

PHYTOPLANKTON A PAROI ORGANIQUE ET PHASES TRANSGRESSIVES VERS LA TRANSITION PALEOCENE-EOCENE DANS LA PARTIE MÉRIDIIONALE DU BASSIN DE LA MER DU NORD

Jan DE CONINCK¹

RESUME. Les corrélations biostratigraphiques des Groupes de Landen et Ypres, entre les sondages de Kallo et Knokke traversant les Groupes de Landen et Ypres, s'appuient sur la distribution du phytoplancton à paroi organique. Certaines apparitions permettent des corrélations entre les sections belges et les bassins des anglais, danois et nord-allemands. Quatre niveaux d'apparition témoignent d'importantes phases transgressives dans cette partie méridionale du Bassin de la Mer du Nord.

MOTS CLES: Paléocène-Eocène, Bassin de la Mer du Nord, N-O Belgique, dinokystes, biostratigraphie, transgressions.

ABSTRACT. *Organic walled phytoplankton and transgressive phases near the Palaeocene-Eocene transition in the southern part of the North Sea Basin.*

Biostratigraphic correlations through the Landen and Ieper Groups, between Belgian sections from the Kallo and Knokke boreholes (NW Belgium) are based on the distribution of organic walled phytoplankton. Some appearances allow correlations between the Belgian sections and those in the English, Danish and Northern German basins. Four levels of appearance give evidence of important transgressive phases in this southern part of the North Sea Basin.

KEYWORDS: Palaeocene-Eocene, North Sea Basin, N-W. Belgium, dinocysts, biostratigraphy, transgressions.

1. INTRODUCTION

Les assemblages du phytoplancton à paroi organique sont relativement bien connus dans les dépôts yprésiens du Bassin belge. Cependant, dans le cadre des recherches relatives à la transition Paléocène-Yprésien, il s'avérait nécessaire d'élucider certains changements du paléomilieu marin durant les premiers temps de l'Yprésien dans la partie méridionale du Bassin de la Mer du Nord. En effet, les apparitions et disparitions de certaines espèces du phytoplancton sont probablement dues à de tels changements.

La succession des espèces dans la partie inférieure du Groupe d'Ypres dans le sondage de Kallo a été étudiée en détail (localisation : Figures 1 et 2a) en examinant plusieurs niveaux intermédiaires entre ceux étudiés auparavant (De Coninck, 1969 & 1976) entre -377 m et -329.5 m.

Afin de contrôler si la succession observée à Kallo, est représentative pour le bassin, un trajet d'âge correspondant a été examiné dans le sondage de Knokke (localisation : Figure 1 et 2b) entre -288 m (base du Membre X) et -245.1 m dans le Groupe d'Ypres.

Une comparaison avec les résultats de l'étude du sondage du Mont Panisel (localisation : Figure 1 et 2c) a été utile pour l'interprétation des événements liés à l'apparition de *Homotryblum tasmaniense*.

2. NIVEAUX EXAMINES

23 niveaux dans le sondage de Kallo (Figure 3).

14 niveaux dans le sondage de Knokke (Figure 4).

3. ESPECES CARACTERISANT LES CHANGEMENTS DES ASSEMBLAGES

Une comparaison de la distribution des espèces dans les deux trajets a permis de retenir 21 espèces dont l'apparition, dans la partie inférieure du Groupe d'Ypres, paraît significative pour la biostratigraphie régionale et dans le contexte de changements du paléomilieu marin (Figure 3: sondage de Kallo; Figure 4: sondage de Knokke).

Certaines espèces considérées utiles pour la définition de zones biostratigraphiques (De Coninck, 1991, p. 290-291, fig. 2), ne sont plus incorporées dans la nouvelle liste car leur distribution dans les deux sondages présente trop de différences, ou paraît en fin de compte peu significative. Il s'agit par exemple de *Wetzeliella astra* (Kallo -358 m à -337 m; Knokke -283 m à -250.1 m), de *Thalassiphora pelagica* (Kallo -358.5 m à -329.5 m; Knokke -283 m à -250.1 m), d'*Adnato-sphaeridium robustum* (Kallo -368.7 m à -342.4 m; Knokke -282.5

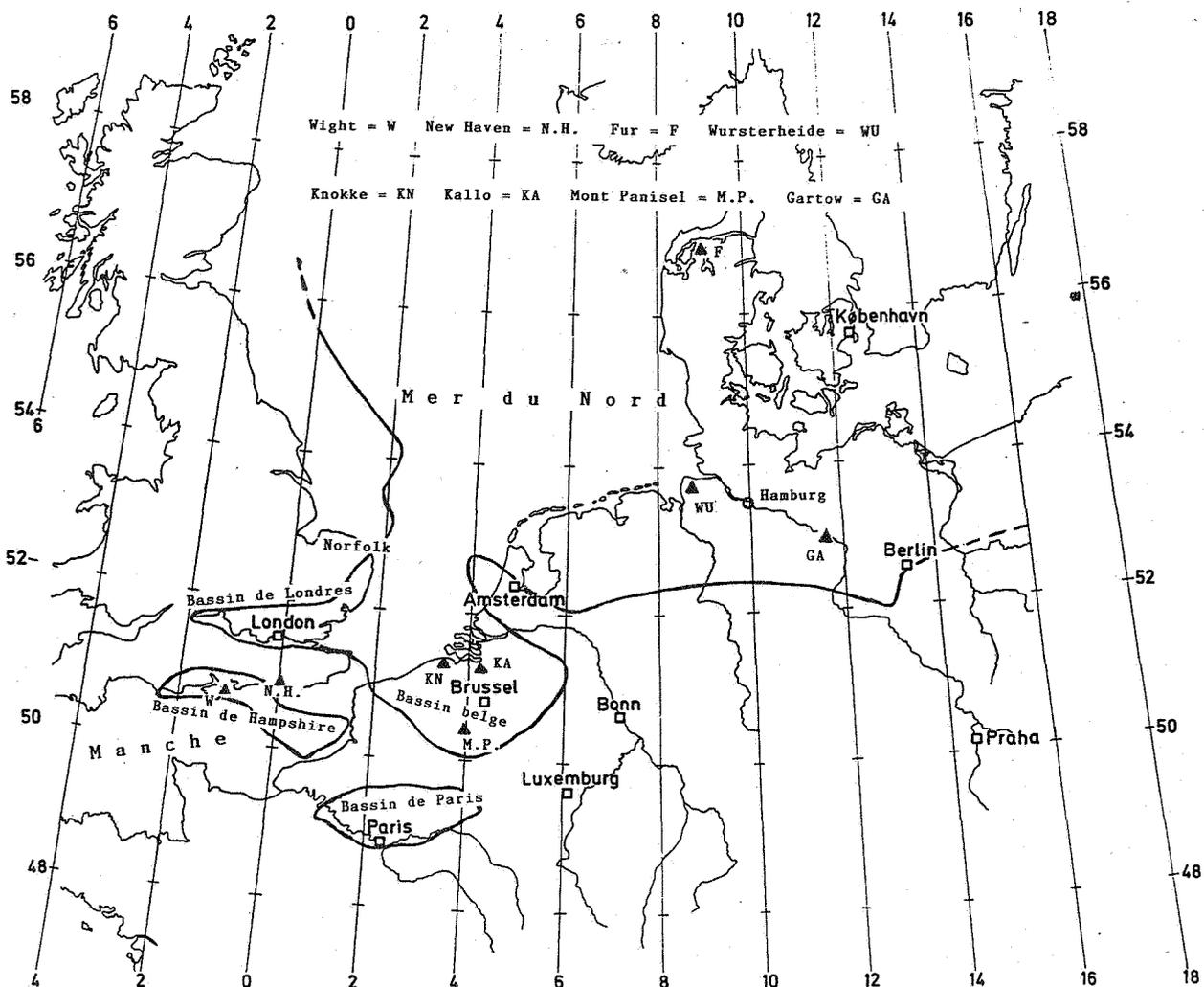


Figure 1. Aires de distribution des dépôts de l'Yprésien inférieur dans le domaine méridional du Bassin de la Mer du Nord; localisation des coupes comparées.

Areas of distribution of deposits from the Paleocene-Eocene transition in the southern part of the North Sea Basin; location of compared sections.

m à -250.1 m) et de *Kallosphaeridium brevibarbatum* (Kallo -368.7 m à -329.5 m; Knokke -283 m à -247.1 m). La grande variabilité morphologique des *Wetziellaceae* rencontrées empêche souvent de les classer convenablement. Parmi elles seulement 4 espèces significatives ont été retenues : *Wetziella lobisca*, *W. lunaris*, *Charlesdownia crassoramosa* et *Apectodinium aff. homomorphum*.

4. COMMENTAIRES SUR LA DISTRIBUTION DES ESPECES

La succession des espèces retenues est confrontée aux plus importants changements des assemblages de foraminifères (arrivée de foraminifères benthiques à test

calcareux et de foraminifères planctoniques) décrits par Willems (1980) dans le sondage de Kallo, et par King (1990) dans le sondage de Knokke. Ces changements sont indiqués respectivement dans les Figures 3 et 4.

Pseudomasia trinema a été trouvé à Kallo à partir de -376.5 m, niveau situé dans l'argile sableuse verte, formant l'extrême base du Groupe d'Ypres entre -377.35 et -376.2 m. L'espèce se maintient jusqu'à -372.5 m dans l'argile lourde sus-jacente. A Knokke *P. trinema* s'observe une première fois à -284.2 m dans le sommet du Membre X (King, 1990, p. 70), composé d'un silt argilo-sableux et glauconieux formant la base du Groupe d'Ypres dans cette région. L'espèce s'y présente une dernière fois à -282 m, dans l'argile sus-jacente.

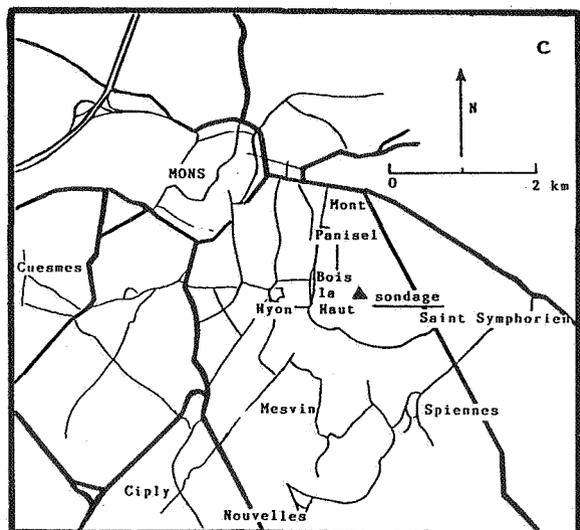
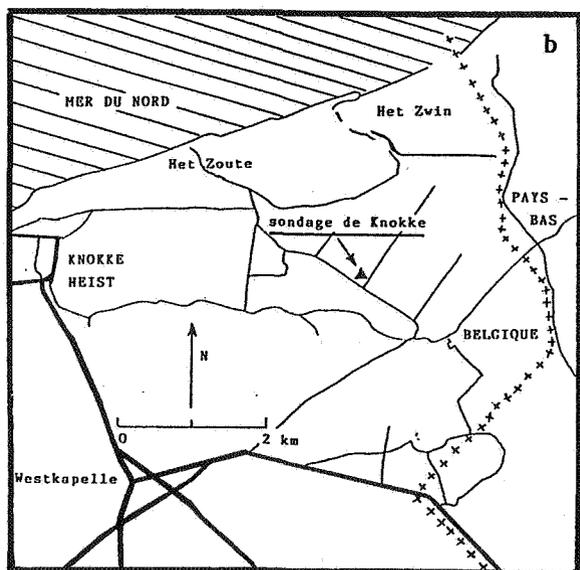
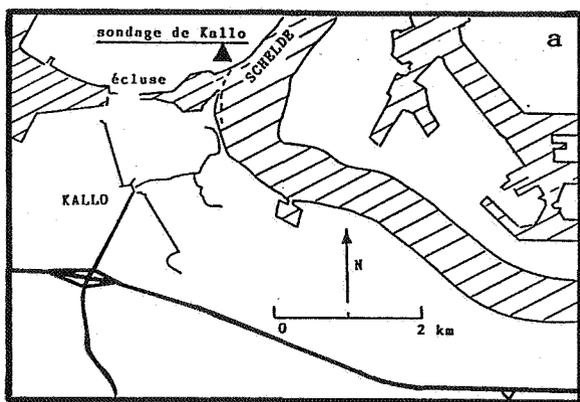


Figure 2a, b, c. Localisation du sondage de Kallo, de Knokke et du Mont Panisel.

Location of the borehole of Kallo, of Knokke and of Mont Panisel.

Cerodinium wardenense n'est observé à Kallo que dans le seul niveau -376 m, juste au-dessus de la couche basale d'argile sableuse, verte. A Knokke l'espèce fait son apparition à -283 m, juste au-dessus du Membre X, et y est tout de suite très fréquente, mais elle disparaît déjà entre -282 et -278 m.

Wetzeliella lobisca ne se rencontre à Kallo que dans le niveau -374.5 m, donc à peu près 1.7 m au-dessus de la couche basale d'argile sableuse, verte. L'espèce est retrouvée à Knokke à partir de -283 m jusque dans le niveau -270 m; son apparition se situe donc juste au-dessus du Membre X.

Dans les deux sondages l'apparition de *W. lobisca* précède de peu celle de *Wetzeliella lunaris* qu'on trouve à Kallo à partir de -372.5 m jusqu'à -366.5 m et à Knokke dans les niveaux -278 et -277 m.

Signalons l'apparition de *Charlesdowniea crassoramosa* dans le seul niveau -368.7 m du sondage de Kallo. L'espèce n'a pas été retrouvée dans les niveaux examinés à Knokke, où elle pourrait sans doute se rencontrer entre -282 et -278 m.

En remontant dans les dépôts de Kallo le niveau -366.5 m contient les premiers *Hystrichokolpoma unispinum* cf. *H. rigaudae* et *Senegalinium? dilwynense*. A -361.6 m interviennent *Membranilarnacia* sp. cf. *Eatonicysta*, *Turbiosphaera* aff. *galatea*, *Muratodinium fimbriatum*, *Hystrichokolpoma unispinum* cf. *H. cinctum*, *Eatonicysta ursulae* subsp. *fuensis*, *Operculodinium* aff. *uncinispinosum* et *Apectodinium* aff. *homomorphum*. Ces espèces apparaissent à Knokke dans les assemblages de -278 ou -277 m.

M. sp. cf. Eatonicysta n'est observée que dans un seul niveau dans les deux sondages : à Kallo -361.6 m et à Knokke -277 m. Les autres espèces persistent encore plus haut. Kallo -361.6 m se situe à seulement 4.4 m au-dessus du premier niveau d'apparition de foraminifères benthiques à test calcaireux, rares à -366 m mais déjà fréquents à -364 m (Willems, 1980, p. 29). Dans le sondage de Knokke, King (1990, p. 73 et fig. 3) signale les premiers foraminifères benthiques à test calcaireux à -277.5 m. L'apparition des espèces du phytoplancton dont témoignent Kallo -361.6 m et Knokke -278 à -277 m, coïncide donc pratiquement avec l'apparition des foraminifères benthiques à test calcaireux et fût donc probablement causée par un changement du milieu qui n'a pas seulement affecté les eaux de surface où les kystes du phytoplancton étaient produites, mais qui s'est fait sentir jusqu'au fond peuplé par les foraminifères benthiques. Ces nouvelles conditions se sont temporairement accentuées lors de la sédimentation des niveaux -358.5 m à Kallo et -276.5 m à Knokke. En effet on y a observé après deux occurrences sporadiques à -361.5 m et -360 m l'arrivée de plusieurs espèces de foraminifères planctoniques qui ont alors fait une incursion de courte durée dans le bassin (Willems, 1980, annexe 1d et p. 80; King, 1990, p. 76) tandis que le nombre de foraminifères benthiques à test calcaireux augmente for-

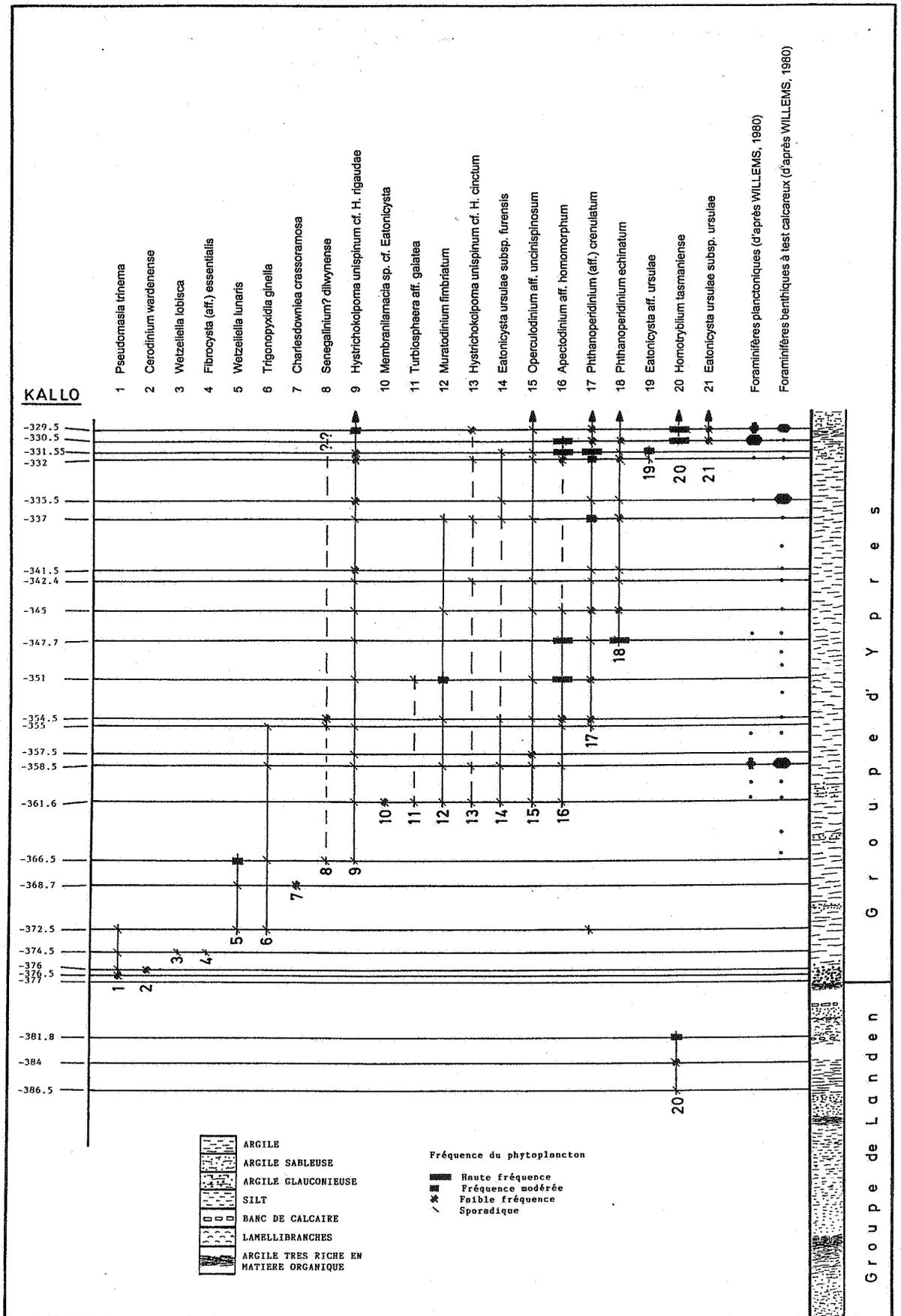
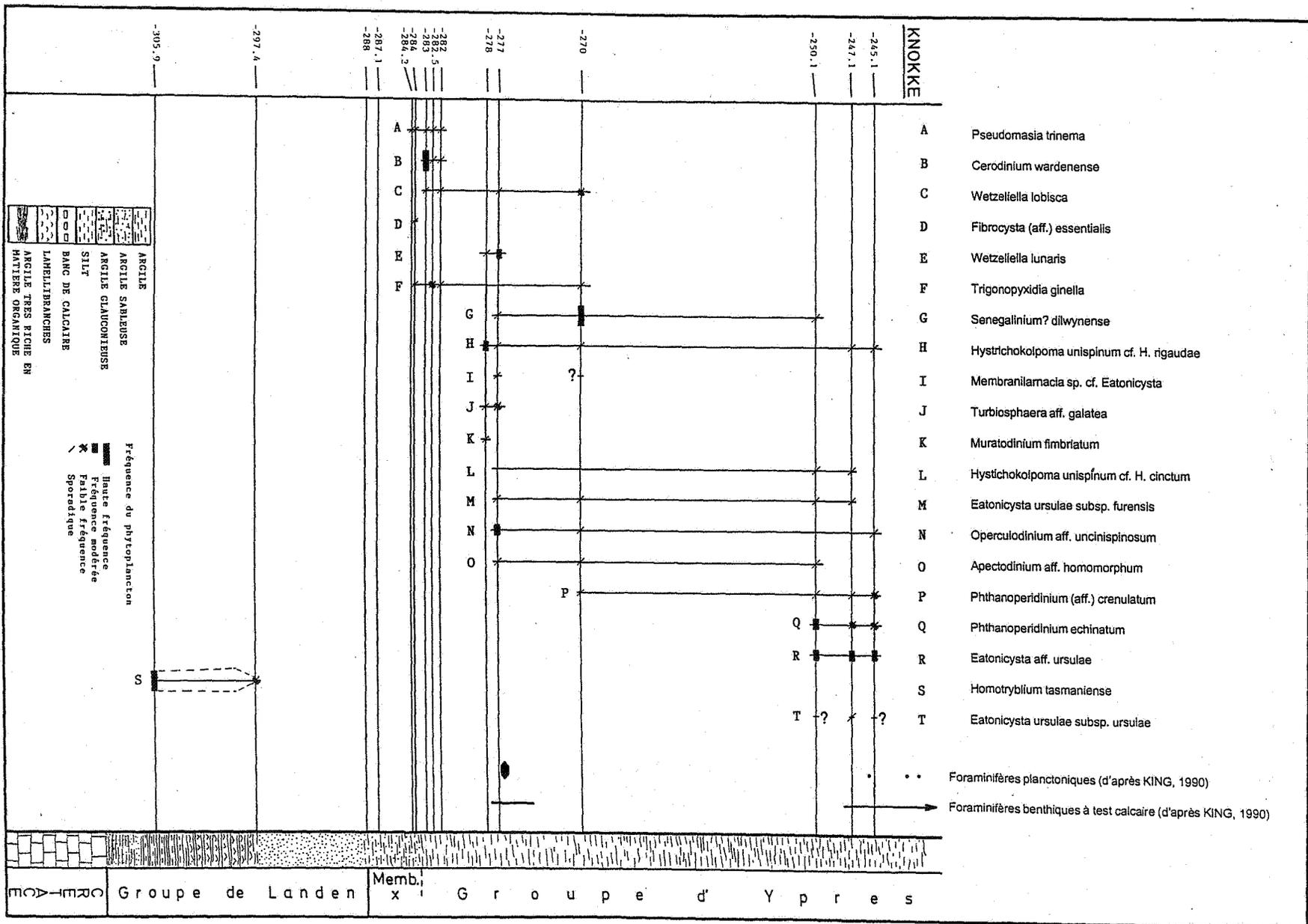


Figure 3. Distribution des espèces retenues dans le sondage de Kallo.
Distribution of selected species in the Kallo borehole.

Figure 4. Distribution des espèces retenues dans le sondage de Knokke.
 Distribution of selected species in the Knokke borehole.



tement dans ces mêmes niveaux (Willems, *ibid.*, annexes 1a-d et p. 29; King, *ibid.*, fig. 3). Dans le sud-ouest de la Belgique et le nord de la France ce changement parmi les foraminifères a été observé par King (1991, p. 365) au passage du Membre de Mont Héribu au Membre de Wardrec-ques. Ce changement du milieu a également atteint la moitié est du Bassin de Londres où on remarque dès la base de la Division A3 de la Formation de l'Argile de Londres également cette première apparition des foraminifères planctoniques (King, 1981, text-fig. 44 et 46, p. 117), et benthiques (King, 1990, p. 80). L'étendue géographique de cette Division A3 dépasse dans les Bassins de Londres et Hampshire les limites des Divisions A1 et A2, et témoigne donc d'une transgression plus prononcée que les transgressions yprésiennes antérieures.

Entre -358.5 et -351 m à Kallo les assemblages ne changent guère. Seulement *Phthanoperidinium crenulatum* ou formes proches s'observent régulièrement à partir de -355 m. A Knokke *P. crenulatum* rejoint les assemblages à partir de -270 m.

Les premiers *Phthanoperidinium echinatum* se rencontrent à Kallo -347.7 m. Dans le sondage de Knokke la grande distance entre le niveau -270 m et le prochain niveau étudié à -250.1 m empêche de préciser l'apparition de l'espèce qui s'introduit probablement déjà vers -260 m.

Les changements d'assemblages restent insignifiants jusqu'au niveau -332 m du sondage de Kallo. A cette profondeur apparaît *Eatonicysta* aff. *ursulae* retrouvé encore à -331.55 m. A Knokke cette forme se rencontre de -250.1 à -245.1 m. Dans ces courts trajets on observe les derniers *E. ursulae* subsp. *fulvensis*, *H. unispinum* cf. *H. cinctum* et *S.?* *dilwynense*.

L'apparition d'*Eatonicysta ursulae* subsp. *ursulae* et la réapparition du genre *Homotryblium* ont été seulement recherchées dans le sondage de Kallo. Ces deux formes s'y rencontrent à partir de -330.5 m. Les *Homotryblium* deviennent très vite assez fréquents; ils sont classés dans l'espèce *H. tasmaniense* avec sa paroi distinctement granulée entre les processus. Il s'agit de la même espèce qui caractérise les assemblages du Groupe de Landen dans le sondage de Knokke, entre -307 et -297 m (Dupuis *et al.*, 1990, p. 36-39, fig. 4) ainsi que dans le sondage de Kallo aux niveaux -386.5 m, -384 m et -381.8 m (Dupuis *et al.*, in prep.). Les rares spécimens et fragments de l'espèce, repérés à Knokke -288 m ainsi qu'à Kallo -380 m et -379 m, sont sans doute remaniés. Cette première apparition de l'espèce avait déjà été remarquée hors du Bassin belge. En effet, Dupuis et Gruas-Cavagnetto (1985) avaient noté sa présence dans un échantillon de la base des Woolwich Schell Beds à New Haven, dans le nord-est du Bassin de Hampshire. Köthe (1990, Pl. 29 et Fig. 6) a noté une première poussée de la fréquence de

cette forme (classée dans l'espèce *H. tenuispinosum* DAVEY & WILLIAMS, 1966) dans le Sable de Gartow, partie basale de la Formation Eocène inférieur 1 (sensu KÖTHE, 1990, pl. 32) dans le sondage de Gartow en Allemagne du Nord.

Au niveau -330.5 m du sondage de Kallo une soudaine croissance du nombre de foraminifères planctoniques est également remarquée (Willems, 1980, p. 80 et fig. 17; King, 1991, fig. 4).

La simultanéité de l'apparition relativement fréquente de *Homotryblium tasmaniense* et de l'accroissement du nombre de foraminifères planctoniques à Kallo -330.5 m n'est sans doute pas une simple coïncidence. Un événement paléogéographique et paléohydrographique majeur, causé par une transgression générale, en fût probablement la cause. En effet, ailleurs dans le Bassin belge Steurbaut & King (1994, fig. 7) indiquent l'apparition de foraminifères planctoniques dans le sondage du Mont Panisel vers -58.7 m ainsi que les premiers *Nummulites planulatus* vers le même niveau (*ibid.*, fig. 3). Il est probable que *H. tasmaniense* et *E. ursulae* subsp. *ursulae* y font également leur apparition. En effet, l'assemblage de dinoflagellés de -53.5 m (De Coninck, 1992, p. 311-313) présente entre autres de nombreux *E. ursulae* subsp. *ursulae* et *H. tasmaniense*; par contre, l'échantillon de -65.3 m ne contient aucune de ces deux formes. Leur apparition dans le sondage du Mont Panisel coïncide sans doute avec celle vers -58.7 m des foraminifères planctoniques et de *N. planulatus*, sinon elle en est fort rapprochée. L'arrivée simultanée de ces foraminifères est particulièrement significative : Blondeau (1972, p. 99-100), King (1981, p. 113) et Gramann (1988, p. 413-414) expliquent que *N. planulatus* a pénétré le bassin anglo-franco-belge à partir du Bassin d'Aquitaine par un détroit situé du côté de la Manche. L'arrivée de *N. planulatus* témoigne donc d'un influx d'eaux chaudes venant du sud. L'espèce s'est d'abord présentée dans le bord est du Bassin belge et n'a envahi le Bassin de Hampshire que bien plus tard, lors de la sédimentation du Fisher's Bed IV dans la séquence des Bracklesham Beds (King, 1981, p. 119). Ce décalage dans la diffusion de *N. planulatus* entre le sud-est et le sud-ouest du Bassin de la Mer du Nord, se remarque aussi pour les espèces de requins à affinité (sub)tropicale : on les retrouve dans le Bassin belge déjà à partir du Membre de l'Argile de Roubaix et de leur équivalent stratigraphique, les Sables de Mons-en-Pévèle, tandis que dans le Bassin de Hampshire on ne les retrouve que dans les Bracklesham Beds (Ward, 1990, document non publié). Les courants maritimes nordiques descendaient sans doute le long de la partie occidentale du Bassin de la Mer du Nord vers les bassins de Hampshire tandis que des courants plus chauds venant du sud longeaient vraisemblablement le bord du Bassin belge.

Cependant, la distribution de *H. tasmaniense* (ou d'autres espèces qui s'en rapprochent), d'*Eatonicysta ursulae* subsp. *ursulae* et de foraminifères planctoniques ou benthiques à test calcareux ne présente pas ce décalage entre le Bassin belge et les Bassins de Hampshire et Londres. Ces espèces apparaissent en effet déjà dans l'Argile de Londres, tout juste au-des-

sus de la base de la Division B, au niveau du «Planktonic Datum» de Wright (1972) (King, 1981, p. 37 et 139). L'invasion simultanée de la partie orientale et occidentale du Bassin de la Mer du Nord ne fût manifestement pas limitée par les différences, entre autres de température, entre les courants maritimes y circulant. D'autres conditions, qui ont surgi avec la

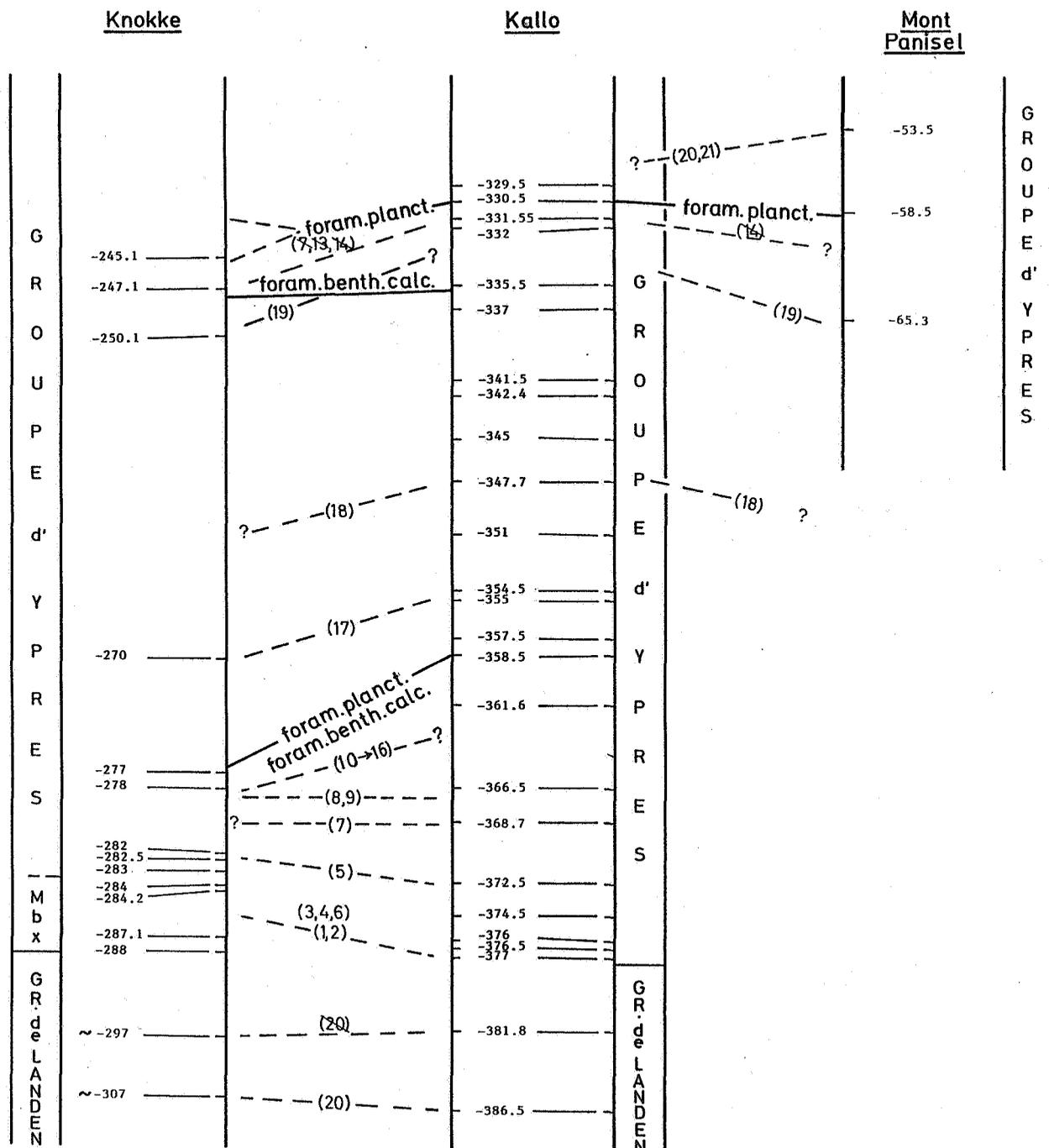


Figure 5. Corrélation entre les dépôts des sondages de Kallo, Knokke et Mont Panisel.

Remarque : Les numéros entre parenthèses, indiquant les apparitions d'espèces, réfèrent aux espèces de la Figure 3 qui présente leur distribution à Kallo. Les numéros barrés indiquent leur disparition.

Correlations between the deposits from Kallo, Knokke and Mont Panisel.

Remark : Numbers in a parenthesis refer to those in front of the species in Figure 3. Numbers with a crossing out symbol indicate the disappearance of the corresponding species.

Bassin Londres - Hampshire

Bassin belge Allemagne Nord

Danemark

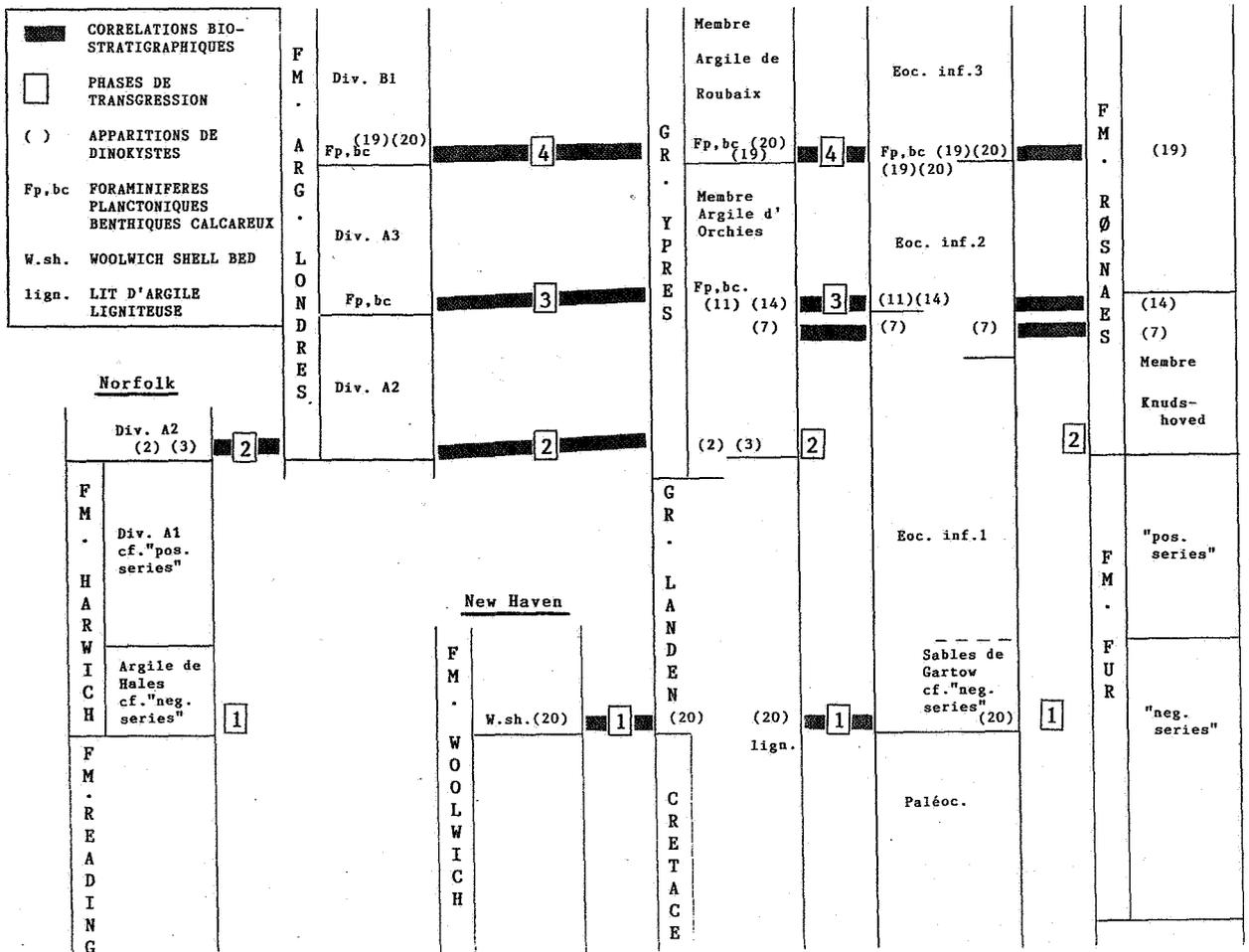


Figure 6. Corrélations entre coupes du Bassin belge, du Danemark, de l'Allemagne du Nord et du Bassin de Londres-Hampshire. Remarque : Les numéros entre parenthèses indiquant les apparitions d'espèces, réfèrent aux espèces de la Figure 3. Dans les coupes présentées les proportions d'épaisseurs des unités ne sont pas respectées. D'éventuelles lacunes entre unités ou au dedans ne sont pas indiquées.

Correlations between sections of the Belgian Basins, Denmark, Northern Germany and the London-Hampshire Basin.

Remark : Numbers in a parenthesis refer to those in front of the species in Figure 3. In the sections presented, the proportions of thicknesses of the units are not respected. Eventual hiatuses between or inside units are not indicated.

nouvelle transgression, ont sans doute déterminé ce soudain épanouissement. Pour ce qui concerne plus particulièrement les *H. tasmaniense* et espèces voisines, l'apparition de lagunes dans les plaines côtières inondées pourrait avoir offert les conditions requises pour la production de ces kystes. De telles lagunes se formaient sans doute dans les dépressions où, avant l'invasion marine, des lacs d'eau douce avaient parfois pu se développer durant la période de mauvais drainage causé par la remontée progressive du niveau marin. Nous voyons dans Köthe (1990, pl. 29) que dans le sondage de Gartow (Allemagne du Nord) l'espèce *H. tenuispinosum* (fort semblable à nos *H. tasma-*

nienne) se rencontre une première fois, sporadiquement, dans le sommet de la Formation Paléocène supérieur (sensu KÖTHE, 1990, pl. 32). Elle devient nettement plus fréquente dans la partie basale de la Formation Eocène 1 (sensu KÖTHE, *ibid.*), juste après l'apparition assez fréquente de *Pediastrum*, algue planctonique d'eau douce sans doute remaniée lors de l'invasion marine. De même dans l'Argile de Merelbeke (Yprésien moyen) du Bassin belge à Kallø l'apparition assez fréquente de *Pediastrum* est remarquée en même temps que l'augmentation très prononcée de la fréquence de *H. tasmaniense* (déterminé comme *H. pallidum?* dans De Coninck, 1976).

Il semble donc qu'une invasion de la mer dans la plaine maritime, remaniant d'une part ici et là des dépôts lacustres avec *Pediastrum*, a engendré d'autre part une plus forte production de kystes du type *H. tasmaniense* ou espèces voisines. Les conditions stimulant cette production furent sans doute d'assez courte durée, sinon réduites dans leur étendue par la montée progressive du niveau marin ou par une nouvelle phase régressive. Cette évolution du milieu, et donc la restriction spatiale ultérieure des conditions requises, explique le recul de la fréquence des *Homotryblium* précités ou leur disparition temporaire éventuelle de certaines parties du bassin.

Dans les lagunes se transformant d'autres espèces du genre *Homotryblium*, qui se présentent dès l'Eocène supérieur ou dès l'Oligocène, comme *H. floripes* (DEFLANDRE & COOKSON, 1955), *H. plectilum* DRUGG & LOEBLICH, 1967 et *H. vallum* STOVER, 1977 ont pu être produites. Il en est de même pour *Polysphaeridium zoharyii* (ROSSIGNOL, 1962) ou la forme très voisine, sinon identique, *P. subtile* DAVEY & WILLIAMS, 1966, qui étaient déjà produites au cours du Paléocène.

Les fréquences de ces espèces et de *H. tasmaniense* ou espèces voisines changent de façon autonome dans les couches successives, faisant supposer que les milieux, lagunaires ou non, favorables à leur production ont dû être quelque peu différents.

5. CORRELATIONS STRATIGRAPHIQUES

5.1. KALLO - KNOCKE - MONT PANISEL (Figure 5)

Malgré le lien constaté entre l'apparition de plusieurs des 21 espèces du phytoplancton à paroi organique retenues et certains changements du milieu (hydrographie, courants de convection?, température?), on peut supposer que le parallélisme approximatif de leur distribution à Kallo et Knokke témoigne d'effets quasi simultanés dans cette partie méridionale du Bassin de la Mer du Nord. La distribution de ces espèces est donc considérée fiable pour les corrélations entre les trois sections.

5.2. BASSIN BELGE - BASSIN DE LONDRES ET HAMPSHIRE - BASSIN DANOIS - NORD DE L'ALLEMAGNE (Figure 6)

5.2.1. Kallo : -386.5 à -381.8 m, Groupe de Landen. - Knokke : -307 à -297 m, Groupe de Landen. - Gartow (Allemagne du Nord) : -708.5 à -706.4 m, Sables de Gartow, Formation Eocène inférieur 1. - New Haven (Nord-est du Bassin de Hampshire) : base des Woolwich Shell Beds dans l'argile grise à cyrènes.

Nous remarquons dans ces niveaux aux nombreuses *Apectodinium*, l'apparition temporaire de *Homotryblium tasmaniense* (n° 20) ou formes très voisines. Dans le sondage de Knokke Dupuis *et al.* (1990, table 1) avaient signalé ces formes par *Homotryblium* sp. indet. Dans le sondage de Gartow Köthe (1990, pl. 11, fig. 1, pl. 32) les a classées dans les espèces *H. tenuispinosum* et *H. pallidum*. A New Haven Dupuis et Gruas-Cavagnetto (1985, p. 32, pl. 3, fig. 1 et 4) les ont indiquées par *Homotryblium* sp..

Dans le sondage de Gartow les niveaux -708.5 et -706.4 m font partie des Sables de Gartow, base de la Formation Eocène inférieur 1. Dans ces sables s'observent des cendres volcaniques (Köthe, 1990, pl. 33). Dans l'argile silteuse entre -703 et -697 m la proportion de cendres est plus grande comme dans les «positive series» décrits au Danemark dans la moitié supérieure des Formations d'ølst et de Fur. Les Sables de Gartow avec leur proportion de cendres nettement plus faible, correspondent vraisemblablement aux «negative series» dans la moitié inférieure des Formations d'ølst et de Fur. Dans le sondage de Wursterheide (au Nord de Bremerhaven, Allemagne du Nord) on retrouve les cendres volcaniques correspondant à la partie supérieure des «negative series» entre -757.5 et -754 m dans la base de la Formation Eocène inférieur 1 (Knox, 1989, fig. 2, p. 226). Certains niveaux de cendres de la moitié supérieure des «negative series» danois correspondent d'autre part à ceux dans l'Argile de Hales (Knox, 1994, p. 160-162), argile qui représente dans le Norfolk la partie inférieure de la Formation de Harwich à la base du Groupe de Thames (Ellison *et al.*, 1994, fig. 4). Ces cendres dans l'Argile de Hales témoignent de la sous-phase 2_a du volcanisme du Tertiaire inférieur dans l'Atlantique du Nord (Knox, 1994, p. 163; Knox et Morton, 1988, p. 411), sous-phase dont on retrouve des traces dans les Woolwich Beds (Knox, 1994, p. 162 et 163).

Il est donc pratiquement certain que l'apparition temporaire de *H. tasmaniense* (ou formes très voisines) dans la base de la Formation Eocène inférieur 1, dans les Woolwich Shell Beds et dans notre Groupe de Landen correspond à la sous-phase 2_a des éruptions volcaniques qui se sont produites dans la province de Faeroe - Groenland (Knox et Morton, 1988, p. 412). Cette sous-phase 2_a se situe dans la partie inférieure de la zone d'anomalie magnétique 24r (Knox et Morton, *ibid.*, p. 415, fig. 7). L'évènement biostratigraphique est donc bien situé dans le cadre de la tephra-stratigraphie et de la magnétostratigraphie. Dans notre interprétation de l'apparition de *Homotryblium*, cet évènement témoigne d'inondations progressives de plaines maritimes au début d'une phase de transgression. Cette phase s'observe d'Ouest en Est dans la partie méridionale du Bassin de la Mer du Nord (New Haven, Knokke, Kallo, Gartow). Dans le cadre des recherches consacrées à la limite Paléocène-Eocène cet évènement mérite d'être souligné.

5.2.2. Kallo : -376 à -374.5 m, Groupe d'Ypres. - Knokke : -283 à -282 m, Groupe d'Ypres. - Nord-est du Bassin de Londres : partie basale du Membre de Walton (Division A₂), Formation de l'Argile de Londres.

Cette corrélation se fonde sur la distribution de *Cerodinium wardenense* (n° 2) et de *Wetzeliella lobisca* (n° 3). Jolley et Spinner (1989, fig. 3) signalent une apparition sporadique de *C. wardenense* dans la partie inférieure de la Formation de Harwich, mais la réapparition de l'espèce à peu près 1.3 m au-dessus de la base du Membre de Walton, membre inférieur de la Formation de l'Argile de Londres (Ellison *et al.*, 1994, p. 194-195), correspond à son apparition dans la base du Groupe d'Ypres. Les mêmes auteurs (*ibid.*, fig. 3) indiquent la présence de *W. lobisca* dès la base du Membre de Walton mais sa fréquence augmente dans les échantillons C9 et C8 pris respectivement vers 2.5 et 5 m au-dessus de la base. Nous voyons donc que la distribution de *C. wardenense* et *W. lobisca* y ressemble en quelque sorte à celle observée à Kallo.

5.2.3. Kallo : -368.7 m, Groupe d'Ypres. - Wursterheide (Allemagne du Nord) : -724 m, partie supérieure de la Formation Eocène inférieur 1. - Gartow (Allemagne du Nord) : -674.5 m, base de la Formation Eocène inférieur 2 (sensu Köthe, 1990). - Section de Fur (Bassin danois) : 40 cm au-dessus du lit silicifié dans le Membre de Knudshoved, Formation de l'Argile de Rösnaes.

Cette corrélation s'appuie sur l'apparition de *Charlesdowniea crassoramosa* (n° 7). Köthe (1990, pl. 12, fig. 6) a figuré un spécimen de l'espèce, trouvé dans le sondage de Gartow à -674.5 m, sous le nom de *Kisselovia* sp.. Dans le sondage de Wursterheide Heilmann-Clausen et Costa (1989, fig. 1, pl. 1, fig. 5 et 6) indiquent que l'espèce est la plus fréquente à -724 m, niveau de sa première apparition dans la partie supérieure de la Formation Eocène inférieur 1. Heilmann-Clausen (1982, p. 60, fig. 3A) note l'apparition de l'espèce dans le Membre de Knudshoved de la section éocène de Fur.

5.2.4. Kallo : -366 à -358.5 m, Groupe d'Ypres. - Knokke : -278 à -276.5 m, Groupe d'Ypres. - Bassins de Londres et Hampshire : partie basale de la Division A₃, Formation de l'Argile de Londres. - Wursterheide (Allemagne du Nord) : -710 m, partie basale de la Formation Eocène inférieur 2. - Section de Fur (Bassin danois) : partie supérieure (argile verte) du Membre de Knudshoved, Formation de l'Argile de Rösnaes.

La corrélation se base sur l'apparition de foraminifères benthiques à test calcaireux, sur une courte apparition de foraminifères planctoniques et sur l'apparition des dinokystes *Turbiosphaera* aff. *galatea* (n° 11) et *Eatonicysta ursulae* subsp. *furensis* (n° 14).

Willems (1980, annexes 1a-d, 2a-b) note l'apparition sporadique de foraminifères benthiques à test calcaireux à Kallo -366 m, l'augmentation de leur fréquence à -364 m et leur accroissement considérable en nombre et en espèces à -358.5 m. Dans ce dernier niveau seul se manifestent aussi sept espèces de foraminifères planctoniques (je n'accorde guère de poids aux quatre spécimens planctoniques que Willems signale respectivement à -361.5, -360, -356 et -347 m.

A Knokke -277.5 m jusqu'à -274.5 m King (1990, p. 73) signale l'apparition temporaire de foraminifères benthiques à test calcaireux, et à -276.5 m l'occurrence isolée de foraminifères planctoniques plutôt fréquents (King, *ibid.*, p. 76). Ces changements temporels parmi les foraminifères correspondent à ceux observés dans la base de la Division A3 de l'Argile de Londres (King, *ibid.*, p. 80; King, 1981, p. 117). Parmi les dinokystes on voit apparaître à Kallo -361.6 m ainsi qu'à Knokke -278 à 277 m plusieurs espèces parmi lesquelles *Turbiosphaera* aff. *galatea* (n° 11) et *Eatonicysta ursulae* subsp. *furensis* (n° 14). Ces deux espèces font leur apparition à Wursterheide -710 m (Heilmann-Clausen et Costa, 1989, fig. 1) dans la base de la Formation Eocène inférieur 2. Dans la section éocène de Fur, Heilmann-Clausen (1982, p. 60, fig. 3F) signale l'apparition de *E. ursulae* dans l'argile verte de la moitié supérieure du Membre de Knudshoved. Il s'agit là de la sous-espèce *furensis* HEILMANN-CLAUSEN et COSTA, 1989 (p. 466, pl. 11, fig. 2, 3 et 7).

5.2.5. Kallo : -335.5 à -330.5 m, Groupe d'Ypres, autour de la base du Membre de l'Argile de Roubaix. - Knokke : -247.1 à ±241.5 m, Groupe d'Ypres. - Bassins de Londres et Hampshire : partie basale de la Division B, Formation de l'Argile de Londres. - Wursterheide (Allemagne du Nord) : sommet de la Formation Eocène inférieur 2 et base de la Formation Eocène inférieur 3. - Gartow (Allemagne du Nord) : base de la Formation Eocène inférieur 3. - Section de Fur (Bassin danois) : 6.15 m au-dessus de la base de la Formation de l'Argile de Rösnaes.

La corrélation s'appuie sur l'apparition de *Homotryblium tasmaniense* (n° 20) ou espèces voisines et d'*Eatonicysta ursulae* subsp. *ursulae*, ainsi que sur la réapparition ou une hausse très nette de la fréquence des foraminifères benthiques à test calcaireux et des foraminifères planctoniques.

A Kallo l'apparition de *Homotryblium tasmaniense* (n° 20) et d'*Eatonicysta ursulae* subsp. *ursulae* se situe à -330.5 m et coïncide avec un accroissement prononcé de la fréquence de foraminifères planctoniques. L'augmentation considérable de la fréquence des foraminifères benthiques à test calcaireux fût détectée à -335.5 m (Willems, 1980, annexes 1a-d, 2a-b). Parmi ces foraminifères benthiques King (1991, fig. 4) signale l'apparition de *Vaginulinopsis wetherellii* et

Nodosaria latejugata. Toutes ces apparitions s'y situent autour de la base du Membre de l'Argile de Roubaix. Dans le sondage de Knokke nous n'avons pas observé de *Homotryblium*; il est probable que ce genre y réapparaît à courte distance au-dessus du niveau -245.1 m. *E. ursulae* subsp. *ursulae* se rencontre déjà sporadiquement à -247.1 m. Vers ce niveau King (1990, fig. 3 et p. 73) note la réapparition de foraminifères benthiques à test calcaireux parmi lesquels *V. wetherellii* et *N. latejugata*. De très rares foraminifères planctoniques se manifestent à -245.5 m, -242.5 m et -241.5 m.

Nous constatons donc qu'aussi bien à Kallo qu'à Knokke les apparitions parmi les dinokystes et parmi les foraminifères se produisent dans un court intervalle. Le début de ces changements dans la composition des assemblages de microfossiles correspond grosso modo au Event I1 que King (1991, p. 352, fig. 4 et 11) a défini dans le Bassin belge. Les apparitions se succèdent à Kallo jusqu'à mi-hauteur entre l'Event I1 et l'Event I2. Selon King (*ibid.*, p. 352 et 369) l'Event I1 correspond au «planktonic datum» dans la base de la Division B de l'Argile de Londres. King (1990, p. 80) précise que le «planktonic datum» ainsi que la première apparition de *N. latejugata* et *V. wetherellii* se situent juste au-dessus de la base de la Division B. Dans la coupe de Whitecliff Bay (Bassin de Hampshire) *E. ursulae* subsp. *ursulae* s'observe une première fois quelque 3 m au-dessus de la base de la Division B; de même dans le sondage Enborne n° 11 (Ouest du Bassin de Londres) (Williams et Downie, 1966a, fig. 5 et 7, table 1). Les *Homotryblium* apparaissent déjà à la base de la Division B aussi bien à Whitecliff Bay qu'à Enborne n° 11 (Williams et Downie, *ibid.*, table 1). Nous voyons donc que dans les Bassins de Londres et Hampshire les apparitions des deux espèces de dinokystes et des foraminifères («planktonic datum» entre autres) sont très rapprochées dans les niveaux inférieurs de la Division B. Dans le sondage de Wursterheide (au Nord de Bremershavn, Allemagne du Nord) Heilmann-Clausen et Costa (1989, fig. 1) notent l'apparition de *Homotryblium* et d'*E. ursulae* subsp. *ursulae* à -686 m, dans la partie tout à fait supérieure de la Formation Eocène inférieur 2. *Pediastrum*, que je considère remaniée lors de la transgression (cfr. p. ..), apparaît à -680 m. Dans ce sondage Gramann (1989, p. 307, table 2) note l'apparition de nombreux foraminifères benthiques à test calcaireux à -679 m. Dans ce même niveau Spiegler (1989, table 1, p. 327) signale l'apparition soudaine des foraminifères planctoniques, et y situe le «planktonic datum». Ce niveau de changement prononcé parmi les foraminifères y est choisi comme base de la Formation Eocène inférieur 3 et suit donc de très près l'apparition des deux espèces de dinokystes.

Dans le sondage de Gartow (Allemagne du Nord) Köthe (1990, pl. 29, partie 2) note les premiers *Homotryblium* et *E. ursulae* (sans doute la sous-

espèce *ursulae*) à -660.6 m, environ 1.25 m au-dessus de la base de la Formation Eocène inférieur 3 (sensu Köthe, 1990, pl. 32).

Dans la section de Fur (Bassin danois) Heilmann-Clausen (1993, fig. 4) a détecté l'apparition d'*E. ursulae* subsp. *ursulae* dans la Formation de l'Argile de Rösnaes, à 6.15 m au-dessus de sa base; ce niveau s'y situe selon Heilmann-Clausen *et al.* (1984, fig. 3) dans le lit R5.

Il est clair que la quasi coïncidence de l'apparition de *Homotryblium*, d'*E. ursulae* subsp. *ursulae*, des foraminifères benthiques à test calcaireux et des foraminifères planctoniques (le «planktonic datum») dans les différentes coupes de la partie méridionale du Bassin de la Mer du Nord, représente un événement majeur qui a profondément changé l'hydrologie dans ce bassin. Dans notre interprétation (voir ci-dessus) de l'apparition ou de la réapparition de *Homotryblium*, cet événement témoigne d'une importante phase transgressive. La transgression se trouve d'ailleurs confirmée par l'incursion des foraminifères planctoniques. L'apparition de *Nummulites planulatus* ainsi que de foraminifères planctoniques à -58.5 m dans le sondage du Mont Panisel (Steurbaut et King, 1994, fig. 3 et 7) suit sans doute de près cet événement : en effet, la position de ce niveau entre ceux corrélés avec la section du sondage de Kallo (De Coninck, 1992, fig. 1) indique probablement sa proximité de l'Event I1 qui n'a pas été identifié dans la section du Mont Panisel (Steurbaut et King, 1994, fig. 3, p. 194). *N. planulatus* témoigne d'une percée d'eaux à partir du Bassin d'Aquitaine (cf. p. 8 de ce manuscrit), sans doute le résultat de la hausse du niveau de la mer.

6. CONCLUSIONS

La comparaison de nos observations avec celles notées par d'autres auteurs dans les dépôts des bassins anglais, danois et d'Allemagne du Nord, révèle un lien entre l'apparition de plusieurs parmi les espèces de dinokystes et certaines des phases transgressives qui ont affecté toute cette partie du Bassin de la Mer du Nord (Figure 6).

De la première de ces transgressions témoigne l'apparition de *Homotryblium* dans le Groupe de Landen à Kallo et Knokke (Bassin belge) ainsi que dans les Woolwich Shell Beds à la base de l'argile grise à cyrènes dans la coupe de New Haven (Nord-est du Bassin de Hampshire) et dans les Sables de Gartow, première unité dans la Formation Eocène inférieur 1 dans le sondage de Gartow (Allemagne du Nord). Les cendres volcaniques dans ces Sables de Gartow correspondent aux «negative series» danois et aux cendres dans l'Argile de Hales, partie inférieure de la Formation de Harwich (Norfolk). Elles représentent la sous-phase 2a du volcanisme du Tertiaire inférieur en

Atlantique du Nord, et sont situées dans la partie inférieure de la zone d'anomalie magnétique 24r.

D'une deuxième phase transgressive témoigne l'apparition dans la base du Groupe d'Ypres à Kallo et Knokke d'assez riches assemblages de phytoplancton à paroi organique. Parmi les espèces nous avons retenus *Pseudomasia trinema* (acritarce) et les dinokystes *Cerodinium wardenense*, *Wetzeliella lobisca* et *Fibrocysta* (aff.) *essentialis*. *C. wardenensis* et *W. lobisca* caractérisent également le Membre de Walton (Division A₂), premier membre de la Formation de l'Argile de Londres dans les Bassins de Londres et Hampshire.

La troisième phase de transgression détectée d'Ouest en Est dans la partie méridionale du Bassin de la Mer du Nord, est marquée à Kallo et Knokke (Bassin belge) par l'apparition de *Membranilarnacia* sp. cf. *Eatonicysta*, *Turbiosphaera* aff. *galatea*, *Muratodinium fimbriatum*, *Hystrichokolpoma unispinum* cf. *H. cinctum*, *Eatonicysta ursulae* subsp. *furensis*, *Operculodinium* aff. *uncinispinosum* et *Apectodinium* aff. *homomorphum*, ainsi que par une apparition temporaire de foraminifères benthiques à test calcaireux et de foraminifères planctoniques. Dans le Bassin de Londres une première apparition de foraminifères planctoniques à la base de la Division A3 dans la Formation de l'Argile de Londres témoigne de la même transgression. Une corrélation avec la partie basale de la Formation Eocène inférieur 2 à Wursterheide (Allemagne du Nord) et avec l'argile verte qui forme la partie supérieure du Membre de Knudshoved, membre inférieur de la Formation de l'Argile de Rösnaes (Danemark), se fonde sur l'apparition de *T.* aff. *galatea* et d'*E. ursulae* subsp. *furensis*.

Lors de la quatrième phase de transgression l'espèce *Homotrylium tasmaniense* réapparaît à Kallo (Bassin belge). S'y manifestent alors aussi les premières *Eatonicysta ursulae* subsp. *ursulae* et de nouveau les foraminifères planctoniques et benthiques à test calcaireux. L'Event II correspond dans le Bassin belge à ces changements. Dans les Bassin de Londres et Hampshire on observe les mêmes apparitions dans la base de la Division B dans la Formation de l'Argile de Londres. C'est à ce niveau que se situe le «planktonic datum». Les deux espèces de dinokystes apparaissent à Wursterheide et Gartow (Allemagne du Nord) respectivement dans le sommet de la Formation Eocène inférieur 2 et la base de la Formation Eocène inférieur 3. Dans ces mêmes sections l'apparition des foraminifères planctoniques coïncide avec la base de la Formation Eocène inférieur 3. L'apparition de *Nummulites planulatus* dans la section du Mont Panisel (Bassin belge) à un niveau correspondant ou presque, témoigne d'une incursion dans le Bassin belge d'eaux plus

chaudes venant du Bassin d'Aquitaine, preuve supplémentaire du haut niveau de la mer atteint lors de cette phase transgressive.

7. REMARQUES SUR LA CLASSIFICATION APPROXIMATIVE DE CERTAINES ESPECES

Apectodinium aff. *homomorphum* (DEFLANDRE & COOKSON, 1955)

Pl. 3, figs. 11, 12

Remarque : *A.* aff. *homomorphum* diffère de l'espèce décrite par Deflandre & Cookson (1955, p. 254, text-fig. 19; Pl. 5, fig. 7) par ces processus relativement plus longs. Certains de ces processus sont furqués, surtout ceux se trouvant là où le périmètre forme des saillies.

Longueur des processus : entre à peu près 7 et 15 µm.

Eatonicysta aff. *ursulae* (MORGENROTH, 1966)

Pl. 7, figs. 1 à 13, 17 et 18, 14 à 16?, 20 et 21?

Remarque : *E.* aff. *ursulae* diffère de l'espèce décrite par Morgenroth (1966, p. 20; Pl. 3, fig. 11-12) par le réticule beaucoup plus fin de la plate-forme distale des processus. Entre ces plates-formes on remarque une zone ajourée. *E.* aff. *ursulae* correspond probablement aux formes que Heilmann-Clausen & Costa (1989, p. 466) considèrent comme intermédiaires entre *E. ursulae* subsp. *furensis* HEILMANN-CLAUSEN & COSTA, 1989 et *E. ursulae* subsp. *ursulae* (MORGENROTH, 1966). Heilmann-Clausen (1993, pl. 1, fig. 1-3) a rencontré des spécimens très semblables à peu près à 5 m au-dessus de la base de l'Argile de Rösnaes de la section de Fur (Bassin danois).

Fibrocysta aff. *essentialis* (DE CONINCK, 1969)

Pl. 1, figs. 3, 4.

Remarque : Cette forme proche de *F. essentialis* décrite par De Coninck (1969, p. 38; Pl. 11, figs. 7 et 8) se rencontre dans les mêmes niveaux où fût retrouvée l'espèce. Chez *F. essentialis*, à part le processus apical et antapical, les autres processus sont en majorité fins et pointus sinon faiblement capités; chez *F.* aff. *essentialis* ils sont en général un peu plus robustes (maximalement jusqu'à 3 µm de largeur) et s'évasent légèrement près de leur extrémité distale. *F.* aff. *essentialis* se rapproche beaucoup des hypotypes attribués à *F. bipolaris* (COOKSON et EISENACK, 1965) par les mêmes auteurs (1967, p. 249; Pl. 39, fig. 1 à 5). Il se peut que *F. essentialis* ne représente, par rapport au champ de la variabilité de *F. bipolaris*, que la partie caractérisée par des processus très fins. Si cela

se confirmerait, *F. essentialis* devrait être considérée comme un synonyme junior de *F. bipolaris*.

Hystrichokolpoma unispinum WILLIAMS & DOWNIE, 1966b cf. *H. cinctum* KLUMPP, 1953

Pl. 3, figs. 3 à 6

Remarque : A première vue l'espèce ressemble, par sa taille et par la forme de ses processus, à *H. cinctum* KLUMPP, 1953 (p. 389; Pl. 17, fig. 3, 4, 5). Chaque paraplaque cingulaire ne porte toutefois qu'un seul processus, caractère spécifique de *H. unispinum* WILLIAMS & DOWNIE, 1966b (p. 179; Pl. 17, fig. 7).

Hystrichokolpoma unispinum WILLIAMS & DOWNIE, 1966b cf. *H. rigaudae* DEFLANDRE & COOKSON, 1955

Pl. 3, figs. 1, 2, 10.

Remarque : La forme des processus est pareille à celle des processus de *H. rigaudae* DEFLANDRE & COOKSON, 1955 (p. 279, text-fig. 42; Pl. 6, fig. 6, 10). Mais, puisque chaque paraplaque cingulaire n'est représentée que par un seul processus, ces organismes sont attribuables à *H. unispinum*.

Hystrichokolpoma unispinum WILLIAMS et DOWNIE, 1966b cf. *H. salacia* EATON, 1976

Pl. 2, figs. 13; Pl. 3, figs. 7-9

Remarque : Chaque paraplaque cingulaire porte un seul processus, caractère spécifique de *H. unispinum*. La forme quasi rectangulaire des gros processus qui correspondent au paraplaques pre- et post-cingulaires, nous rappelle l'espèce *H. salacia* EATON, 1976 (p. 271, texte-fig. 16; Pl. 11, figs. 1-3).

Membranilarnacia sp. cf. *Eatonicysta*

Pl. 4, figs. 1 à 11.

Description sommaire : L'ectophragme, bilobé antapicalement, est porté par quelques courts processus. Ces processus sont solides ou creux, de largeur variée. Dans certains spécimens les processus sont très robustes, dans d'autres ils sont tellement minces qu'on ne les voit qu'à peine. L'emplacement des processus, les fentes ou séries de trous dans l'ectophragme, ainsi que le bord en zig-zag de l'archéopyle apical indiquent une paratabulation : 6 paraplaques précingulaires, ? cingulaires, 4 ou 5? postcingulaires, ? antapicales. L'autophragme du kyste est relativement mince et plus ou moins granulé. L'ectophragme est mince et lisse à légèrement granulé.

Dimensions du kyste :

- autophragme seul : variable autour de 50 µm;
- avec ectophragme : variable autour de 75 µm.

Remarque : Dans les sondages de Kallo et Knokke, l'espèce fait son apparition dans le même niveau que *Eatonicysta ursulae* subsp. *furensis* HEILMANN-CLAUSEN & COSTA, 1989. Elle s'en rapproche par sa morphologie, mais chez *E. ursulae* subsp. *furensis* les processus s'élargissent dès la base en un large entonnoir qui se prolonge dans l'ectophragme, tandis que la paroi de l'autophragme, des processus et de l'ectophragme est plus fine et plus souvent déchirée.

Operculodinium aff. *uncinispinosum* (DE CONINCK, 1969)

Pl. 4, figs. 12, 15, 16.

Remarque : *O. aff. uncinispinosum* se rapproche de l'espèce décrite par De Coninck, 1969 (p. 32; Pl. 9, fig. 6-8) par la taille du corps et par la moindre densité de processus sur le corps. La longueur des processus, entre 15 et 25 µm selon les individus, est toutefois plus petite et se rapproche de celle observée chez *O. mcicrotriaina* (KLUMPP, 1953).

Phthanoperidinium aff. *crenulatum* (DE CONINCK, 1976)

Pl. 2, figs. 1, 2; Pl. 5, figs. 8, 9, 15.

Remarque : L'expression des crêtes est fort variable. Dans certains niveaux les individus présentent des crêtes plutôt lisses, dans d'autres niveaux ils portent des crêtes très profondément indentées, qui ressemblent alors plutôt à des séries de processus évasées proximale et distale. Sur l'apex et dans la région antapicale l'ornementation s'élève au-dessus du niveau moyen. Malgré la grande variabilité, je rapproche ces formes à l'espèce décrite par De Coninck, 1976 (p. 96; Pl. 17, fig. 5-7)

Turbiosphaera aff. *galatea* EATON, 1976

Pl. 4, fig. 17; Pl. 5, figs. 4, 5, 7.

Remarques : *T. aff. galatea* se distingue de l'espèce décrite par Eaton, 1976 (p. 289; Pl. 15, fig. 4-6) par ses processus fibreux plus larges qui dans plusieurs spécimens confluent ou se touchent latéralement, de sorte qu'ils forment comme un épais manteau autour du corps central. Sur l'apex l'ornementation s'élève parfois en une corne émoussée.

Wetziella astra? COSTA, DENISON et DOWNIE, 1978

Pl. 6, fig. 7.

Remarque : Nos *W. astra?* se distinguent de l'espèce décrite par Costa, Denison et Downie, 1978 (p. 263, fig. 2) par leur corne apicale aplatie.

***Wetziella meckelfeldensis?* GOCHT, 1969**

Pl. 6, figs. 4, 9.

Remarques : Nos *W. meckelfeldensis?* diffèrent de l'espèce décrite par Gocht, 1969 (p. 15; Pl. 10, figs. 12-15) par leur plus petite taille qui correspond plutôt à celle de *W. astra*. Comme dans *W. meckelfeldensis* seulement une des deux cornes antapicales est développée normalement; l'autre n'est indiquée que par une faible protrusion du périphragme. Par leurs cornes latérales relativement longues nos *W. meckelfeldensis?* se rapprochent de nos *Wetziella* sp. aff. *Dracodinium simile*.

Dimensions de l'endokyste : environ 60 à 70 µm.

envergure totale : environ 100 à 110 µm.

***Wetziella* sp. aff. *Dracodinium simile* (EISENACK, 1954)**

Pl. 8, figs. 1 à 5, 7 et 9.

Remarques : Ces *Wetziella* sont caractérisées par leurs cornes latérales allongées; elles se rapprochent ainsi de *D. simile* décrite par Eisenack, 1954 (p. 58; Pl. 8, figs. 8-10) dont l'endokyste a toutefois une paroi plus épaisse. Notons aussi une certaine affinité avec *W. meckelfeldensis* GOCHT, 1969 (p. 15; Pl. 10, figs. 12-15).

8. REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier le Dr. Piet Laga, Géologue en Chef-Directeur au Service Géologique de Belgique, ainsi que le Dr. Christian Dupuis de la Faculté polytechnique de Mons, d'avoir mis à ma disposition les échantillons des sondages de Kallo et Knokke. Je suis particulièrement reconnaissant au lecteur Dr. E. Steurbaut de l'Institut royal de Sciences naturelles de Belgique ; par ses remarques il a beaucoup contribué à l'amélioration de l'analyse présentée. Monsieur Daniel Bavay et Madame Nelly Reynaert m'ont beaucoup aidé à préparer les figures et le manuscrit.

9. LITERATURE

BLONDEAU, A., 1972. Les nummulites. *Coll. de l'Enseignement à la Recherche, Sciences de la Terre*, Vuibert, Paris, 254 p.

COOKSON, I. & EISENACK, A., 1967. Some microplankton from the Paleocene Rivernook Bed, Victoria. *Proc. Roy. Soc. Victoria*, N.S., 80: 247-258.

COSTA, L.I., DENISON, C. & DOWNIE, C., 1978. The Paleocene/Eocene boundary in the Anglo-Paris Basin. *J. Geological Soc.*, 135: 261-264.

DE CONINCK, J., 1969. Dinophyceae et Acritarcha de l'Yprésien du sondage de Kallo. *Verh. Kon. Belg. Inst. Natuurwet.*, 161(1968): 67 p.

DE CONINCK, J., 1976. Microfossiles à paroi organique de l'Yprésien du Bassin belge. *Belg. Geol. Dienst, Professional Paper*, 1975/12: 151 p.

DE CONINCK, J., 1991. Ypresian organic-walled phytoplankton in the Belgian Basin and adjacent areas. *Bull. Belg. Ver. Geol.*, 97(1988): 287-319.

DE CONINCK, J., 1992. Signification stratigraphique du phytoplankton fossile à paroi organique dans quelques échantillons du sondage du Mont Panisel. *Bull. Belg. Ver. Geol.*, 99(1990): 311-314.

DEFLANDRE, G. & COOKSON, I., 1955. Fossil microplankton from Australian late Mesozoic and Tertiary sediments. *Austr. J. Mar. Freshw. Res.*, 6: 242-313.

DUPUIS, C., DE CONINCK, J., GUERNET, Cl. & ROCHE, E., 1990. Biostratigraphic data - Ostracods and organic walled microfossils - of the Landen Formation and the base of the Ieper Formation in the Knokke borehole. *Toelicht. Verhand. Geologische en Mijnkaarten van België*, 29: 33-45.

DUPUIS, C. & GRUAS-CAVAGNETTO, C., 1985. The Woolwich Beds et le London Clay de New Haven (East Sussex), données palynologiques et stratigraphiques nouvelles. *Bull. Inform. Géol. Bassin de Paris*, 22: 19-33.

EATON, G.L., 1976. Dinoflagellate cysts from the Bracklesham Beds (Eocene) of the Isle of Wight, southern England. *Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.) Geol.*, 26: 227-332.

EISENACK, A., 1954. Mikrofossilien aus Phosphoriten des samländischen Unteroligozäns und über die Einheitlichkeit der Hystrichophaerideen. *Palaeontographica*, A105: 49-95.

ELLISON, R.A., KNOX, R.W.O'B., JOLLEY, D.W. & KING, C., 1994.- A revision of the lithostratigraphical classification of the early Palaeogene strata of the London Basin and East Anglia. *Proceedings of the Geologists' Association*, 105: 187-197.

GOCHT, H., 1969. Formengemeinschaften alttertiären Mikroplanktons aus Bohrproben des Erdölfeldes Meckelfeld bei Hamburg. *Palaeontographica*, B126: 1-100.

GRAMANN, F., 1988. Major paleontological events and biostratigraphical correlations. In: R. Vinken (compilator). *The Northwest European Tertiary Basin. Geol. Jb.*, A100: 410-423.

GRAMANN, F., 1989. Forschungsbohrung Wursterheide. Benthonische Foraminiferen und verwandte Mikrofossilien, Biostratigraphie, Faziesanalyse. *Geol. Jb.*, A111: 287-319.

HEILMANN-CLAUSEN, C., 1982. The paleocene-Eocene boundary in Denmark. *Newsl. stratigr.*, 11: 55-63.

HEILMANN-CLAUSEN, C., 1993. Gradual morphological changes in some dinoflagellate cysts from the Eocene (Lower Tertiary) of the North Sea Basin. *Palynology*, 17: 91-100.

HEILMANN-CLAUSEN, C. & COSTA, L.I., 1989.

- Dinoflagellate Zonation of the Uppermost Paleocene ? to Lower Miocene in the Wursterheide Research Well, NW Germany. *Geol. Jb.*, A111: 431-521.
- HEILMANN-CLAUSEN, C., NIELSEN, O.B. & GERSNER, F., 1984. Lithostratigraphy and depositional environments in the Upper Paleocene and Eocene of Denmark. *Bull. geol. Soc. Denmark*, 33: 287-323.
- JOLLEY, D.W. & SPINNER, E., 1989. Some dinoflagellate cysts from the London Clay (Palaeocene-Eocene) near Ispwich, Suffolk, England. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 60: 361-373.
- KING, C., 1981. The stratigraphy of the London Clay and associated deposits. *Tertiary Res. Spec. Paper*, 6: 158 p.
- KING, C., 1990. Eocene stratigraphy of the Knokke borehole (Belgium). *Toelicht. Verhand. Geologische en Mijnkaarten van België*, 29: 67-102.
- KING, C., 1991. Stratigraphy of the Ieper Formation and Argile de Flandres (Early Eocene) in western Belgium and northern France. *Bull. Belg. Ver. Geol.*, 97(1988): 349-372.
- KLUMPP, B., 1953. Beitrag zur Kenntnis der Mikrofossilien des mittleren und oberen Eozän. *Palaeontographica*, A103: 377-406.
- KNOX, R.W.O'B., 1989. Mineralogy and Stratigraphy of Volcanic Ash Layers in Lower Palaeogene Beds of the Wursterheide Borehole, Northern Germany. *Geol. Jb.*, A111: 217-231.
- KNOX, R.W.O'B., 1994. Stratigraphical distribution of tephra layers in the Lower Paleogene of the southwestern margin of the North Sea Basin. *Bull. Soc. belge géol.*, 102(1993): 159-164.
- KNOX, R.W.O'B. & MORTON, A.C., 1988. The record of early Tertiary N Atlantic volcanism in sediments of the North Sea Basin. *In* : Morton, A.C. et Parson, L.M. (edit.). Early Tertiary Volcanism and the Opening of the NE Atlantic. *Geological Society Special Publication*, 39: 407-419.
- KÖTHE, A., 1990. Paleogene Dinoflagellates from Northwest Germany - Biostratigraphy and Paleoenvironment. *Geol. Jb.*, A118: 3-111.
- MORGENROTH, P., 1966. Mikrofossilien und Konkretionen des Nordwest-europäischen Untereozäns. *Palaeontographica*, B119: 1-53.
- SPIEGLER, D., 1989. Foraminiferen-Plankton des Tertiär aus der Forschungsbohrung Wursterheide. *Geol. Jb.*, A111: 321-351.
- STEURBAUT, E. & KING, C., 1994. Integrated stratigraphy of the Mont-Panisel borehole section (151E340), Ypresian (Early Eocene) of the Mons Basin, S.W. Belgium. *Bull. Belg. Ver. Geol.*, 102(1993): 175-202.
- WILLEMS, W., 1980. *De foraminiferen van de Ieper Formatie (Onder-Eoceen) in het zuidelijk Noordzeebekken (biostratigrafie, paleoökologie, systematiek)*. Thèse de Doctorat, Universiteit Gent (non publiée).
- WILLIAMS, G.L. & DOWNIE, C., 1966a. The London Clay. *In* : Davey, R.J., Downie, C., Sarjeant, W.A.S. et Williams, G.L. Studies on Mesozoic and Cainozoic dinoflagellate cysts. *Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.) Geology*, suppl. 3: 20-27.
- WILLIAMS, G.L. & DOWNIE, C., 1966b. The Genus *Hystrichokolpoma*. *In* : Davey, R.J., Downie, C., Sarjeant, W.A.S. et Williams, G.L. Studies on Mesozoic and Cainozoic dinoflagellate cysts. *Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.) Geology*, suppl. 3: 176-181.
- WRIGHT, C.A., 1972. The recognition of a planktonic foraminiferid datum in the London Clay of the Hampshire Basin. *Proc. Geol. Ass.*, 83: 413-420.

Manuscrit reçu le 4.03.1996 et accepté pour publication le 14.08.1996.

PLANCHE 1

Grossissement : x500

- Figure 1. *Fibrocysta essentialis* (DE CONINCK, 1969).
Kallo -372.5 m; lame 2.
- Figure 2. *Fibrocysta essentialis* (DE CONINCK, 1969).
Kallo -372.5 m; lame 1.
- Figure 3. *Fibrocysta* aff. *essentialis* (DE CONINCK, 1969).
Knokke -283 m; lame I.
- Figure 4. *Fibrocysta* aff. *essentialis* (DE CONINCK, 1969).
Knokke -284 m; lame 2.
- Figure 5. *Cerodinium wardenense* (WILLIAMS et DOWNIE, 1966).
Knokke -283 m; lame 2.
- Figure 6. *Cerodinium depressum* (MORGENROTH, 1966).
Knokke -282.5 m; lame 1.
- Figure 7. *Fibrocysta essentialis* (DE CONINCK, 1969).
Kallo -372.5 m; lame 3.
- Figure 8. *Cerodinium wardenense* (WILLIAMS et DOWNIE, 1966).
Knokke -283 m; lame I.
- Figure 9. *Pseudomasia trinema* DE CONINCK, 1969.
Knokke -282.5 m; lame 1.
- Figure 10. *Pseudomasia trinema* DE CONINCK, 1969.
Knokke -283 m; lame 2.
- Figure 11. *Pseudomasia trinema* DE CONINCK, 1969.
Knokke -284 m; lame 1.
- Figure 12. *Lentinia* aff. *wetzeli* (MORGENROTH, 1966).
Kallo -372.5 m; lame 2.
- Figure 13. *Deflandrea oebisfeldensis* ALBERTI, 1959.
Knokke -283 m; lame 2.
- Figure 14. *Wetziella lobisca* (WILLIAMS et DOWNIE, 1966).
Knokke -283 m; lame 1.

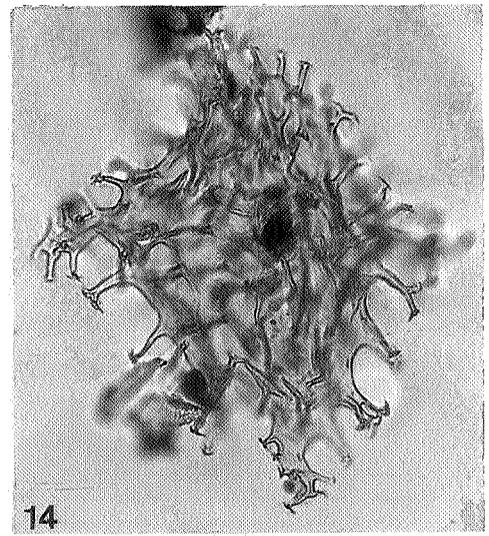
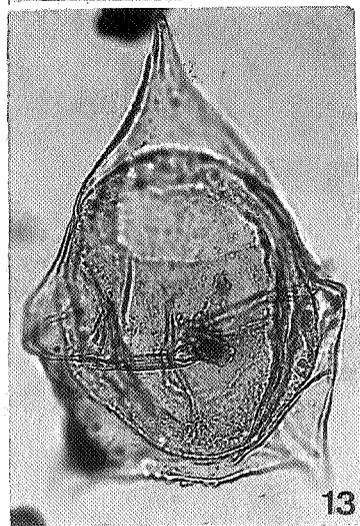
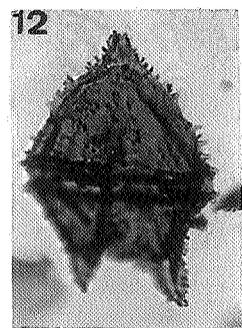
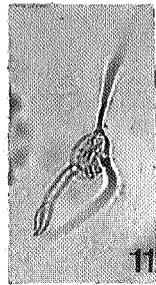
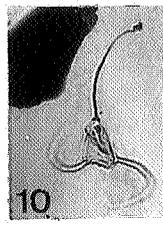
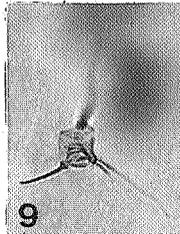
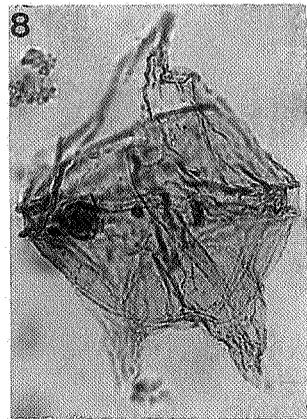
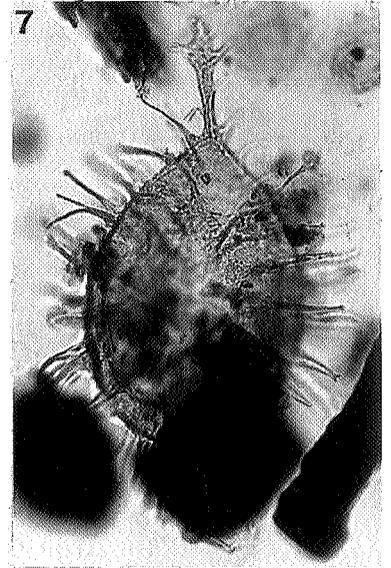
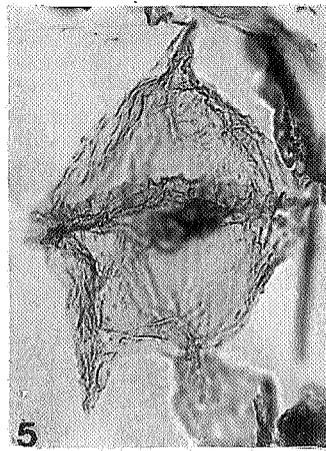
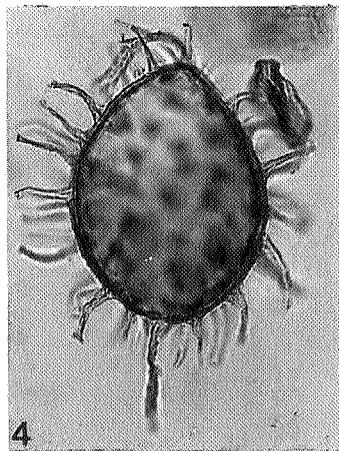
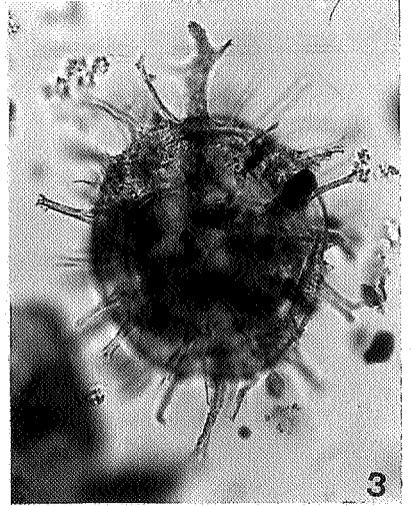
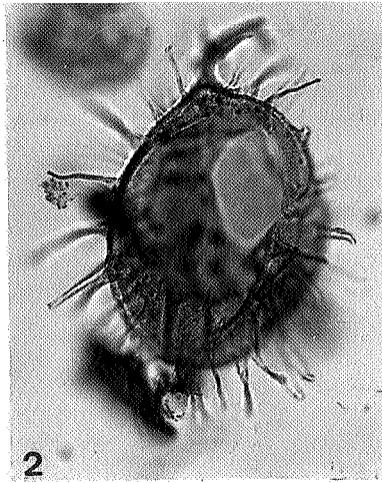
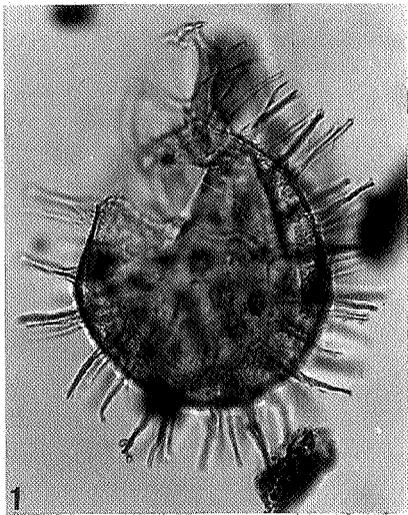


PLANCHE 2

Grossissement : x500

- Figures 1, 2. *Phthanoperidinium* aff. *crenulatum* (DE CONINCK, 1976).
Kallo -372.5 m; lame 2.
- Figure 3. *Wetziella astra* COSTA, DENNISON et DOWNIE, 1978.
Knokke -282.5 m; lame 1.
- Figure 4. *Wetziella astra* COSTA, DENNISON et DOWNIE, 1978.
Knokke -282.5 m; lame 1.
- Figure 5. *Wetziella* sp. aff. *W. articulata* EISENACK, 1938 - *W. meckelfeldensis* GOCHT, 1969.
Kallo -358.5 m; lame 2.
- Figure 6. *Wetziella astra* COSTA, DENNISON et DOWNIE, 1978.
Knokke -282.5 m; lame 1.
- Figure 7. *Kallosphaeridium breviparbatum* DE CONINCK, 1969.
Kallo -368.7 m; lame 2.
- Figure 8. *Kallosphaeridium orchiesense* DE CONINCK, 1976.
Kallo -368.7 m; lame 2.
- Figure 9. *Senegalinium?* *dilwynense* (COOKSON et EISENACK, 1965).
Kallo -354.5 m; lame 1.
- Figure 10. *Senegalinium?* *dilwynense* (COOKSON et EISENACK, 1965).
Knokke -277 m; lame 2.
- Figures 11, 14. *Adnatosphaeridium robustum* (MORGENROTH, 1966).
Kallo -368.7 m; lame 1.
- Figure 12. *Charlesdowniea crassoramosa* (WILLIAMS et DOWNIE, 1966).
Kallo -368.7 m; lame 1.
- Figure 13. *Hystrichokolpoma unispinum* WILLIAMS et DOWNIE, 1966 cf. *H. salacia* EATON, 1976.
Kallo -366.5 m; lame 3.

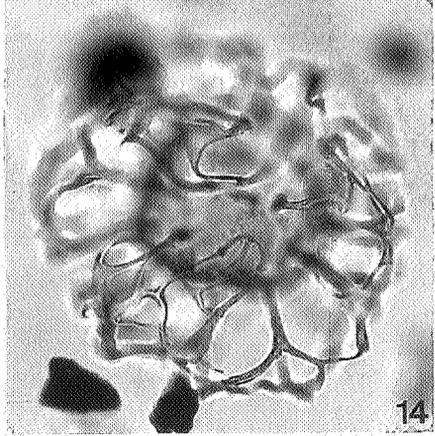
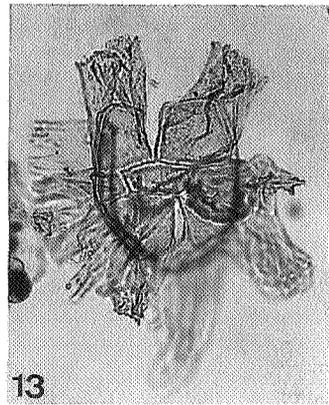
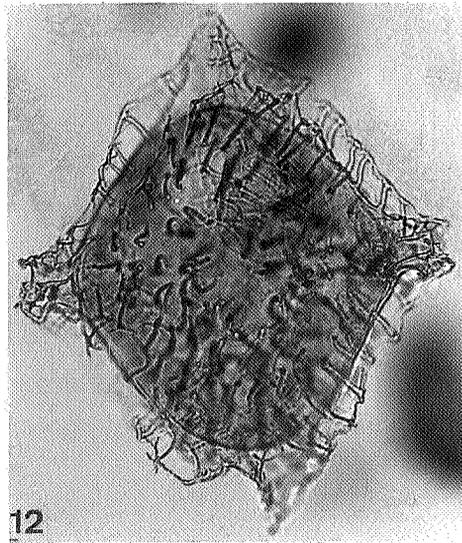
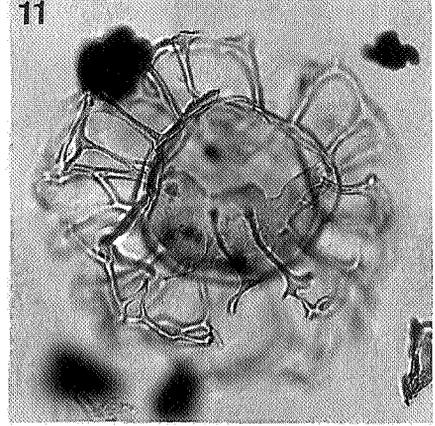
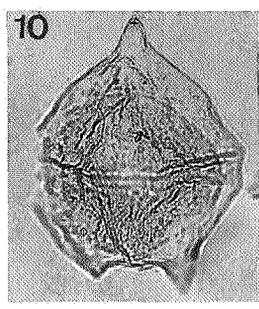
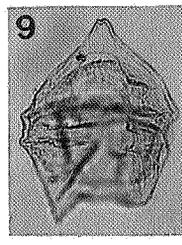
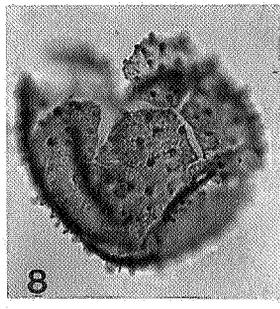
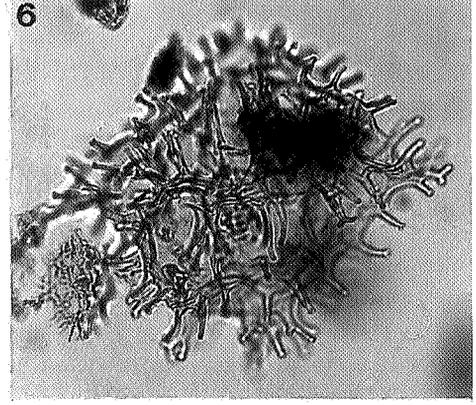
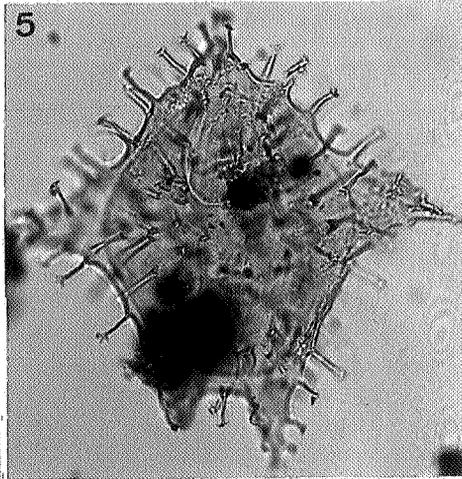
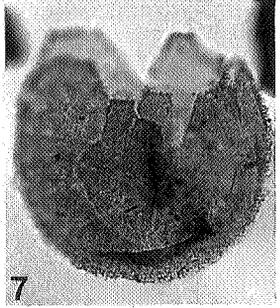
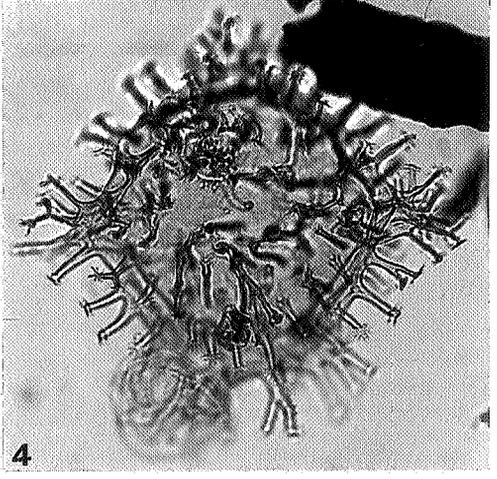
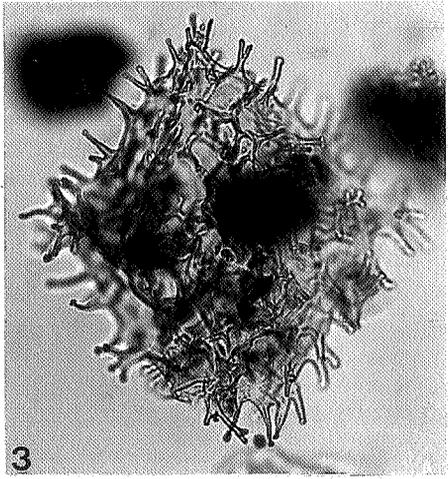
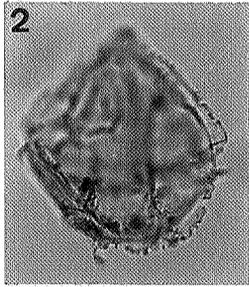
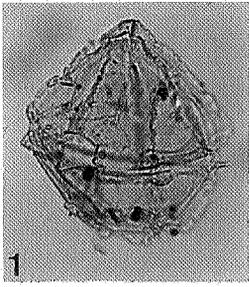


PLANCHE 3

Grossissement : x500

- Figures 1, 2. *Hystriochokolpoma unispinum* WILLIAMS et DOWNIE, 1966 cf. *H. rigaudae* DEFLANDRE et COOKSON, 1955. Kallo -361.6 m; lame 1.
- Figures 3, 4. *Hystriochokolpoma unispinum* WILLIAMS et DOWNIE, 1966 cf. *H. cinctum* KLUMPP, 1953. Knokke -277 m; lame 1.
- Figures 5, 6. *Hystriochokolpoma unispinum* WILLIAMS ET DOWNIE, 1966 cf. *H. cinctum* KLUMPP, 1953. knokke -277 m; lame 2.
- Figures 7, 8, 9. *Hystriochokolpoma unispinum* WILLIAMS et DOWNIE, 1966 cf. *H. salacia* EATON, 1976. Kallo -361.6 m; lame 3.
- Figure 10. *Hystriochokolpoma unispinum* WILLIAMS et DOWNIE, 1966 cf. *H. rigaudae* DEFLANDRE et COOKSON, 1955. Knokke -277 m; lame 1.
- Figure 11. *Apectodinium* aff. *homomorphum* (DEFLANDRE et COOKSON, 1955). Kallo -358.5 m; lame 1.
- Figure 12. *Apectodinium* aff. *homomorphum* (DEFLANDRE et COOKSON, 1955). Kallo -358.5 m; lame 1.
- Figure 13. *Eatonicysta ursulae* subsp. *furensis* HEILMANN-CLAUSEN et COSTA, 1990. Kallo -361.6 m; lame 1.
- Figures 14, 15. *Eatonicysta ursulae* subsp. *furensis* HEILMANN-CLAUSEN et COSTA, 1990. Kallo -358.5 m; lame 2.
- Figure 16. *Eatonicysta ursulae* subsp. *furensis* HEILMANN-CLAUSEN et COSTA, 1990. Kallo -358.5 m; lame 3.
- Figure 17. *Eatonicysta ursulae* subsp. *furensis* HEILMANN-CLAUSEN et COSTA, 1990. Kallo -361.6 m; lame 2.

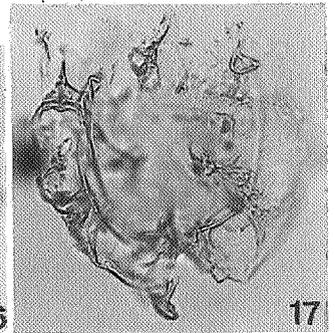
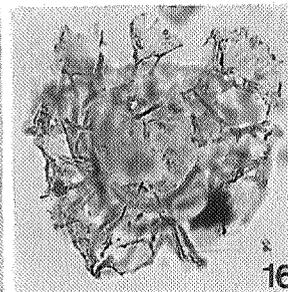
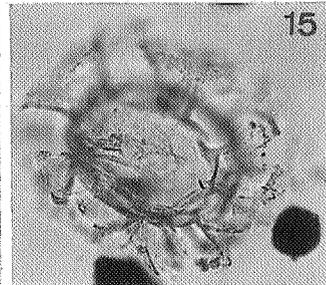
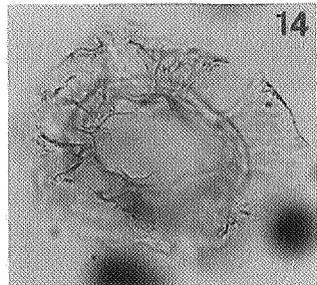
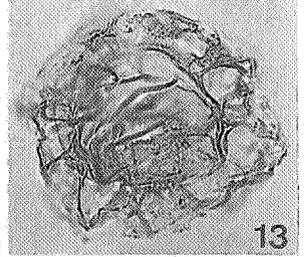
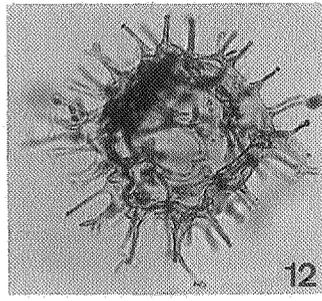
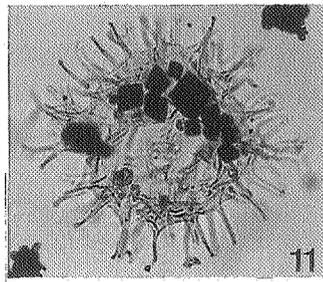
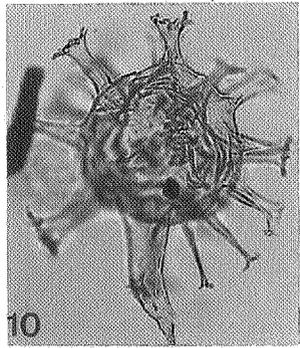
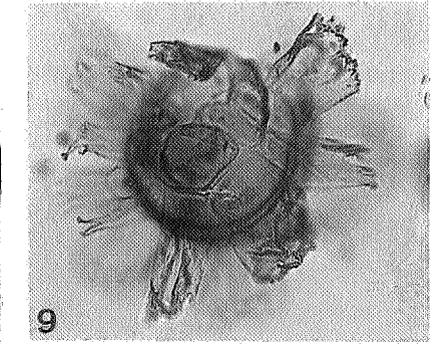
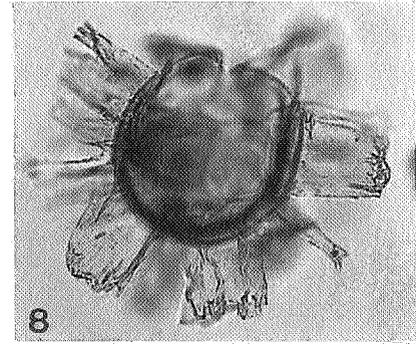
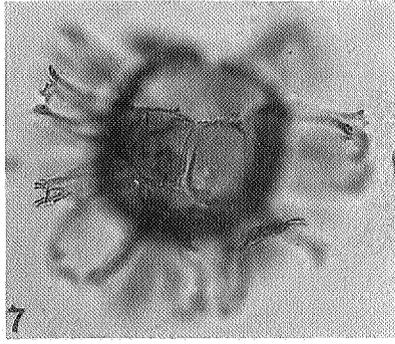
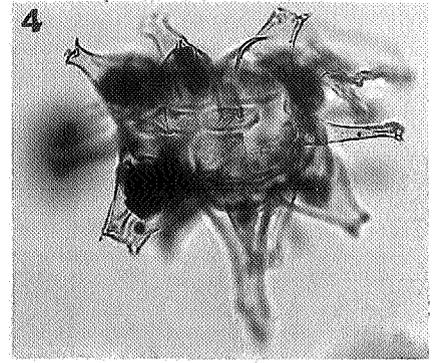
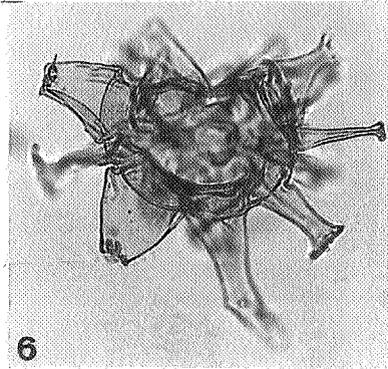
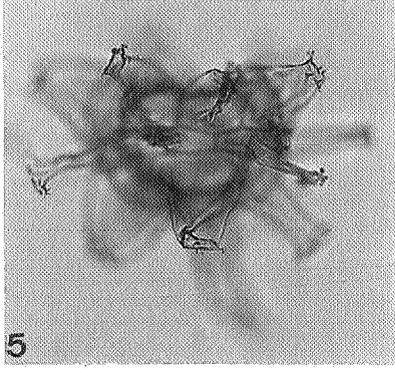
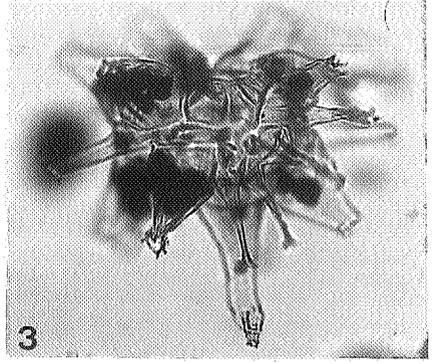
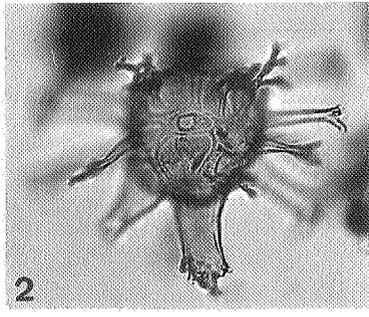
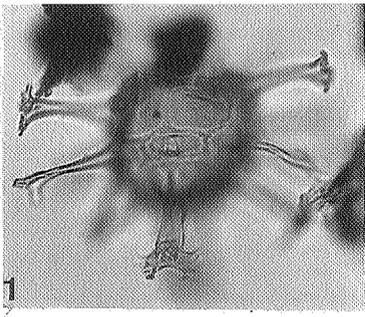


PLANCHE 4

Grossissement : x500

- Figures 1, 2, 3. *Membranilarnacia* sp. cf. *Eatonicysta*.
Kallo -361.6 m; lame 1.
- Figures 4, 5, 6. *Membranilarnacia* sp. cf. *Eatonicysta*.
Kallo -361.6 m; lame 1.
- Figures 7, 8. *Membranilarnacia* sp. cf. *Eatonicysta*.
Kallo -361.6 m; lame 1.
- Figures 9, 10, 11. *Membranilarnacia* sp. cf. *Eatonicysta*.
Kallo -361.6 m; lame 1.
- Figure 12. *Operculodinium* aff. *uncinispinosum* (DE CONINCK, 1969).
Knokke -278 m; lame 2.
- Figures 13, 14. *Muratodinium fimbriatum* (COOKSON et EISENACK,
1967).
Knokke -278 m; lame 2.
- Figure 15. *Operculodinium* aff. *uncinispinosum* (DE CONINCK, 1969).
Kallo -361.6 m; lame 2.
- Figure 16. *Operculodinium* aff. *uncinispinosum* (DE CONINCK, 1969).
Kallo -361.6 m; lame 2.
- Figure 17. *Turbiosphaera* aff. *galatea* EATON, 1976.
Knokke -277 m; lame 1.

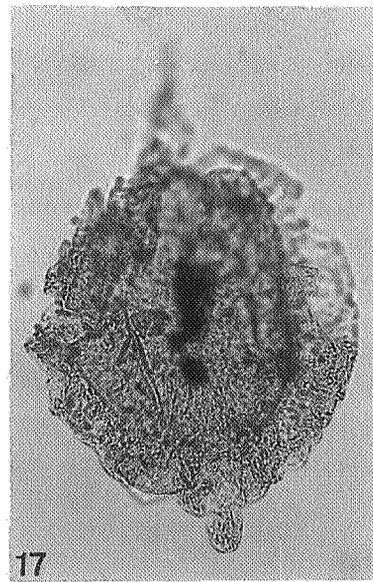
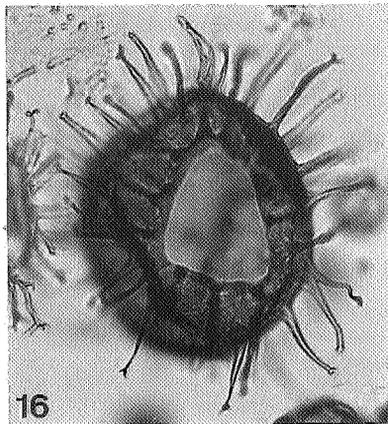
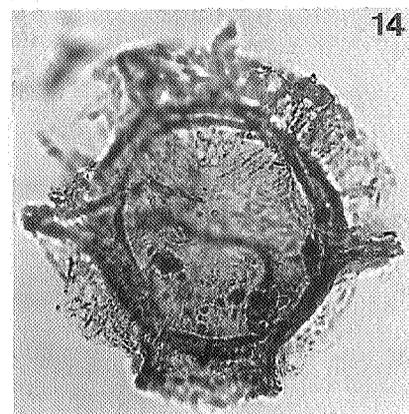
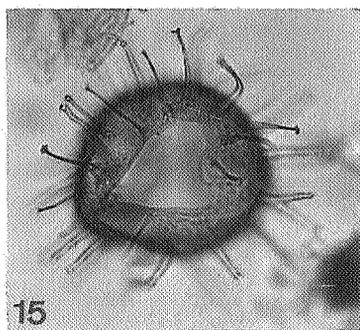
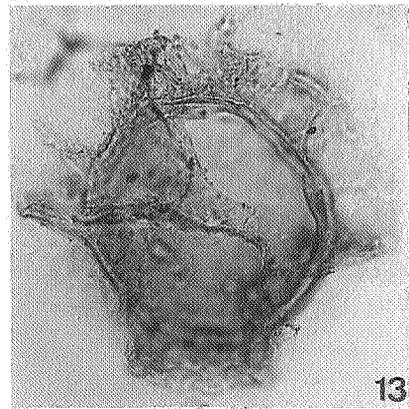
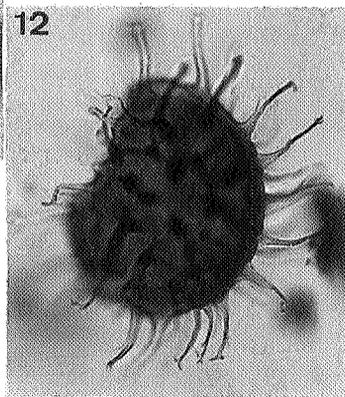
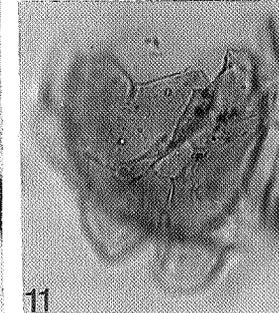
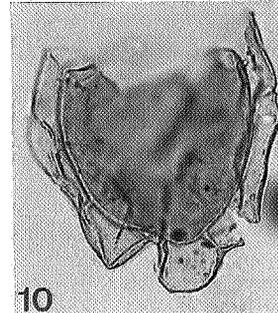
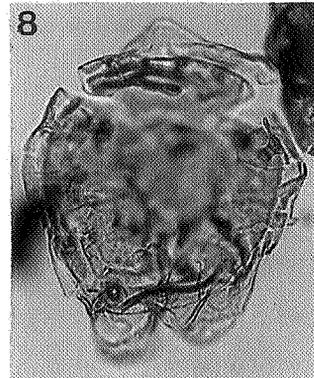
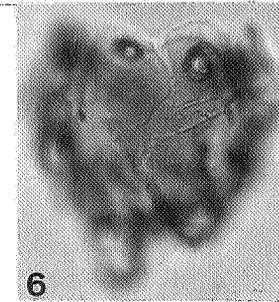
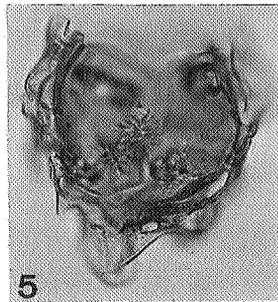
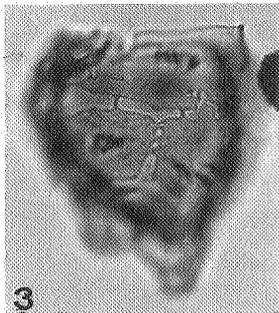
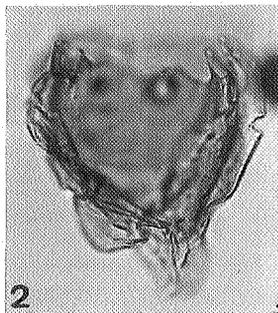
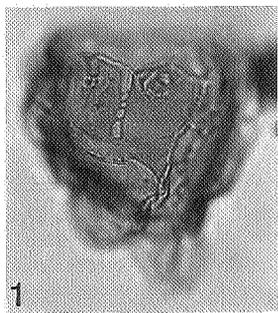


PLANCHE 5

Grossissement : x500

- Figures 1, 2, 3. *Systematophora placacantha* (DEFLANDRE et COOKSON, 1955).
Knokke -277 m; lame 1.
- Figures 4, 5. *Turbiosphaera* aff. *galatea* EATON, 1976.
Knokke -278 m; lame 1.
- Figures 6, 10, 13. *Turbiosphaera galatea* EATON, 1976.
Kallo -351 m; lame 2.
- Figure 7. *Turbiosphaera* aff. *galatea* EATON, 1976.
Kallo -361.6 m; lame 1.
- Figure 8. *Phthanoperidinium* aff. *crenulatum* (DE CONINCK, 1976).
Kallo -351 m; lame 2.
- Figure 9. *Phthanoperidinium* aff. *crenulatum* (DE CONINCK, 1976).
Kallo -351 m; lame 2.
- Figure 11. *Phthanoperidinium echinatum* EATON, 1976.
Kallo -337 m; lame 2.
- Figure 12. *Phthanoperidinium echinatum* EATON, 1976.
Kallo -347.7 m; lame 1.
- Figure 14. *Operculodinium uncinispinosum* (DE CONINCK, 1969).
Kallo -347.7 m; lame 1.
- Figure 15. *Phthanoperidinium* aff. *crenulatum* (DE CONINCK, 1976).
Kallo -337 m; lame 1.
- Figure 16. *Phthanoperidinium echinatum* EATON, 1976.
Kallo -345 m; lame 1.

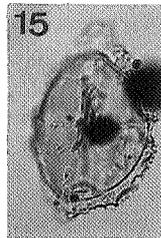
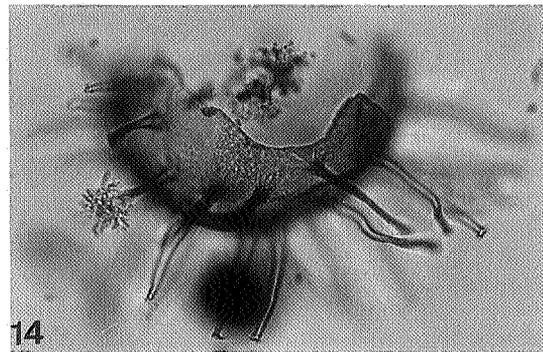
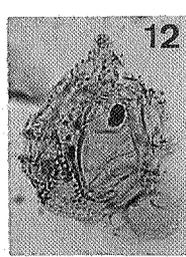
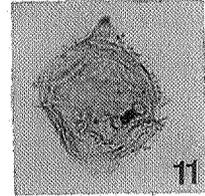
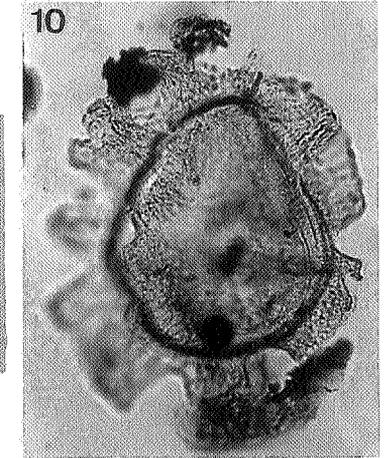
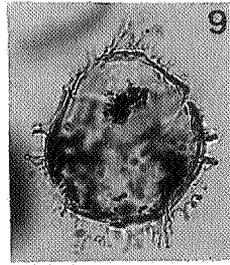
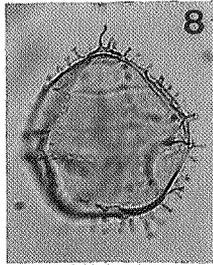
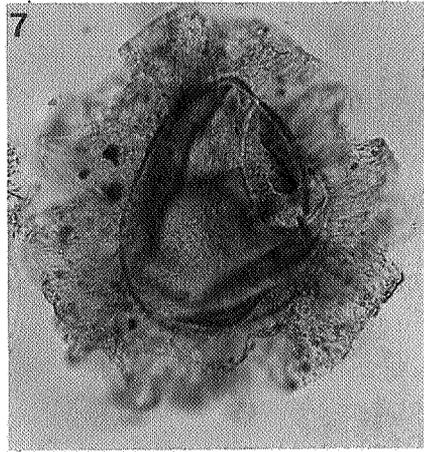
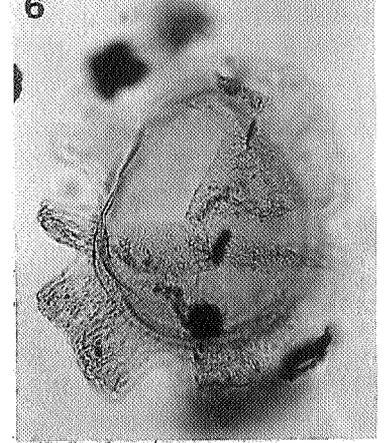
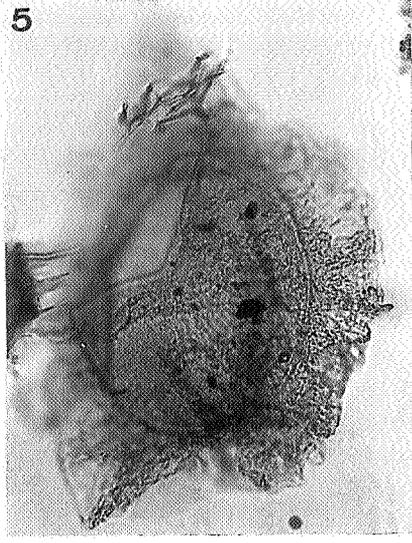
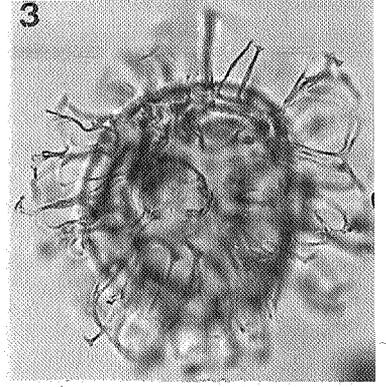
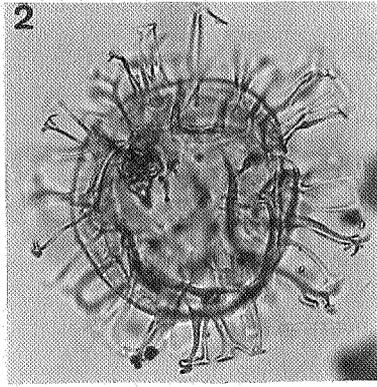
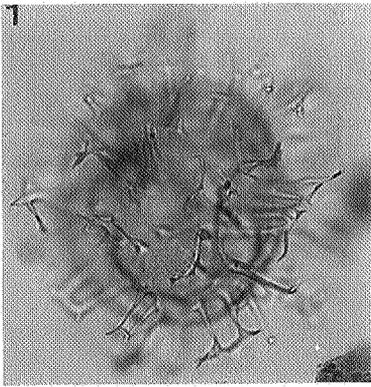


PLANCHE 6

Grossissement : x500

- Figure 1. *Muratodinium fimbriatum* (COOKSON et EISENACK, 1967).
Kallo -351 m; lame 1.
- Figure 2. *Phthanoperidinium echinatum* EATON, 1976.
Knokke -250.1 m; lame 2.
- Figures 3, 8. *Wetziella astra* COSTA, DENNISON et DOWNIE, 1978.
Kallo -342.4 m; lame 1.
- Figure 4. *Wetziella meckelfeldensis?* GOCHT, 1969.
Kallo -351 m; lame 1.
- Figures 5, 6. *Muratodinium fimbriatum* (COOKSON et EISENACK, 1967).
Kallo -351 m; lame 1.
- Figure 7. *Wetziella astra ?* COSTA, DENNISON et DOWNIE, 1978.
Kallo -337 m; lame 1.
- Figure 9. *Wetziella meckelfeldensis?* GOCHT, 1969.
Kallo -335.5 m; lame 2.
- Figure 10. *Wetziella astra* COSTA, DENNISON et DOWNIE, 1978.
Kallo -342.4 m; lame 2.
- Figures 11, 12, 13. *Cannosphaeropsis utinensis* O. WETZEL, 1933.
Kallo -337 m; lame 2.
- Figure 14. *Phthanoperidinium eocenicum* (COOKSON et EISENACK, 1965).
Knokke -247.1 m; lame 1.
- Figure 15. *Eatonicysta ursulae* subsp. *furensis* HEILMANN-CLAUSEN et COSTA, 1990.
Knokke -247.1 m; lame 2.

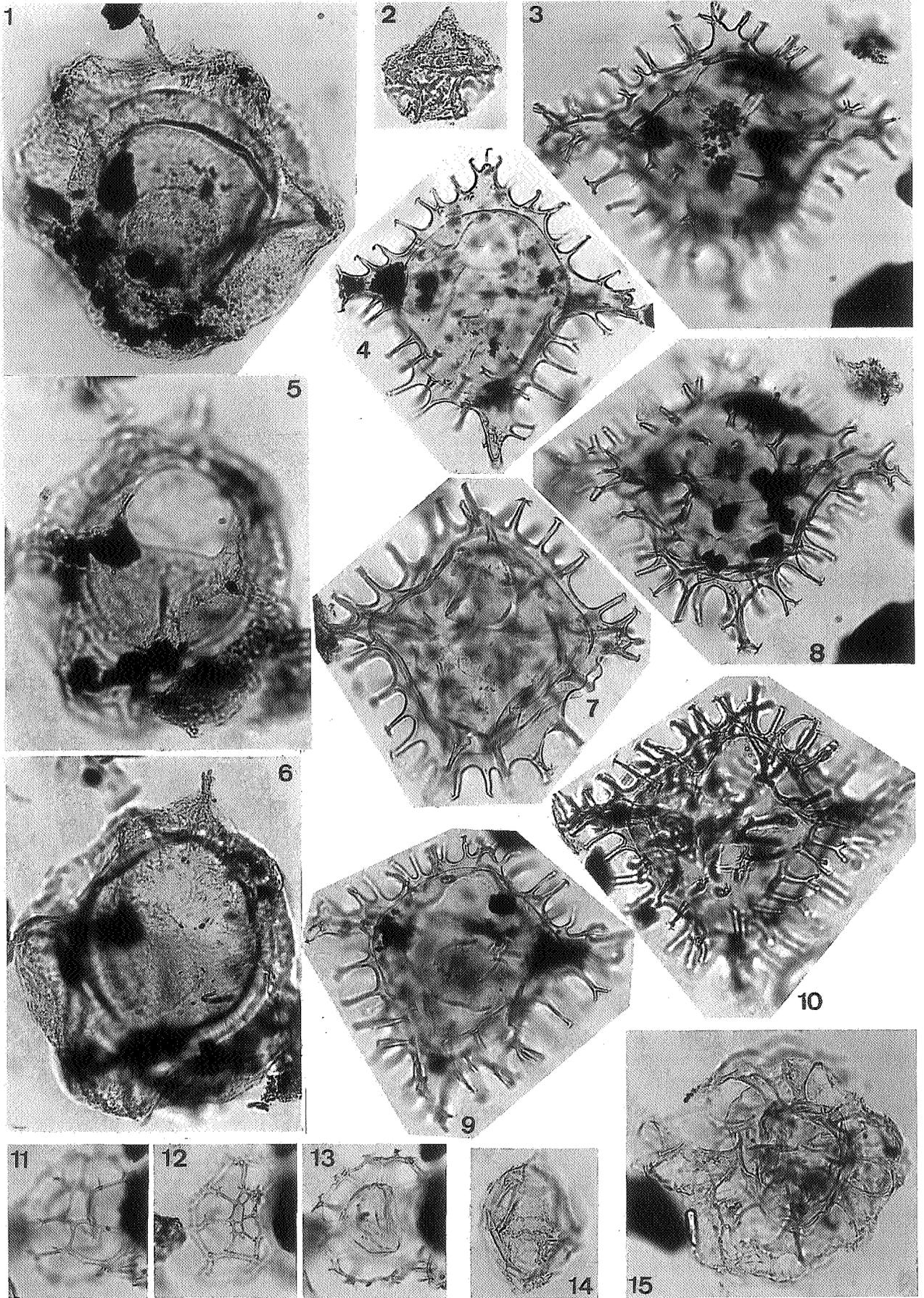


PLANCHE 7

Grossissement : x500

- Figures 1, 2, 3, 4. *Eatonicysta* aff. *ursulae* (MORGENROTH, 1966).
Kallo -335.5 m; lame 1.
- Figures 5, 6. *Eatonicysta* aff. *ursulae* (MORGENROTH, 1966).
Knokke -250.1 m; lame 1.
- Figures 7, 8. *Eatonicysta* aff. *ursulae* (MORGENROTH, 1966).
Knokke -247.1 m; lame 1.
- Figures 9, 10. *Eatonicysta* aff. *ursulae* (MORGENROTH, 1966).
Knokke -247.1 m; lame 1.
- Figures 11, 12. *Eatonicysta* aff. *ursulae* (MORGENROTH, 1966).
Knokke -250.1 m; lame 1.
- Figure 13. *Eatonicysta* aff. *ursulae* (MORGENROTH, 1966).
Knokke -250.1 m; lame 1.
- Figures 14, 15. *Eatonicysta* (aff.) *ursulae* (MORGENROTH, 1966).
Kallo -331.55 m; lame 1.
- Figure 16. *Eatonicysta* (aff.) *ursulae* (MORGENROTH, 1966).
Knokke -250.1 m; lame 2.
- Figures 17, 18. *Eatonicysta* aff. *ursulae* (MORGENROTH, 1966).
Kallo -331.55 m; lame 2.
- Figure 19. *Eatonicysta* *ursulae* subsp. *ursulae* (MORGENROTH, 1966).
Knokke -247.1 m; lame 2.
- Figure 20. *Eatonicysta* (aff.) *ursulae* (MORGENROTH, 1966).
Kallo -331.55 m; lame 1.
- Figure 21. *Eatonicysta* (aff.) *ursulae* (MORGENROTH, 1966).
Knokke -250.1 m; lame 2.

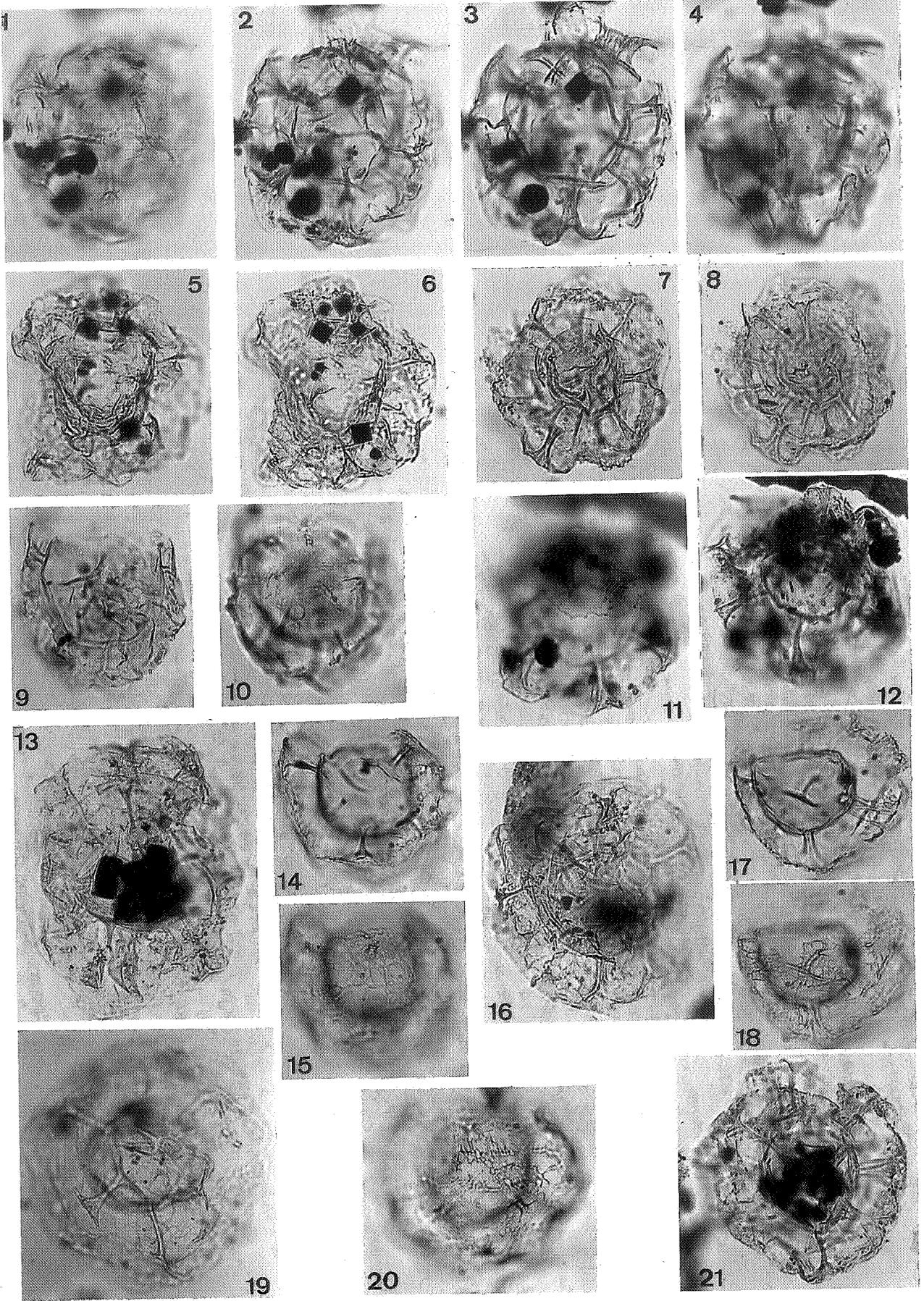


PLANCHE 8

Grossissement : x500

- Figure 1. *Wetziella* sp. aff. *Dracodinium simile* (EISENACK, 1954).
Knokke -250.1 m; lame 1.
- Figure 2. *Wetziella* sp. aff. *Dracodinium simile* (EISENACK, 1954).
Knokke -245.1 m; lame 2.
- Figure 3. *Wetziella* sp. aff. *Dracodinium simile* (EISENACK, 1954).
Knokke -245.1 m; lame 1.
- Figure 4. *Wetziella* sp. aff. *Dracodinium simile* (EISENACK, 1954).
Knokke -250.1 m; lame 2.
- Figure 5. *Wetziella* sp. aff. *Dracodinium simile* (EISENACK, 1954).
Kallo -330.5 m; lame 1.
- Figure 6. *Systematophora placacantha* (DEFLANDRE et COOKSON, 1955).
Knokke -245.1 m; lame 2.
- Figure 7. *Wetziella* sp. aff. *Dracodinium simile* (EISENACK, 1954).
Kallo -331.55 m; lame 2.
- Figure 8. *Homotryblium tasmaniense* COOKSON et EISENACK, 1967.
Kallo -330.5 m; lame 2.
- Figure 9. *Wetziella* sp. aff. *Dracodinium simile* (EISENACK, 1954).
Kallo -330.5 m; lame 1.
- Figure 10. *Homotryblium tasmaniense* COOKSON et EISENACK, 1967.
Kallo -330.5 m; lame 2.
- Figure 11. *Homotryblium tasmaniense* COOKSON et EISENACK, 1967.
Kallo -330.5 m; lame 2.

