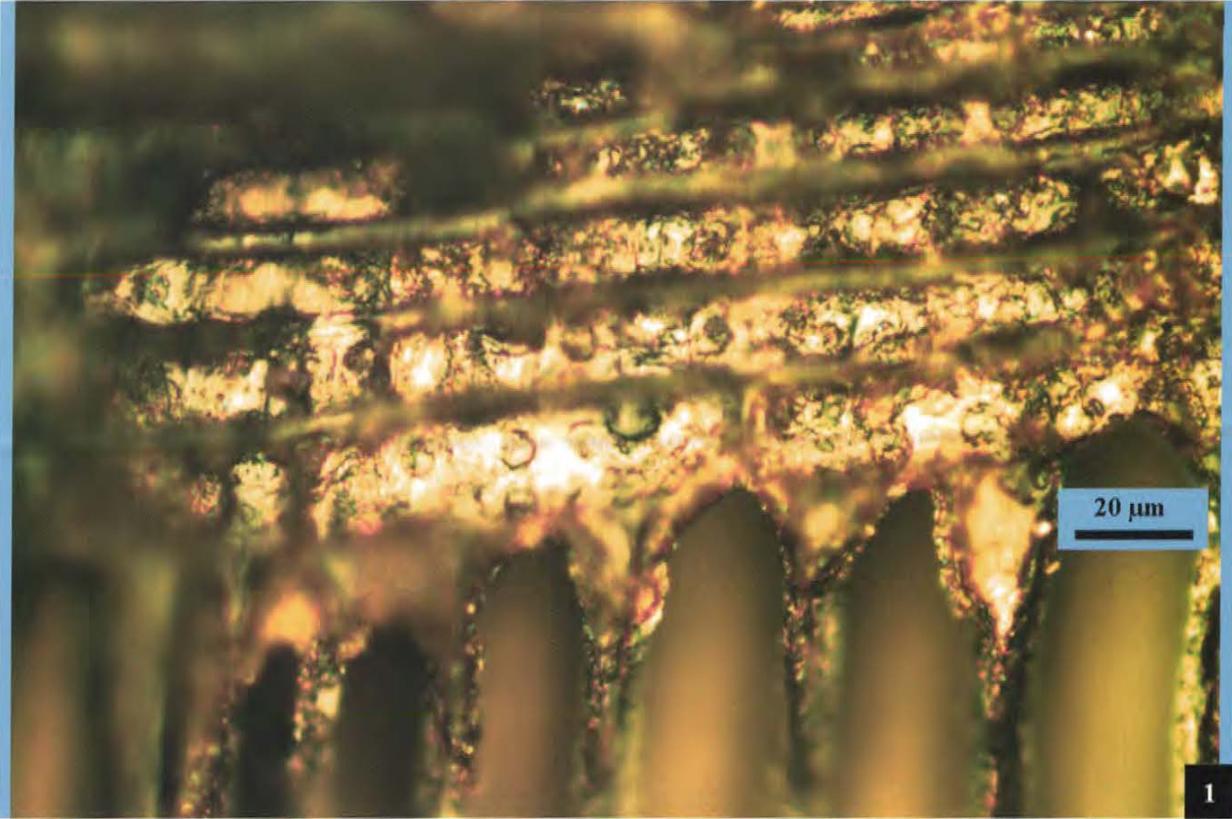
**Planche 45.**

1. *Gemmula hinschi* Anderson, 1964.
2. *Limacina* cf. *valvatina* (Reuss, 1862).
3. *Limacina* cf. *microstralis* (Kautsky, 1925).



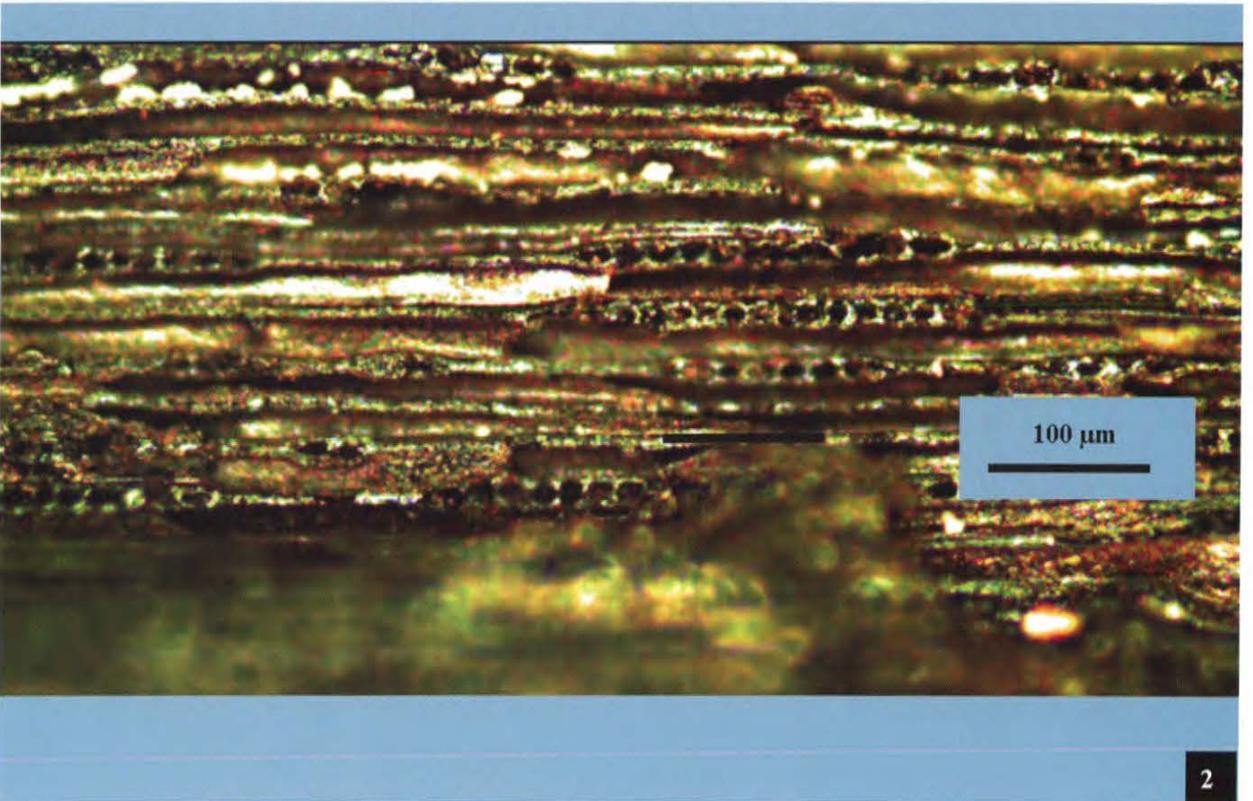
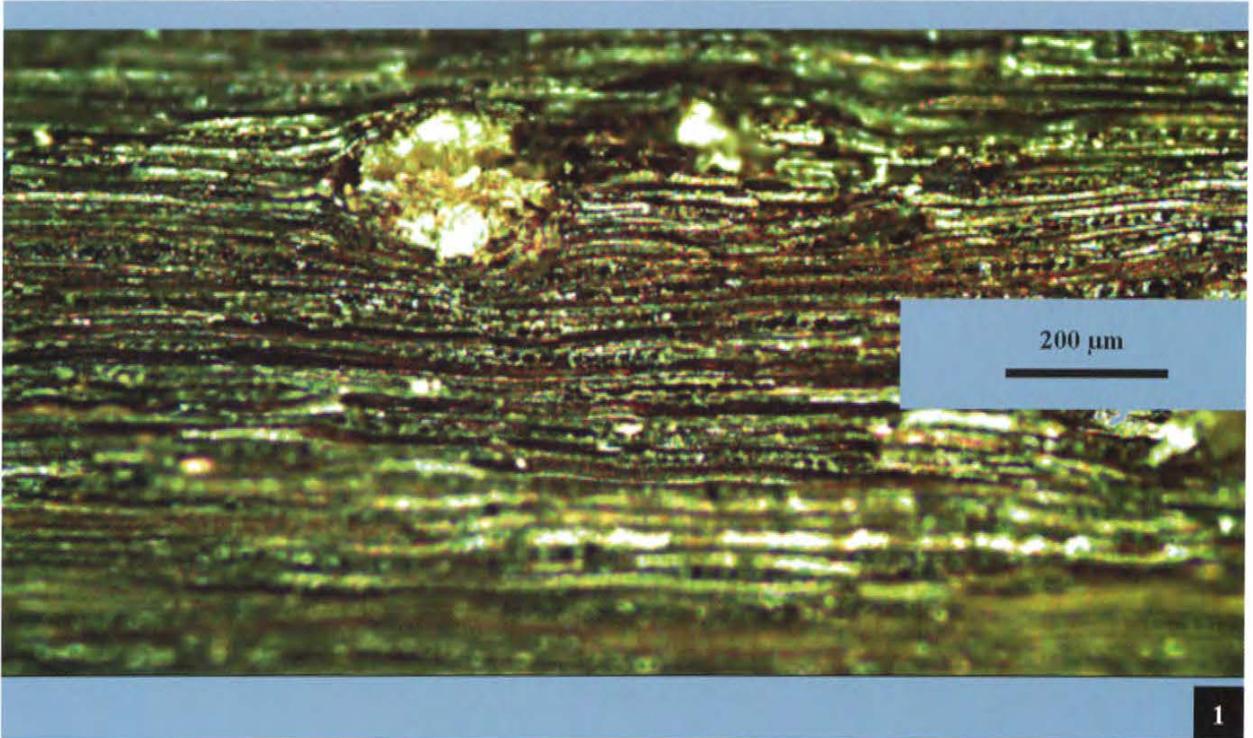
**Planche 46.** Conifères, Pinaceae, *Larix* sp.

1. Coupe radiale montrant les champs de croisement.
2. Coupe transversale montrant cernes de croissance et canaux résinifères verticaux.



**Planche 47.** Conifères, Pinaceae, *Larix* sp.

1. Coupe tangentielle avec canal résinifère horizontal.
2. Coupe tangentielle avec rayons médullaires.



## **Memoirs of the Geological Survey of Belgium**

The series, which started in 1955, welcomes papers dealing with all aspects of the earth sciences, with a particular emphasis on the regional geology of Belgium and adjacent areas. Submitted papers should present the results of syntheses of original studies (e.g. theses). High scientific level is requested. Papers written in English are preferred. Each paper will be reviewed by at least by two reviewers.

Editor                    Geological Survey of Belgium  
                                 Jenner str. 13  
                                 B-1000 Brussels  
                                 Belgium

Editorial board        Léon Dejonghe  
                                 Michiel Duser

Guide for authors: see website Geologica Belgica  
<http://www.ulg.ac.be/geolsed/GB>

List of publications and conditions of sale: see website Geological Survey of Belgium  
[http://www.naturalsciences.be/institute/structure/geology/gsb\\_website/products/pp](http://www.naturalsciences.be/institute/structure/geology/gsb_website/products/pp)  
or website Royal Belgian Institute of Natural Sciences  
<http://www.natuurwetenschappen.be/common/pdf/science/publications/Cata/index.html>

ISSN 0378-0902

© Geological Survey of Belgium

Dépôt légal:            ISSN 0408-9510  
Wettelijk depot :      ISSN 0408-9510

Impression: Service public fédéral Economie,  
P.M.E., Classes moyennes et Energie

Drukwerk: Federale Overheidsdienst Economie,  
K.M.O., Middenstand en Energie

“The Geological Survey of Belgium cannot be held responsible for the accuracy of the contents, the opinions given and the statements made in the articles published in this series, the responsibility resting with the authors.”