

Répartition des Noelaerhabdaceae (nannofossiles calcaires) dans le Quaternaire moyen et supérieur des océans Atlantique et Pacifique

Noelaerhabdaceae
Nannofossiles calcaires
Marqueurs stratigraphiques
Quaternaire moyen et supérieur

Noelaerhabdaceae
Calcareous nannofossils
Stratigraphical markers
Upper/middle Quaternary

Annick PUJOS ^{a+} et Jacques GIRAUDEAU ^{b*}

^a Département de Géologie et Océanographie, Université de Bordeaux I, avenue des Facultés, 33405 Talence, France.

^b Micropaleontology Research Unit, South African Museum, PO Box 61, Cape Town 8000, South Africa.

+ Décédée le 31 juillet 1992.

* Adresse pour la correspondance.

Reçu le 13/04/93, révisé le 7/06/93, accepté le 10/06/93.

RÉSUMÉ

Les associations de nannofossiles calcaires appartenant à la famille des Noelaerhabdaceae ont été étudiées dans les sédiments de dix-sept carottes quaternaires prélevées dans divers domaines climatiques des océans Atlantique et Pacifique. Ces coupes, qui présentent une sédimentation régulière et pratiquement sans hiatus pendant les 500 000 dernières années, ont été datées à l'aide des mesures isotopiques de l'oxygène, des variations de la teneur en carbonate de calcium des sédiments, des variations de l'abondance totale des nannofossiles, des mesures du Thorium, et de la présence de niveaux de cendres volcaniques.

Les coccolithes du genre *Gephyrocapsa* sont rangés en trois groupes taxonomiques distincts, sur la base de critères morphologiques observables au microscope optique. Les acmés de ces trois groupes, ainsi que de l'espèce *Emiliania huxleyi*, fournissent des repères considérés comme marqueurs stratigraphiques. Ces marqueurs permettent d'individualiser la majeure partie des treize derniers stades climatiques glaciaires et interglaciaires, ainsi que certains événements climatiques de plus faible amplitude (8.5 et 6.5). La plupart de ces marqueurs ont une signification stratigraphique globale : acmé des «closed» *Gephyrocapsa* durant les stades 13, 11 et 9, et l'événement 8.5 ; acmé des «small» *Gephyrocapsa* durant le stade 7 et l'événement 6.5 ; acmé des «open» *Gephyrocapsa* au sommet de l'événement 6.5, et durant les stades 5 et 3 ; acmé d'*E. huxleyi* durant les stades 3 et 1. D'autres ne sont valables qu'au sud de la latitude d'extension maximale du front polaire nord-atlantique au cours du Quaternaire : acmé des «closed» *Gephyrocapsa* durant le stade 12 ; acmé des «small» *Gephyrocapsa* durant la base et le milieu du stade 5 ; acmé d'*E. huxleyi* durant le stade 2. D'autres, enfin, ont une utilisation restreinte au sud de 20°N : acmé des «small» *Gephyrocapsa* durant la transition du stade 10 au stade 9 ; acmé des «open» *Gephyrocapsa* durant le stade 6.

Oceanologica Acta, 1993. 16, 4, 349-362.

ABSTRACT

Distribution of Noelaerhabdaceae (calcareous nannofossils) in the upper and middle Quaternary of the Atlantic and Pacific oceans

Calcareous nannofossil assemblages of the family Noelaerhabdaceae have been studied in sediments of seventeen Quaternary cores raised from various climatic

areas of the Atlantic and Pacific oceans. These sections display a regular, hiatus-free sedimentation for the last 500 000 years. They have been dated using oxygen-isotopic measurements, variations of calcium carbonate content, variations of total nannofossil abundance, thorium measurements and volcanic ash horizons.

Coccoliths of the genus *Gephyrocapsa* have been placed in three distinct taxonomic groups, based on morphological criteria inferred from light-microscope observations. Their acmes, as well as the acme of *Emiliana huxleyi*, are considered as stratigraphic markers. These markers characterize most of the last thirteen glacial-interglacial climatic stages, as well as some climatic events of lower magnitude (8.5 and 6.5). Most of these markers have global stratigraphic significance: acme of "closed" *Gephyrocapsa* during stages 13, 11 and 9, and during event 8.5; acme of "small" *Gephyrocapsa* during stage 7 and event 6.5; acme of "open" *Gephyrocapsa* at top of event 6.5, and during stages 5 and 3; acme of *E. huxleyi* during stages 3 and 1. Others are only valid south of the southernmost latitude reached by the North-Atlantic polar front during the Quaternary: acme of "closed" *Gephyrocapsa* during stage 12; acme of "small" *Gephyrocapsa* in early and middle stage 5; acme of *E. huxleyi* during stage 2. Others are only valid south of 20°S: acme of "small" *Gephyrocapsa* at the 10/9 stage boundary; acme of "open" *Gephyrocapsa* during stage 6.

Oceanologica Acta, 1993. 16, 4, 349-362.

INTRODUCTION

Les nannofossiles calcaires, restes squelettiques d'algues monocellulaires océaniques et néritiques appartenant à la classe des Prymnesiophyceae, sont à l'origine d'énormes dépôts de petits éléments calcitiques, les coccolithes (et/ou nannolithes, fragments d'organismes *incertae sedis*, vraisemblablement apparentés aux Coccolithophoridae). Connus depuis plus d'un siècle, ils sont utilisés principalement comme marqueurs stratigraphiques, pour des dépôts d'âge compris entre le Jurassique et l'Actuel. La technique d'observation couramment employée (montage de sédiment en frottis bruts) et leur étude (détermination de datums) sont rapides; les résultats obtenus sont précis, d'où leur utilisation généralisée en stratigraphie.

Dans les séries quaternaires, on trouve uniquement des coccolithes; ils permettent de distinguer trois à cinq zones stratigraphiques, selon les auteurs (Boudreaux et Hay, 1969; Martini, 1971; Okada et Bukry, 1980). Le Quaternaire moyen et supérieur est généralement subdivisé en deux biozones à nannofossiles calcaires, offrant ainsi une résolution stratigraphique insuffisante comparée à d'autres techniques telles que l'utilisation des mesures isotopiques ($\delta^{18}\text{O}$ en particulier) réalisées sur les tests de foraminifères benthiques et planctoniques (Shackleton et Opdyke, 1973; Imbrie *et al.*, 1984). Les coccolithes des séries du Quaternaire inférieur (et plus particulièrement les périodes plus anciennes que 700 000 ans) ont permis l'établissement de zonations un peu plus détaillées dont les auteurs (Gartner, 1977; Pujos, 1988; Rio *et al.*, 1990) ont utilisé les périodes d'apparition et d'acmé des différentes *Gephyrocapsa* ainsi que d'autres taxa (*Cyclococcolithina macintyreii*, *Helicopontosphaera sellii*, en particulier).

Ce sont des critères du même ordre (acmés de différentes *Gephyrocapsa*) qui ont été recherchés et utilisés pour la

présente étude. L'observation des nannoflores fossiles porte ici sur des sédiments d'âge inférieur à 500 000 ans, et carotés dans divers points des océans Atlantique et Pacifique, à diverses latitudes, sous des régimes climatiques différents.

ZONATIONS BASÉES SUR LES NANNOFOSSILES CALCAIRES DANS LE PLÉISTOCÈNE MOYEN ET SUPÉRIEUR

En dehors des zonations traditionnelles, citées plus haut, quelques chronologies détaillées basées sur les nannofossiles calcaires ont été proposées dans le Quaternaire moyen et supérieur (soit les 450 000 dernières années):

Thierstein *et al.* (1977) ont mis en évidence le synchronisme des variations quantitatives de certaines espèces de coccolithes; ainsi ont-ils daté l'apparition d'*Emiliana huxleyi* (275 Ka) et le changement de dominance entre *E. huxleyi* et *Gephyrocapsa caribbeanica* (entre 73 et 85 Ka), tandis que la disparition de *Pseudoemiliana lacunosa* était précisée vers 450Ka. De tels âges, bien qu'importants, sont difficilement utilisables, en comparaison des précisions obtenues à partir des mesures isotopiques, même si ces dernières sont périodiquement remises en question au fur-et-à-mesure de l'évolution des techniques (Emiliani, 1966; Imbrie et Kipp, 1971; Imbrie *et al.*, 1984; Martinson *et al.*, 1987). Les résultats de Thierstein sont basés, entre autres, sur l'apparition et l'acmé d'*E. huxleyi*, dont les très petits coccolithes (longueur inférieure à 3 μm) sont difficilement déterminables et discernables des petites *Gephyrocapsa* au microscope optique, et même souvent au microscope électronique. Certes *E. huxleyi* est un datum indiscutable en ce qui concerne son apparition, mais il est rarement fiable quand il s'agit de repérer les premiers coccolithes apparus. Pour la même raison, l'évaluation du changement de domi-

nance d'*E. huxleyi* à *G. caribbeanica*, repose en fait surtout sur la reconnaissance de *G. caribbeanica*. La zonation de Thierstein, bien que très fiable, est donc difficile à utiliser en travail de routine ; elle permet tout au plus de distinguer trois zones dans les 450 000 dernières années.

Gartner (1977) a établi une «revised zonation of the Pleistocene». Comme la précédente, elle est basée sur les formes traditionnelles pour les 500 000 dernières années. Pour les périodes antérieures à 1 Ma, l'auteur introduit la notion de «small *Gephyrocapsa*». Ce n'est qu'au Pléistocène inférieur qu'il applique ce nouveau concept, que nous reprendrons ci-dessous pour des périodes plus récentes.

Enfin, une étude stratigraphique de l'ensemble du Quaternaire (Pujos, 1988), a été basée sur l'ensemble des datums et marqueurs des coccolithes des deux derniers millions d'années. Les taxa utilisés appartiennent aux genres généralement employés dans les zonations traditionnelles (*Emiliania*, *Gephyrocapsa*, *Pseudoemiliania*, *Umbilicosphaera*, *Cyclococcolithina* et *Helicopontosphaera*), le genre *Gephyrocapsa* étant subdivisé en diverses espèces. Cette étude a permis de mettre en évidence d'importants diachronismes pour des événements susceptibles d'être utilisés en stratigraphie (exemple : l'apparition de *G. caribbeanica* vers 1.2 Ma à la latitude de 60°N et vers 0.550 Ma à l'équateur). L'évolution spatio-temporelle de la distribution de certains taxa peut alors être utilisée avec précaution dans l'établissement d'une chronologie, en tenant compte de la position géographique des sections étudiées. La précision des datations obtenues par cette méthode (Pujos, 1988) n'a cependant aucun rapport avec celle requise pour les âges des stades climatiques au Quaternaire moyen et supérieur, tels qu'ils sont d'ordinaire mis en évidence à l'aide des mesures de $\delta^{18}\text{O}$.

TAXONOMIE DES NANNOFOSSILES À INTÉRÊT STRATIGRAPHIQUE DU PLÉISTOCÈNE MOYEN ET SUPÉRIEUR

Pour les 450 000 dernières années, toutes les zonations traditionnelles sont basées sur des taxa reconnus sans ambiguïté, tels *Emiliania huxleyi* et *Pseudoemiliania lacunosa*. Si l'on excepte ces deux marqueurs, les coccolithes présentant un intérêt stratigraphique durant cette période appartiennent tous au genre *Gephyrocapsa*, que certains auteurs ont détaillé en multiples «espèces» et «variétés», alors que ce ne sont en fait souvent que des morphotypes et/ou des écophénotypes. Certains auteurs se contentent d'attribuer une appellation temporaire, permettant une distinction entre des écomorphotypes (exemple : *G. oceanica* var. A, B et C, par Pujos-Lamy, 1976), alors que d'autres créent de nouvelles espèces à partir de coccolithes reconnus seulement dans une seule section, compliquant la taxonomie des formes quaternaires et assimilant des écotypes à des espèces ou des variétés *sensu stricto*. On arrive ainsi à un nombre exagéré d'espèces, tel Samtleben (1980) qui cite *G. sinuosa*, *G. pelta*, *G. rota*, *G. margerelii*, *G. muelleriae*, *G. undulatus*, *G. protohuxleyi*, *G. ornata*, *G. oceanica rodela*, *G. mediterranea*, *G. crassipons*. En fait, la multipli-

cité de ces «espèces» et «variétés» rend très difficile la comparaison de l'étude de Samtleben avec celles des autres chercheurs, car les multiples nouveautés s'ajoutent aux dénominations généralement admises et reconnues, telles que : *G. oceanica*, *G. caribbeanica*, *G. aperta* et *G. ericsonii*, et ne sont que peu ou pas reprises après leur création.

Le concept développé par Gartner (1977) consiste en un regroupement et une homogénéisation des taxa, en particulier au sein des *Gephyrocapsa*, sous des termes morphologiques simples, permettant de reconnaître des zones stratigraphiques valables à l'échelle du globe ; c'est ainsi qu'il crée la zone des «small *Gephyrocapsa*», qu'il situe entre 1.22 et 0.92 Ma ; il ne se sert pas du même concept pour les périodes plus récentes, mais il détaille le complexe *Gephyrocapsa* en décrivant l'ensemble du genre. C'est ainsi qu'il met en évidence :

- la petite taille des plus vieux spécimens de *G. caribbeanica* ;
- les deux variétés (*typica* et *californiensis*) de *G. oceanica* ;
- l'absence de barre chez *G. doronicoides*, *G.? producta* et *G. reticulata* ;
- une variabilité intraspécifique considérable chez *G. oceanica* et *G. caribbeanica*, qu'il attribue aux fluctuations climatiques du Pléistocène ;
- la fin de lignée évolutive issue de *G. oceanica* pour les deux espèces *G. lumina* et *G. omega* ;
- l'ouverture centrale nette et plus développée de *G. oceanica*, tandis que *G. caribbeanica*, forme parfois grande avec une barre suivant le petit axe (dans les sédiments des Caraïbes), est nettement plus petite avec une barre suivant un axe différent aux plus hautes latitudes : *G. caribbeanica* est une forme à aire centrale fermée, ou presque totalement fermée ;
- le groupe des petites *Gephyrocapsa*, avec *G. aperta*, *G. ericsonii*, *G. kamptneri*, *G. protohuxleyi* et *G. sinuosa*, formes indissociable au microscope optique.

A la suite des travaux de Gartner (1977), il est possible de recenser les *Gephyrocapsa*, et de les regrouper toutes en :

- «small» *Gephyrocapsa*, regroupant les petites formes autour de *G. aperta*, et dont la longueur du plus grand axe est généralement inférieure à 3 μm ;
- *Gephyrocapsa* dont la taille est supérieure à 3 μm , et qui sont subdivisées en :
 - «open» *Gephyrocapsa*, autour de *G. oceanica*, présentant toutes une ouverture centrale,
 - «closed» *Gephyrocapsa*, autour de *G. caribbeanica*, sans ouverture centrale.

Les trois groupes de *Gephyrocapsa*, dites «small», «open» et «closed», sont aisément reconnaissables au microscope optique, permettant une identification rapide du morphotype dominant. La terminologie américaine a été conservée, telle que Gartner (1977) l'a définie.

La présente étude est donc restreinte à la famille des Noelaerhabdaceae (= Prinsiacae ; invalide, ICBN Art. 37.1) qui, outre les *Gephyrocapsa*, comporte *Emiliania huxleyi* et *Pseudoemiliania lacunosa*, dont, respectivement, l'apparition et la disparition permettront de «caler» la chronologie.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les variations d'abondance des Noelaerhabdaceae au Quaternaire moyen et supérieur ont été recherchées et interprétées dans douze carottes océaniques prélevées des latitudes 60°N à 47°S (fig. 1). Cinq autres sites, dont les données micropaléontologiques et chronostratigraphiques sont empruntées à la littérature, ont été inclus dans la présente étude afin de compléter les données originales.

Choix des sections étudiées

Études personnelles

Les douze sections (tab. 1) étudiées ici ont été retenues car elles couvrent les 500 000 dernières années, ou tout au moins la plus grande partie de cette période, avec une sédimentation régulière et pratiquement sans hiatus. De plus, elles sont datées avec précision, à l'aide d'isotopes mesurés sur des foraminifères ou à l'aide du thorium ; dans certains cas, ce sont les variations des carbonates qui servent de référence, en particulier dans le Pacifique central équatorial, ainsi que dans certaines coupes prélevées aux plus hautes latitudes ; enfin, dans l'Atlantique Nord, la détermination des «ash zones» vient préciser les variations de la fraction inorganique des sédiments, tandis que l'abondance totale des nannofossiles, ainsi que celle des Noelaerhabdaceae, reflètent les fluctuations climatiques (McIntyre *et al.*, 1972) permettant de déterminer les limites des stades et événements climatiques.

Autres études

La répartition des nannofossiles quaternaires a été souvent étudiée et publiée pour de nombreuses carottes marines. Toutefois, la plupart du temps, seuls les datums (*E. huxleyi* et surtout *P. lacunosa*) et certaines zones (telle

Tableau 1

Situation des sites (études personnelles) et méthodes chronologiques utilisées. La chronologie est basée sur la composition isotopique de l'oxygène des foraminifères planctoniques (*), les mesures du thorium (Th), les variations des carbonates et/ou de l'abondance totale des coccolithes (°), et les niveaux de cendres volcaniques (*).

Location of sites (personal studies) and chronological tools. The chronology is based on the oxygen isotopic ratio of planktonic foraminifera (), thorium measurements (Th), fluctuations in the carbonates and/or in the total abundance of nannofossils (°), and volcanic ash zones (*).*

Mission	N° Section	Latitude	Longitude	Prof.	Chronol. (Leg)
Faegas 2	7705	60°23'5N	26°00'3W	2107 m	* et °
Faegas 1	73141	52°52'4N	16°30'7W	3432 m	* et °
DSDP-Leg 80	Site 548	48°54'9N	12°09'8W	1256 m	* et °
Transat	75204	47°01'3N	20°12'8W	3660 m	°
Gestlante IV	7211	45°06'N	7°56'W	4400 m	°
Midlante 1	72306	42°13'9N	20°52'4W	3759 m	Th et °
Midlante 2	74229	35°48'1N	28°12'8W	3432 m	* et °
ODP-Leg 108	Site 658	20°44'9N	18°34'8W	2262 m	°
	P.6304-4	15°27'N	70°43'W	4136 m	°
DSDP-Leg 85	Site 572	1°26'1N	113°50'5W	3900 m	°
Apsara 3	87715	35°51'S	6°36'W	2820 m	* et °
Apsara 1	82417	46°38'S	8°05'E	2130 m	* et °

que la zone à small *Gephyrocapsa*) sont signalés, dans le cadre de travaux exclusivement stratigraphiques - c'est le cas en particulier pour la plupart des publications DSDP et ODP - et les espèces de *Gephyrocapsa* sont rarement déterminées. Peu de publications portent sur des échantillons prélevés en fonction d'intervalles de temps suffisamment rapprochés (plus d'un échantillon par 10000 ans) et comportant des différenciations spécifiques suffisamment détaillées pour que le concept taxonomique de Gartner (1977) puisse être appliqué. Cinq références ont été retenues (tab. 2).

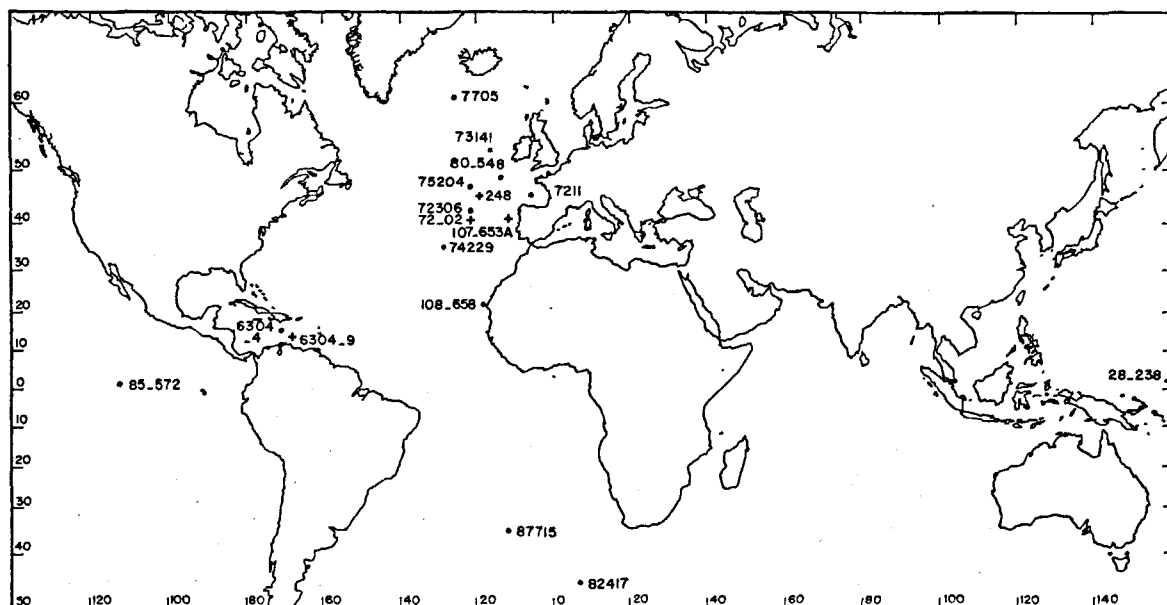


Figure 1

Situation des sites considérés dans la présente étude ; (•) études personnelles ; (+) données empruntées à la littérature.

Location of sections used in the present study ; (•) personal studies ; (+) other studies.

Chronologie des sections

Dans la mesure du possible, le choix s'est porté sur des sections où les mesures isotopiques avaient été effectuées sur des tests de foraminifères planctoniques : c'est le cas en particulier pour les sections suivantes : DSDP-Leg 80 Site 548 (Vergnaud-Grazzini et Saliège, 1984), Mid. 72306 (Duplessy *et al.*, 1975), Mid. 74229 (Pujol, 1980), ODP-Leg 108 Site 658 (Sarntheim et Tiedeman, 1989), P.6304-4 (Steinmetz et Anderson, 1984), MD.87715 (Labeyrie, comm. pers.) et MD.82417 (Ippolito, 1985). Pour ces sections, il est donc possible de reconnaître les stades isotopiques des 500 000 dernières années, puis de leur attribuer une chronologie et de localiser certains événements isotopiques (tels que le 6.5 et le 8.5), en prenant pour référence la courbe standard de Imbrie *et al.* (1984).

En l'absence de mesures isotopiques, d'autres techniques ont été employées pour repérer les principaux épisodes climatiques.

Tableau 2

Situation des sites pour lesquels les données relatives aux Noelaerhabdaceae ont été empruntées à la littérature. Pour la légende des méthodes chronologiques, se rapporter au tableau 1.

Location of sites (other studies) and sources of the Noelaerhabdaceae data. For caption of the chronological tools, see Table 1.

Références Chronol.	N° Section	Latitude	Longitude	Prof.	
Calet and Clocchiatti (1975)	K.248	45°20'N	19°47'W	3995 m	°
Bréheret (1977)	CH.72-02	40°39'5N	21°41'6W	4026 m	• et °
Müller (1990)	107-653A	40°15'9N	11°27'W	2817 m	•
Gartner (1972)	P.6304-9	14°57'N	68°55'W	4126 m	•
Geitzenauer <i>et al.</i> (1976)	V.28-238	1°01'N	160°29'E	3120 m	•

C'est ainsi que les variations de la teneur en carbonate des sédiments sont utilisées aux moyennes et hautes latitudes. A la suite de travaux, tels ceux de Kellogg (1973) et Ramm (1988), il est possible de corréliser avec une assez bonne fiabilité les plus fortes valeurs de carbonates avec les épisodes les plus chauds (= stades interglaciaires), les plus faibles valeurs correspondant aux stades glaciaires. Dans ce travail, nous avons utilisé tantôt les courbes du carbonate total, tantôt celles de la fraction carbonatée < 40 ou 44 µm. Cette technique a été employée seule ou en complément d'autres, pour les sections suivantes : F2.7705, F1.73141, DSDP Leg 80 Site 548 (Pujos, 1984), Tr.75204, GG.7211, Mid.72306 (Duplessy *et al.*, 1975), Mid.74229, DSDP Leg 85 Site 572 (Pujos, 1985), MD.87715, MD.82417.

L'abondance totale des nannofossiles est estimée à partir du comptage des coccolithes présents dans un champ de microscope optique (x 1200); assimilable à un indicateur de climat (McIntyre et Bé, 1967; McIntyre *et al.*, 1972; Belanger, 1982), la courbe d'abondance totale des coccolithes est proche de celle des mesures isotopiques.

Aux hautes et moyennes latitudes (régions où se fait sentir l'influence du déplacement du front polaire, lors de l'alternance des stades froids et chauds), les «barren zones» coïncident avec les périodes de glaciations et se traduisent donc par de forts minima de l'abondance des coccolithes. Durant ces épisodes glaciaires, outre la baisse des températures, se produit une diminution de la profondeur de compensation des carbonates par intensification des circulations d'eaux profondes froides, ce qui induit une dissolution des carbonates plus forte que pendant les périodes interglaciaires, ainsi qu'une augmentation de l'abondance des particules détritiques charriées par les glaces. Ces deux processus peuvent provoquer la diminution relative et irrégulière de la quantité des coccolithes en période glaciaire; il n'est donc pas possible de tenir compte des comptages des nannofossiles durant ces périodes, en tant qu'indicateurs climatiques. Les Noelaerhabdaceae constituant la famille largement majoritaire dans les comptages de nannofossiles, il est tenu compte, en plus de l'abondance totale des nannofossiles, de l'abondance des représentants de cette famille.

Ces deux courbes sont figurées pour toutes les sections étudiées. Seule l'abondance des Noelaerhabdaceae est représentée pour les sections publiées par d'autres auteurs.

Les mesures de thorium effectuées sur la carotte Mid. 72306 ont permis de dater cette section (Duplessy *et al.*, 1975).

Enfin, des niveaux de cendres volcaniques («ash zones»), dont les âges sont connus d'après les travaux de Ruddiman et Glover (1975), entre autres, apportent des précisions chronologiques à deux sections du Nord de l'Atlantique Nord (F2.7705 et F1.73141).

RÉSULTATS

Pour toutes les sections étudiées, sont représentées, en fonction de la profondeur, les variations d'abondance (pourcentages en fonction du nombre total de coccolithes) d'*E. huxleyi* et des trois groupes taxonomiques de *Gephyrocapsa* tels qu'ils ont été précédemment définis. Les outils stratigraphiques permettant de dater les carottes et de positionner les stades et événements (6.5 et 8.5) climatiques sont également figurés. Il a semblé plus judicieux, dans un souci d'homogénéisation, de raisonner uniquement en termes de stades et événements climatiques (proches des stades et événements isotopiques *sensu stricto*), afin de pallier le manque de données isotopiques pour certaines sections.

Enfin, l'Océan Atlantique a été découpé en trois zones latitudinales : au nord de 45°N, latitude généralement admise pour situer l'extension maximale du front polaire Nord vers le Sud en période glaciaire, et où les coccolithes ne sont représentés que pendant les stades interglaciaires; entre 45° et 20°N; et au sud de 20°N (les sections prélevées dans l'Océan Pacifique sont rattachées à cette dernière zone latitudinale). Il a été recherché, à l'intérieur de chacune de ces zones géographiques, les tendances communes en ce qui concerne les périodes d'acmé des différentes *Gephyrocapsa* et d'*E. huxleyi*. Les pourcentages minima à partir desquels sont prises en considéra-

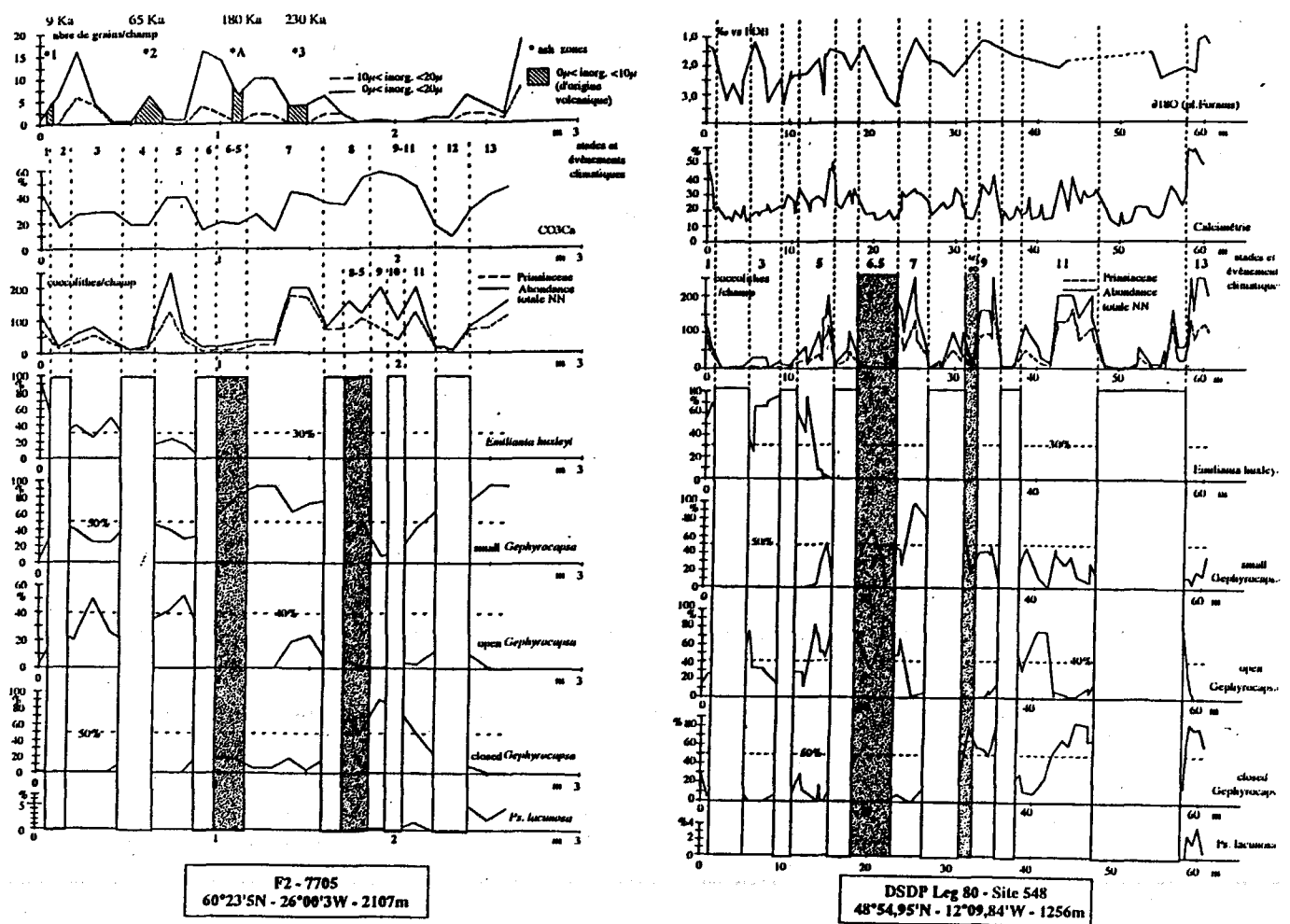


Figure 2

Distribution des Noelaerhabdaceae dans les sites prélevés au nord de 45°N: F2.7705, Leg 80-Site 548, F1.73141, Tr.75204.

tion les périodes d'acmé ont été arbitrairement fixés à 30 % (*E. huxleyi*), 40 % («open» *Gephyrocapsa*), et 50 % («small» et «closed» *Gephyrocapsa*), sur la base de l'abondance moyenne de ces groupes taxonomiques dans l'ensemble des sections considérées.

Nord de 45°N (fig. 2)

E. huxleyi présente deux périodes d'acmé durant les stades climatiques 3 et 1. La dominance de cette espèce durant le stade 3 est plutôt irrégulière, et coïncide avec les maxima d'abondance totale des nannofossiles durant cet épisode interglaciaire.

Les «small» *Gephyrocapsa* sont majoritairement représentées durant la totalité du stade climatique 7, et déclinent en abondance durant l'événement 6.5.

Les coccolithes du groupe des «open» *Gephyrocapsa* dominent la nannoflore (> 40 %) au sommet de l'événement climatique 6.5, durant la totalité du stade 5, et, plus irrégulièrement, en concurrence avec *E. huxleyi*, durant le stade 3.

Enfin, les maxima d'abondance des «closed» *Gephyrocapsa* caractérisent les bases des sections, soit les stades climatiques 13, 11 et 9, ainsi que l'événement 8.5.

De 45° à 20°N (fig. 3 a et b)

L'absence de «barren zones» dans les sections situées au sud de 45°N permet de définir de nouvelles périodes d'acmé de Noelaerhabdaceae, qui s'ajoutent à celles décrites dans les sections des hautes latitudes.

C'est ainsi que la période d'acmé d'*E. huxleyi* s'étend du sommet du stade climatique 5 à l'Actuel, avec cependant une brusque diminution d'abondance durant le stade 4.

Aux épisodes d'acmé des «small» *Gephyrocapsa* décrits plus haut (stade 7 et base de l'événement 6.5), s'ajoute la dominance des coccolithes de ce groupe durant la majeure partie du dernier interglaciaire (base et milieu du stade climatique 5).

Aucune période d'acmé autre que celles décrites dans les sections des hautes latitudes ne caractérise les coccolithes appartenant aux groupes des «open» *Gephyrocapsa*.

Enfin, outre durant le stade 9 et l'événement 8.5, l'acmé des coccolithes du groupe des «closed» *Gephyrocapsa* s'étend continuellement du stade 13 au stade 11.

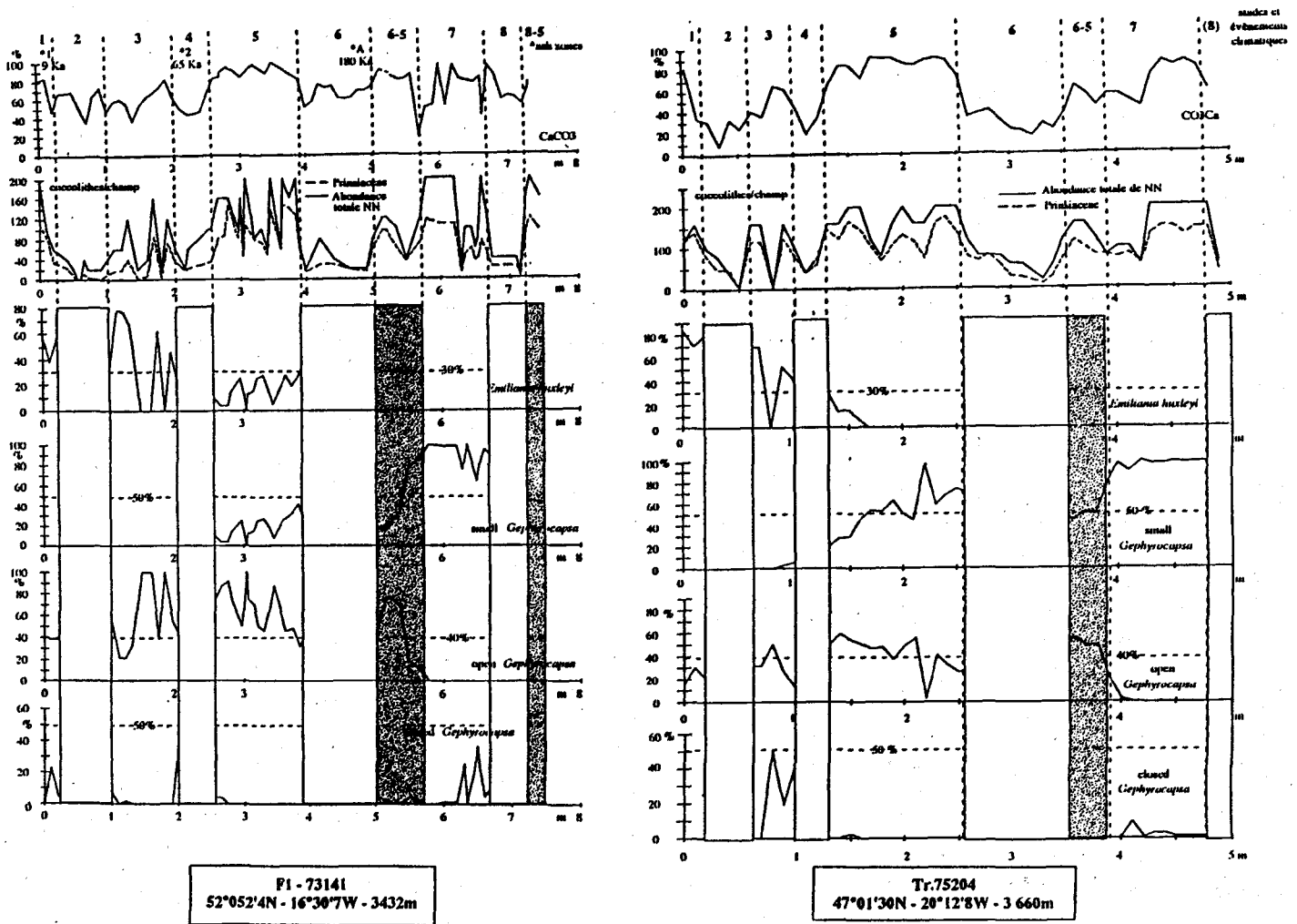


Figure 2

Distribution of Noelaerhabdaceae in sections raised north of 45°N: F2.7705, Leg 80-Site 548, F1.73141, Tr.75204.

De 20°N à 46°S (fig. 4 a et b)

Deux périodes supplémentaires d'acmé de Noelaerhabdaceae sont identifiables dans les sections situées dans cette zone. La limite entre les stades climatiques 10 et 9 est marquée par un pic d'abondance des coccolithes du groupe des «small» Gephyrocapsa. Le stade climatique 6, reconnu comme une période d'acmé des «open» Gephyrocapsa, s'ajoute aux périodes de dominance de ce groupe décrit précédemment durant l'événement 6.5 et les stades climatiques 5 et 3.

DISCUSSION

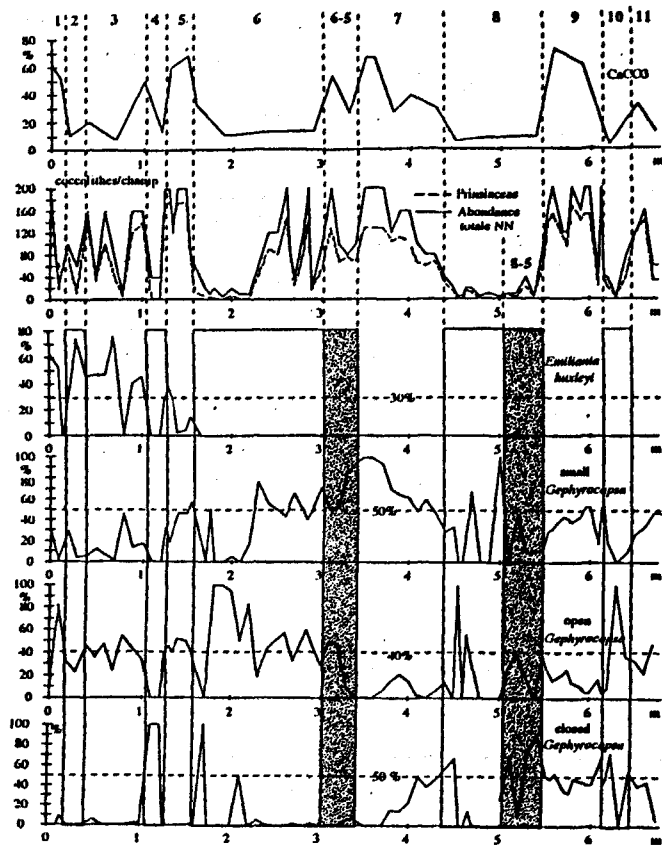
L'analyse détaillée des Noelaerhabdaceae dans les sédiments de dix-sept carottes quaternaires prélevées dans divers domaines climatiques des océans Atlantique et Pacifique, permet d'établir un schéma stratigraphique synthétique pour les 500 000 dernières années (fig. 5). Ce schéma repose sur trois groupes taxonomiques appartenant au genre Gephyrocapsa, et sur l'espèce E. huxleyi, dont les variations quantitatives sont particulièrement liées à la suc-

cession des stades climatiques glaciaires/interglaciaires durant le Quaternaire moyen et supérieur. La majeure partie des treize derniers stades climatiques peut ainsi être caractérisée par l'acmé d'une de ces catégories taxonomiques. Sont également figurées sur ce schéma synthétique, la disparition de P. lacunosa, et l'apparition d'E. huxleyi, datums universellement reconnus, qui s'ajoutent aux données stratigraphiques fournies par les acmé des Noelaerhabdaceae.

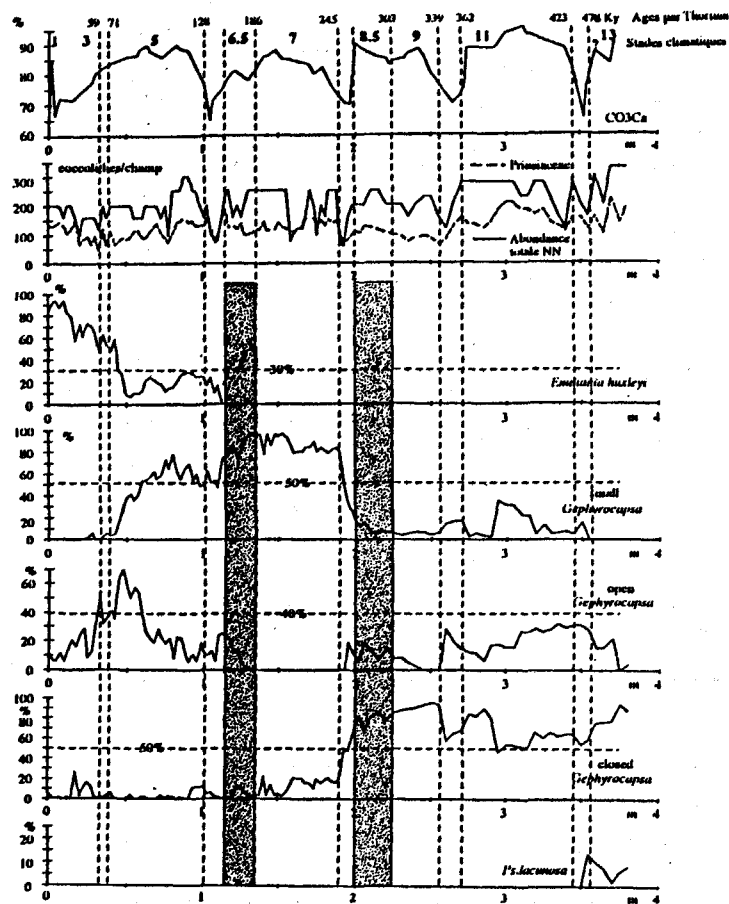
Marqueurs valables à toutes les latitudes

Ces marqueurs caractérisent les sept derniers stades interglaciaires des 500 000 dernières années.

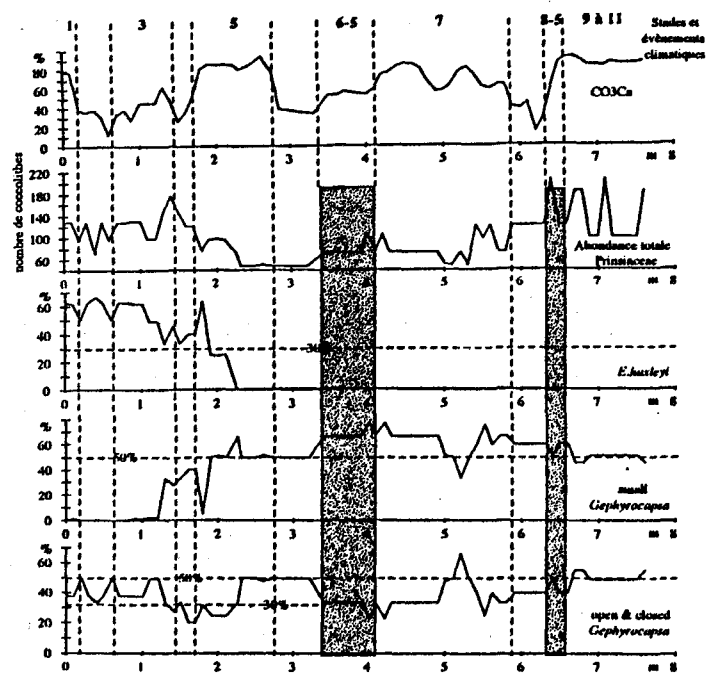
- Les stades climatiques 13, 11 et 9 sont ainsi caractérisés par l'acmé des coccolithes du groupe des «closed» Gephyrocapsa. La dominance de ce groupe taxonomique s'achève au cours de l'événement climatique 8.5, soit de façon synchrone à l'apparition d'E. huxleyi, datum difficilement reconnaissable en travail de routine au microscope optique.
- La période d'acmé des coccolithes du groupe des «small» Gephyrocapsa occupe la totalité du stade 7, et s'achève à la base de l'événement climatique 6.5.



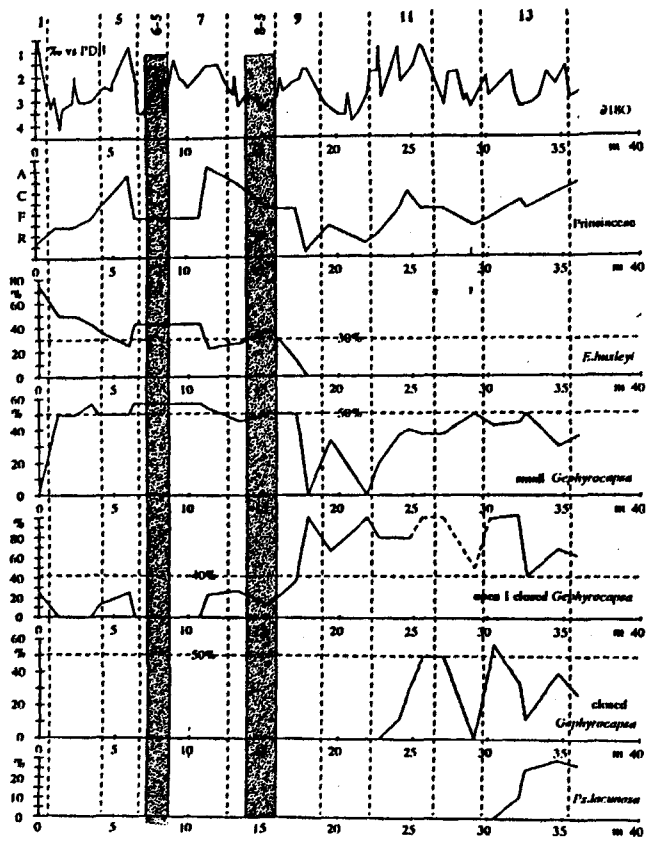
GG.7211
45°06'N - 7°56'W - 4400m



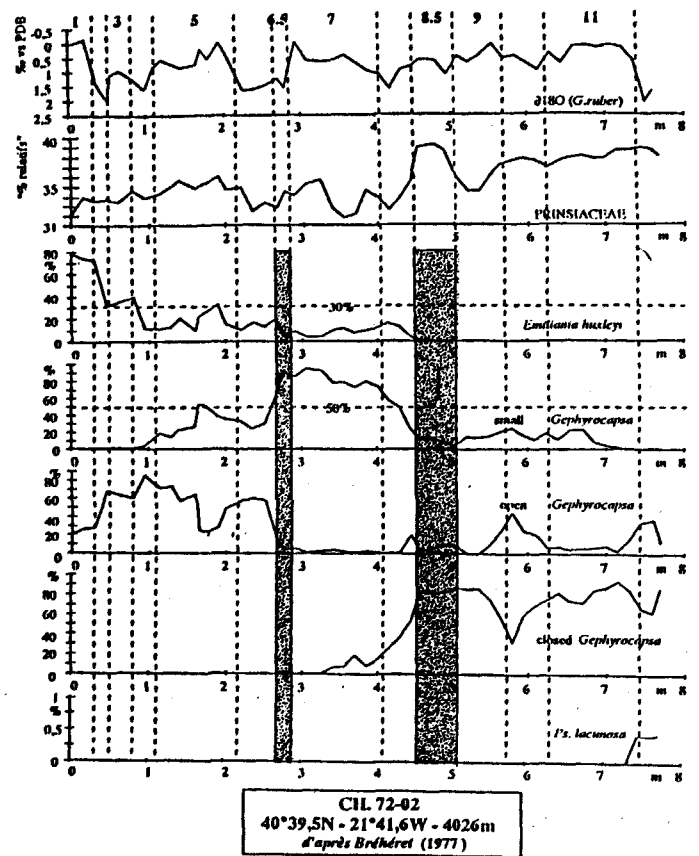
Mid.72306
42°13'9"N - 20°52'4"W - 3756m



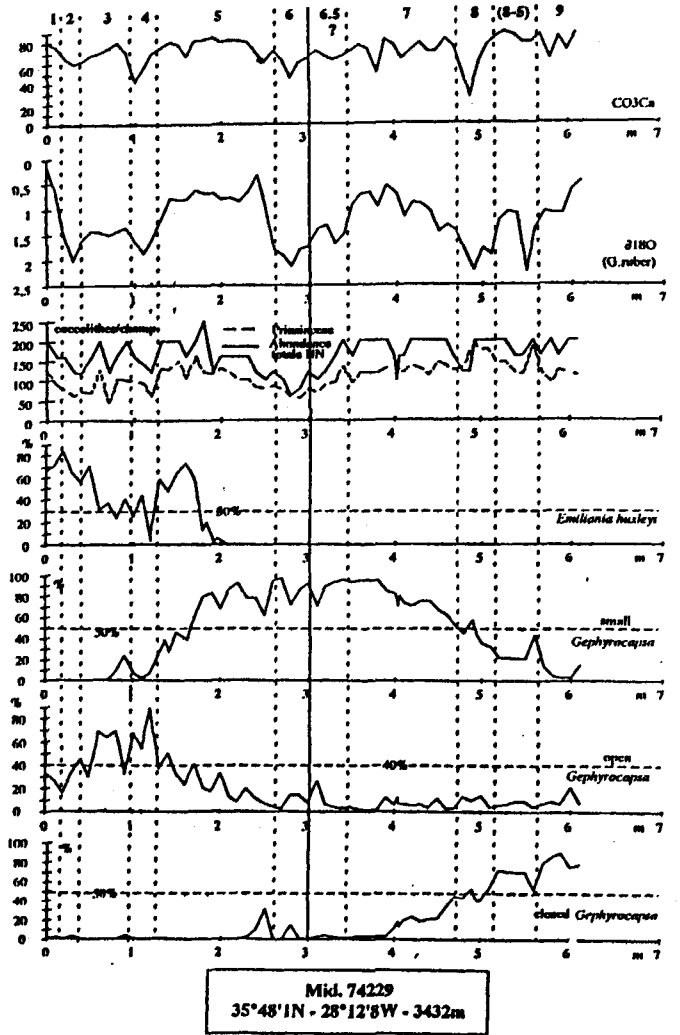
K.248
45° 20' N - 19° 47' W - 3995m
(d'après Caulet & Clochiati, 1975)



Leg 107 - Hole 653 A.
40° 15.86'N - 11° 26.99'W - 2817m
(d'après Müller, 1990)



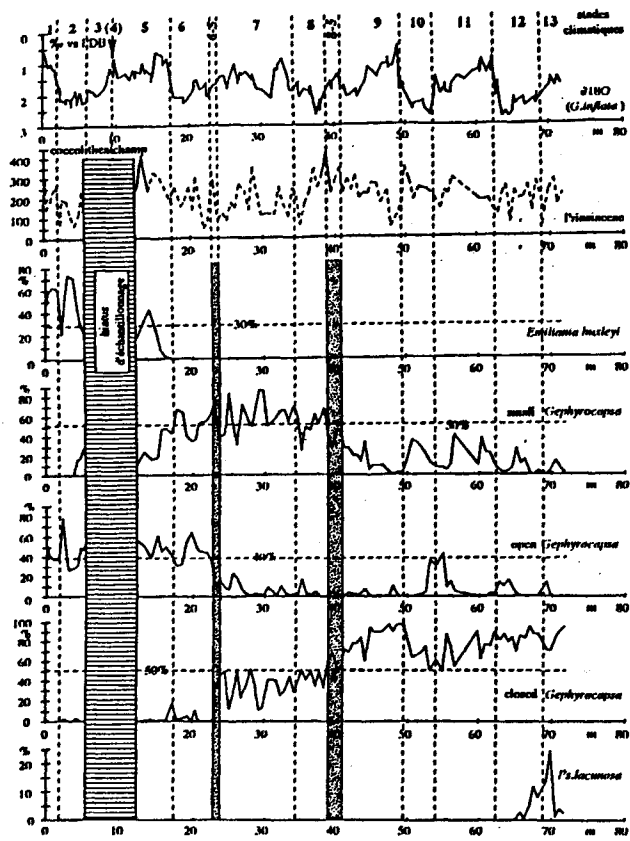
CHL 72-02
40°39,5N - 21°41,6W - 4026m
d'après Brodhéret (1977)



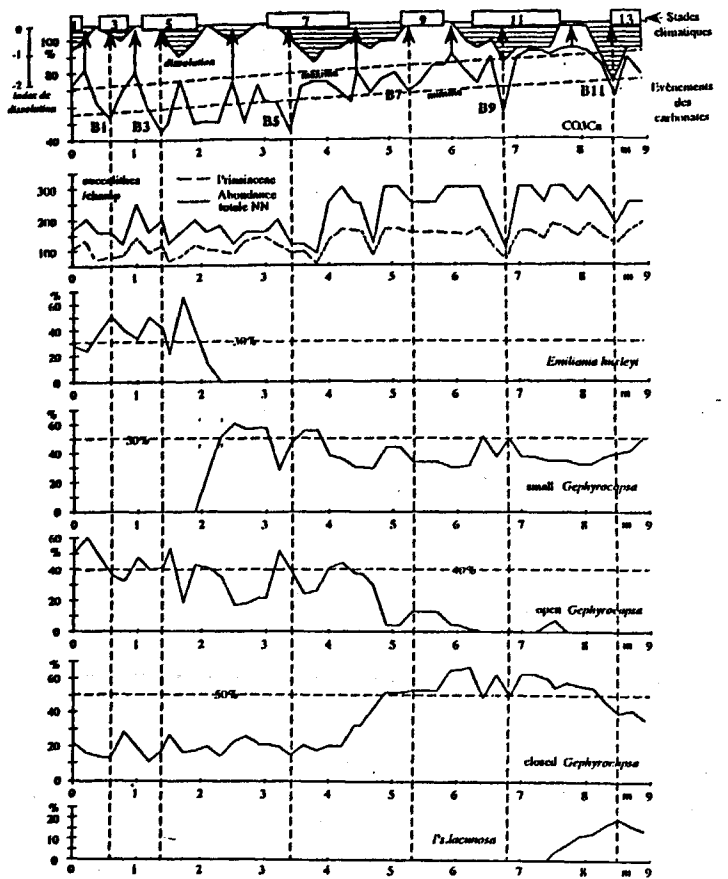
Mid. 74229
35°48'1N - 28°12'8W - 3432m

Figure 3 a et b
Distribution des Noelaerhabdaceae dans les sites prélevés entre 45° et 20°N : a) GG.7211, Mid. 72306, K.248 ; b) CH.72-02, Leg 107- Hole 653A, Mid. 74229.

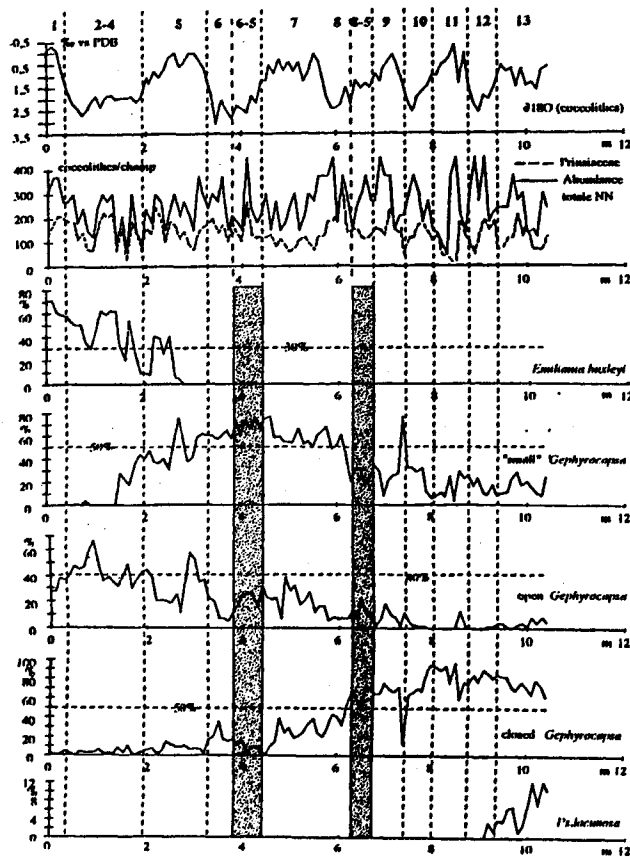
Distribution of Noelaerhabdaceae in sections raised between 45° and 20°N : a) GG.7211, Mid. 72306, K.248 ; b) CH.72-02, Leg 107- Hole 653A, Mid. 74229.



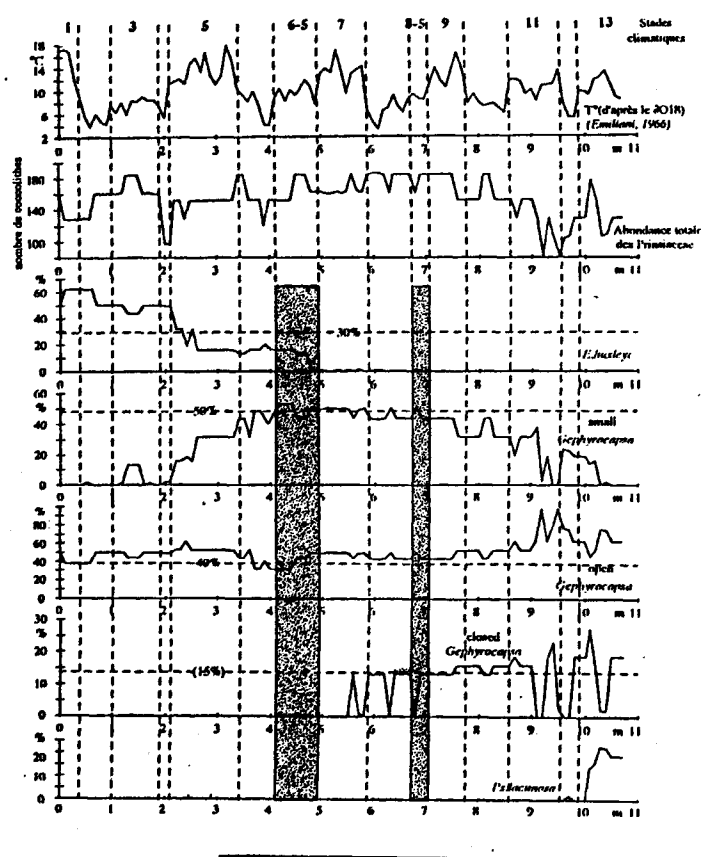
ODP 108 - Site 658
20°44,95'N - 18°34,85'W - 2262m



DSDP Leg 85 - Site 572 - Hole A
1°26,1'N - 113°50,5'W - 3900m



P. 6304-4
15°27'N - 70°43'W - 4136m



P. 6304-9
14°57'N - 68°55'W - 4126m
(Gartner, 1972)

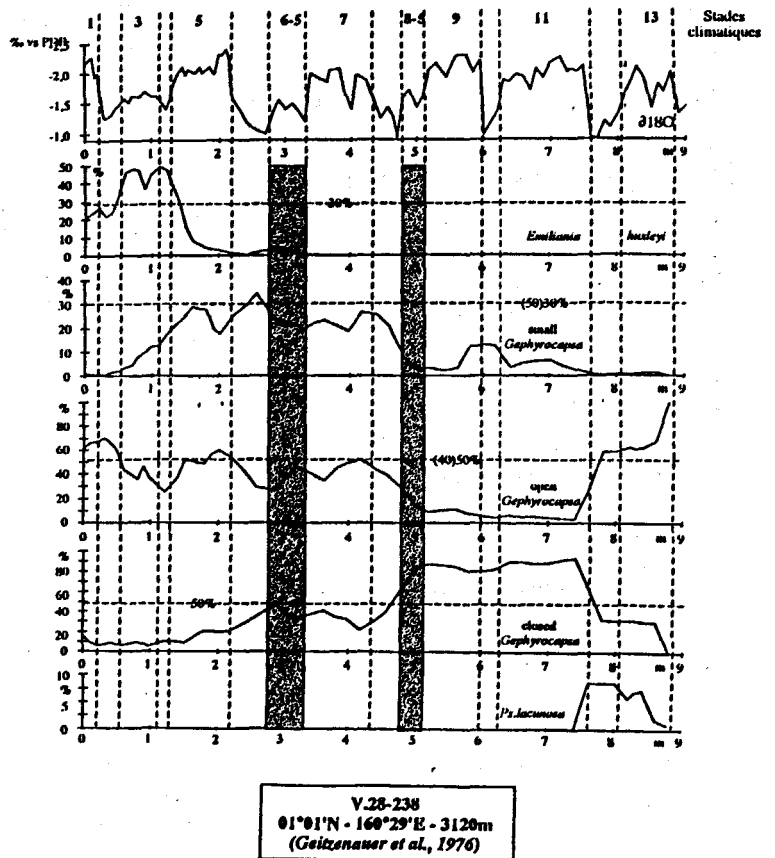
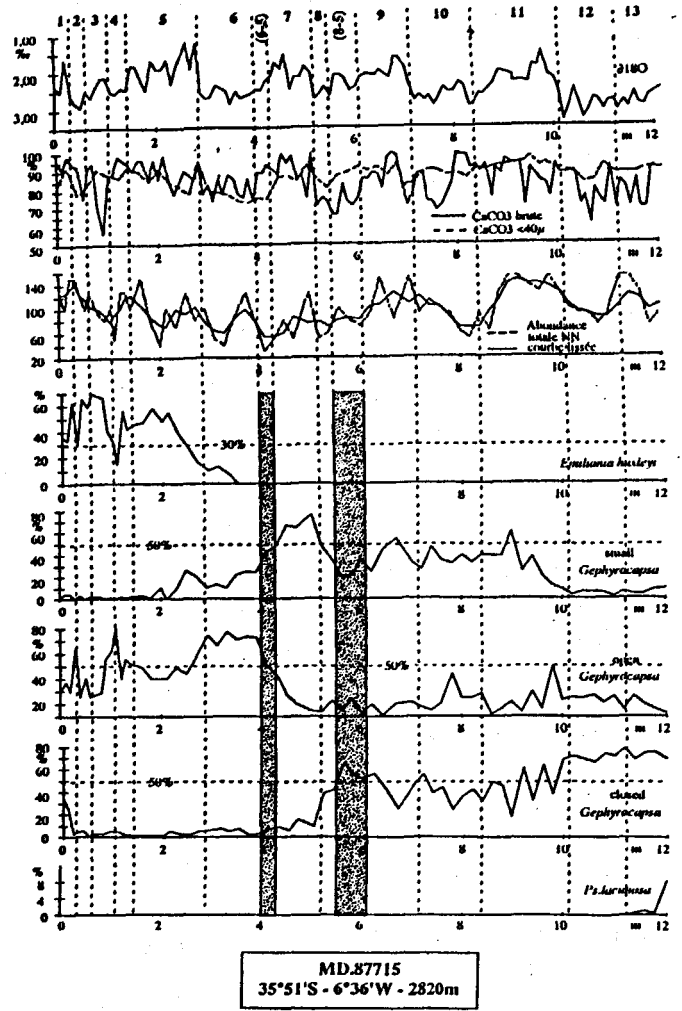
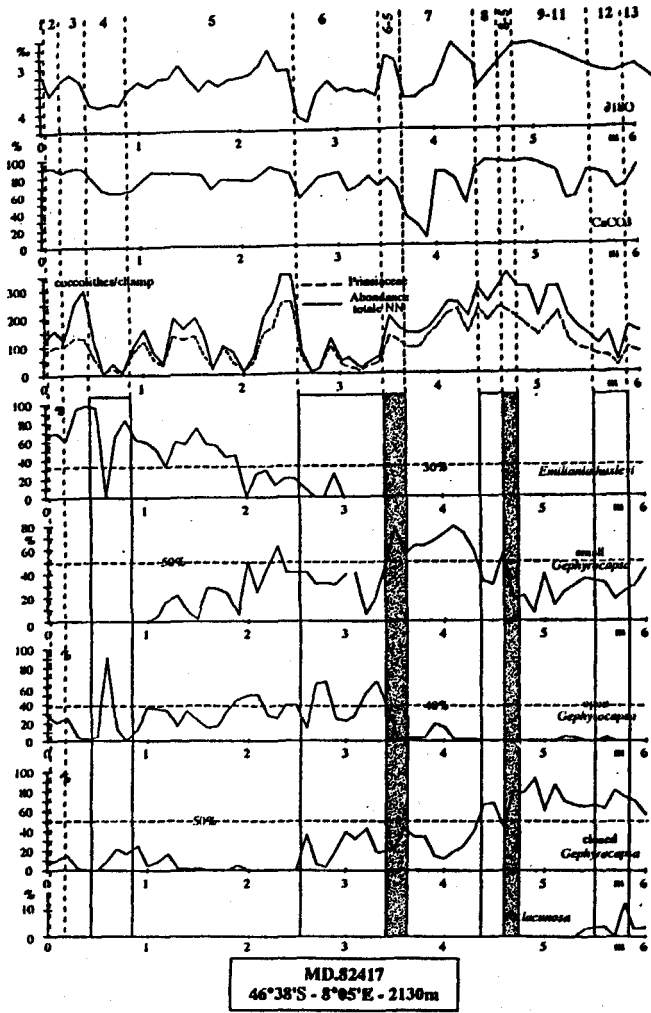


Figure 4 a et b

Distribution des Noelaerhabdaceae dans les sections prélevées au sud de 20°N: a) Leg 108-Site 658, Leg 85-Hole 572A, P.6304-4, P.6304-9.; b) MD.82417, MD.87715, V.28-238.

Distribution of Noelaerhabdaceae in sections raised south of 20°N: a) Leg 108-Site 658, Leg 85-Hole 572A, P.6304-4, P.6304-9.; b) MD.82417, MD.87715, V.28-238.

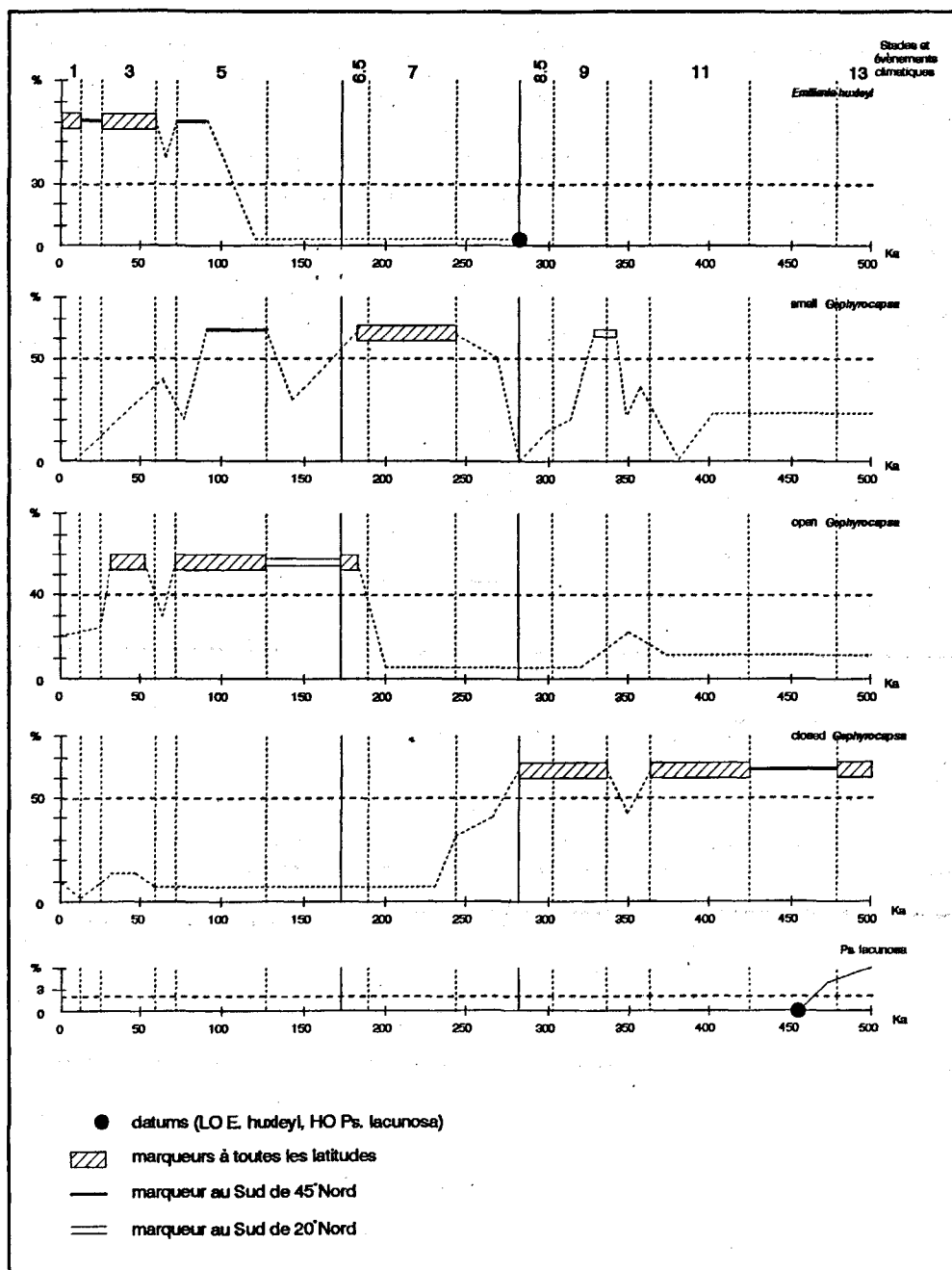


Figure 5

Schéma stratigraphique synthétique basé sur la distribution des Noelaerhabdaceae durant les 500 000 dernières années.

Synthesis of the stratigraphical informations provided by the Noelaerhabdaceae for the last 500 000 years.

- Les coccolithes du groupe des «open» *Gephyrocapsa* dominent la nannoflore au sommet de l'événement 6.5, durant la totalité du stade 5, ainsi que, plus irrégulièrement, durant le stade 3.

- Enfin, l'acmé des coccolithes de l'espèce *E. huxleyi* définit, dans la présente étude, les stades climatiques 3 et 1.

Marqueurs valables uniquement au sud de 45°N

- Le stade 12 est caractérisé, de la même façon que les stades 13, 11 et 9 décrits précédemment, par une acmé du groupe des «closed» *Gephyrocapsa*.

- Les coccolithes du groupe des «small» *Gephyrocapsa* partagent la dominance de la nannoflore avec les représentants des «open» *Gephyrocapsa* durant la base et le milieu du stade climatique 5.

- La période d'acmé d'*E. huxleyi* est étendue au sommet du stade 5, ainsi qu'à la totalité du stade glaciaire 2.

Marqueurs valables uniquement au sud de 20°N

- Les coccolithes du groupe des «small» *Gephyrocapsa* montrent un pic d'abondance maximale (acmé) durant la transition du stade 10 au stade 9.

- Enfin l'acmé du groupe des «open» *Gephyrocapsa* inclut ici le stade glaciaire 6, et s'étend donc continuellement du sommet de l'événement 6.5 à la fin du stade 5.

Deux des marqueurs décrits dans la présente étude ont été mentionnés dans des travaux antérieurs. Ce sont, d'une part, la zone d'acmé d'*E. huxleyi*, qui définit, selon Gartner (1977), les 75 000 dernières années, d'autre part, le sommet de l'acmé de *G. caribbeanica* (espèce dominante dans le groupe des «closed» *Gephyrocapsa*), daté par Thierstein et

al. (1977) à 268 000 ans, et par Pujos-Lamy (1976) entre 260 et 275 000 ans, soit la fin du stade climatique 9.

L'intérêt du schéma stratigraphique présenté ici est triple :

- il fait appel à un concept taxonomique particulièrement adapté à l'utilisation routinière du microscope optique, les critères de différenciation entre groupes taxonomiques se limitant à la taille et/ou à l'aspect de la structure centrale des spécimens de *Gephyrocapsa*.

- seuls sont pris en compte les acmés des différentes Noelaerhabdaceae, événements qui, au microscope optique, sont bien plus aisément identifiables que ne le sont les marqueurs classiques «apparitions-disparitions».

- les limites inférieures et supérieures des périodes d'acmé ne s'expriment pas, dans le présent travail, en terme d'âge relatif, mais en terme de limites de stades ou événements climatiques. Ce concept permet de pallier la remise en question des âges attribués aux stades isotopiques/climatiques

au fur et à mesure de l'évolution des techniques (Emiliani, 1966 ; Imbrie et Kipp, 1971 ; Imbrie *et al.*, 1984 ; Martinson *et al.*, 1987 ; Williams *et al.*, 1988).

La méthode présentée dans ce travail autorise une résolution stratigraphique des 450 000 dernières années bien supérieure à celle déduite des marqueurs classiques basés sur les critères d'apparition/disparition d'espèces de nannofossiles ou de foraminifères planctoniques. Ce nouveau schéma stratigraphique est particulièrement adapté à l'analyse de sections quaternaires prélevées aux hautes latitudes, régions où la biozonation d'Ericson et Wollin (1970), basée sur les variations d'abondance du foraminifère planctonique *Globorotalia menardii*, n'est plus applicable.

L'analyse, dans des études ultérieures et selon la méthode définie dans le présent travail, de sections prélevées dans l'Océan Indien et aux hautes latitudes de l'Océan Pacifique, permettra d'étendre la portée de ce schéma stratigraphique à l'océan mondial.

RÉFÉRENCES

- Belanger P.E. (1982). Paleo-oceanography of the Norwegian Sea during the last 130 000 years. *Boreas*, **11**, 1, 29-36.
- Boudreaux J.E. et W.W. Hay (1969). Calcareous nannoplankton and biostratigraphy of the Late Pliocene-Pleistocene-Recent sediments in the submarex cores. *Revta esp. Micropaleont.*, **1**, 3, 249-292.
- Bréhéret J.G. (1977). Les coccolithes du Pléistocène supérieur et de l'Holocène de deux carottes profondes de l'Atlantique Nord : Systématique, biostratigraphie, paléoclimatologie. *Thèse de Doctorat, Université de Nantes, France*, 250 pp.
- Caulet J.-P. et M. Clochiatti (1975). Utilisation des radiolaires et des nannofossiles calcaires dans l'étude de la sédimentation récente en Atlantique Nord. *Bull. Soc. géol. Fr.*, **17**, 5, 686-698.
- Duplessy J.-C., J. Moyes, C. Pujol, A. Pujos-Lamy et J.-L. Reyss (1975). Stratigraphie des dépôts quaternaires d'une carotte prélevée au N.E. des Açores. *C. r. Acad. Sci., Paris, sér. D*, **281**, 1971-1974.
- Emiliani C. (1966). Paleotemperature analysis of caribbean cores P6304-8 and P6304-9 and generalized paleotemperature curve for the past 425 000 years. *J. Geol.*, **74**, 2, 109-126.
- Ericson D.B. et G. Wollin (1970). Pleistocene climates in the Atlantic and Pacific Ocean: a comparison based on deep-sea sediments. *Science*, **167**, 1483-1485.
- Gartner S. (1972). Late Pleistocene calcareous nannofossils in the Caribbean and their interoceanic correlation. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **12**, 3, 169-191.
- Gartner S. (1977). Calcareous nannofossil biostratigraphy and revised zonation of the Pleistocene. *Mar. Micropaleont.*, **2**, 1-25.
- Geitzenauer K.R., M.B. Roche et A. McIntyre (1976). Modern Pacific coccolith assemblages: Derivation and application to late Pleistocene paleotemperature analysis, in: Investigation of late Quaternary paleoceanography and paleoclimatology, R.M. Cline et J.D. Hays, éditeurs. *Mem. geol. Soc. Am.*, **145**, 423-448.
- Imbrie J. et N.G. Kipp (1971). A new micropaleontological method for quantitative paleoclimatology: Application to a Late Pleistocene Caribbean core, in: *The Late Cenozoic glacial ages*, K.K. Turekian, éditeur. Yale University Press, New Haven, USA, 71-181.
- Imbrie J., J.D. Hays, D.G. Martinson, A. McIntyre, A.C. Mix, J.J. Morley, N.G. Pisias, W.L. Prell et N.J. Shackleton (1984). The orbital theory of Pleistocene climate: Support from a revised chronology of the marine O¹⁸ record, in: *Milankovitch and climate. Part I*, A.L. Berger *et al.*, éditeurs. Hingham, Massachusetts, USA, 269-305.
- Ippolito P. (1985). Contribution de l'analyse de la microfaune planctonique et benthique à la paléo-océanographie de l'océan austral (Atlantique S-E et Océan Indien S-O). *Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux I, France*, 220 pp.
- Kellogg T.B. (1973). Late Pleistocene climatic record in Norwegian and Greenland Sea deep-sea cores, *Thesis Philos., Columbia University, USA*, 323 pp.
- Martini E. (1971). Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation, *Proceedings of the 2nd Planktonic Conference, Roma, Italy, 1970*, **2**, 739-785.
- Martinson D.G., N.G. Pisias, J.D. Hays, J. Imbrie, T.C. Moore et N.J. Shackleton (1987). Age dating the orbital theory of the Ice Ages: development of a high resolution 0 to 300 000 years chronostratigraphy. *Quat. Res.*, **27**, 1-29.
- McIntyre A. et A.W.H. Bé (1967). Modern coccolithophoridae of the Atlantic Ocean. I: Placoliths and Cyrtholiths. *Deep-Sea Res.*, **14**, 561-594.
- McIntyre A., W.F. Ruddiman et R. Jantzen (1972). Southward penetration of the North Atlantic polar front: Faunal and floral evidence of large-scale surface water mass movements over the last 225 000 years. *Deep-Sea Res.*, **19**, 61-77.
- Müller C. (1990). Nannoplankton biostratigraphy and paleoenvironmental interpretation from the Tyrrhenian Sea, ODP Leg 107 (western Mediterranean), in: *Proceedings of the ODP Scientific Results*, **107**, K.A. Kastens, J. Mascle *et al.*, éditeurs. US Government Printing Office, Washington D.C., USA, 495-511.
- Okada H. et D. Bukry (1980). Supplementary modification and introduction of code numbers to the low latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973-1975). *Mar. Micropaleont.*, **5**, 321-325.

- Pujol C.** (1980). Les foraminifères planctoniques de l'Atlantique Nord au Quaternaire. Écologie. Stratigraphie. Environnement, *Mém. Inst. géol. Bassin Aquitaine*, **10**, 254 pp.
- Pujos A.** (1984). Quaternary nannofossils from Goban Spur, eastern North Atlantic ocean, DSDP Holes 548 and 549A, in: *Initial Repts Deep Sea Drilling Proj.*, **80**, P.C. de Graciansky C.W. Poag *et al.*, éditeurs. US Government Printing Office, Washington D.C., USA, 767-792.
- Pujos A.** (1985). Nannofossils from Quaternary deposits in the high-productivity area of the central equatorial Pacific, DSDP Leg 85, in: *Initial Repts Deep Sea Drilling Proj.*, **85**, L. Mayer, F. Theyer *et al.*, éditeurs, US Government Printing Office, Washington D.C., USA, 553-579.
- Pujos A.** (1988). Spatio-temporal distribution of some Quaternary coccoliths. *Oceanologica Acta*, **11**, 1, 65-77.
- Pujos-Lamy A.** (1976). *Emiliana* et *Gephyrocapsa* (nannoplankton calcaire) : biométrie et intérêt biostratigraphique dans le Pléistocène supérieur marin des Açores. *Revta esp. Micropaleont.*, **9**, 1, 69-84.
- Ramm M.** (1988). A stratigraphic study of late Quaternary sediments on the Vöring-Plateau, eastern Norwegian Sea. *Mar. Geol.*, **83**, 159-191.
- Rio D., I. Raffi et G. Villa** (1990). Calcareous nannofossil quantitative distribution patterns during the Pliocene and Pleistocene in the western Mediterranean, in: *Proceedings ODP Scientific Results*, **107**, K.A. Kastens, J. Mascle, *et al.*, éditeurs. US Government Printing Office, Washington D.C., USA, 513-533.
- Ruddiman W.F. et L.K. Glover** (1975). Subpolar North Atlantic circulation at 9300 year B.P.: Faunal evidence. *Quat. Res.*, **5**, 361-389.
- Samtleben C.** (1980). Die Evolution der Coccolithophoriden-Gattung *Gephyrocapsa* nach Befunden im Atlantik. *Paläontologische Z.*, **54**, 1/2, 91-127.
- Sarntheim M. et R. Tiedemann** (1989). Towards a high-resolution stable isotope stratigraphy of the last 3.4 million years: Sites 658 and 659 off northwest Africa, in: *Proceedings ODP Scientific Results*, **108**, W. Ruddiman *et al.*, éditeurs. US Government Printing Office, Washington D.C., USA, 167-185.
- Shackleton N.J. et N.D. Opdyke** (1973). Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28-238: Oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10^5 years and 10^6 years scale. *Quat. Res.*, **3**, 39-55.
- Steinmetz J.C. et T.F. Anderson** (1984). The significance of isotopic and paleontologic results on Quaternary calcareous nannofossil assemblages from Caribbean Core P.6304-4. *Mar. Micropaleont.*, **8**, 403-424.
- Thierstein H.R., K.R. Geitzenauer, B. Molino et N.J. Shackleton** (1977). Global synchronicity of late Quaternary coccolith datum levels: validation by oxygen isotopes. *Geology*, **5**, 400-404.
- Vergnaud-Grazzini C. et J.-F. Saliège** (1984). Oxygen and carbon isotopic compositions of planktonic foraminifers at DSDP Sites 548 and 549A; Pleistocene climate changes in surface waters of the northeastern Atlantic, in: *Initial Repts Deep Sea Drilling Proj.*, **80**, P.C. de Graciansky et C.W. Poag, éditeurs. US Government Printing Office, Washington DC, USA, 805-816.
- Williams D.F., R.C. Thunell, E. Tappa, D. Rio et I. Raffi** (1988). Chronology of the Pleistocene oxygen isotope record: 0-1.88 m.y. B.P.. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **64**, 221-240.