

Nannofossiles
Pléistocène
Fonction de transfert
Températures
Mer des Caraïbes

Nannofossils
Pleistocene
Transfer function
Temperatures
Caribbean sea

Fonction de transfert basée sur les nannofossiles calcaires du Pléistocène des Caraïbes

Jacques GIRAUDEAU, Annick PUJOS

Département de Géologie et Océanographie, Université de Bordeaux I, avenue des
Facultés, 33405 Talence cedex, France

Reçu le 29/08/89, révisé le 22/12/89, accepté le 19/02/90

RÉSUMÉ

Les nannofossiles calcaires de deux carottes profondes prélevées en mer des Caraïbes font l'objet d'une étude de détail, dans un but paléocéologique.

L'application d'une Fonction de Transfert (Imbrie et Kipp, 1971) aux associations de nannofossiles nécessite la mise en place d'une **méthodologie originale** et adaptée à ce type d'organismes. Elle se caractérise par le choix d'un nombre réduit de 8 taxa et par la transformation en deux étapes des données brutes de comptage, chacune de ces transformations étant justifiée par des processus biologiques. L'analyse factorielle appliquée à une sélection d'échantillons provenant de sédiments de surface produit trois assemblages nannofloraux, statistiquement indépendants, et à distribution géographique latitudinale différenciée. Les paramètres issus de l'analyse de régression indiquent une excellente corrélation entre les températures des eaux de surface et les assemblages de nannofossiles. La marge d'erreur admise dans les estimations ne dépasse pas 1°C. La troisième phase de calculs permet d'expliquer les variations des associations de nannofossiles reconnus dans les sédiments carottés en fonction de l'évolution hydrologique des masses d'eau superficielles.

Les paléotempératures estimées pour les 350 000 dernières années en Caraïbes traduisent fidèlement la succession des épisodes climatiques mis en évidence par les mesures de $\delta^{18}O$ faites sur *Globigerinoides sacculifer*; le gradient de température glaciaire/interglaciaire est généralement inférieur à 2°C. Ces résultats comparés à ceux obtenus par Imbrie et van Donk (1973) en utilisant les Foraminifères planctoniques font apparaître que les températures issues de la distribution de la microflore sont en moyenne supérieures de 1,5°C à celles obtenues à partir des Foraminifères planctoniques; les profondeurs préférentielles de vie, propres à chacun de ces groupes biotiques, suffisent à expliquer ce phénomène. Cet écart d'estimation atteint 2,5°C en période climatique froide du fait de la forte stratification des eaux de surface lors des épisodes glaciaires.

Oceanologica Acta, 1990, 13, 4, 453-469

ABSTRACT

Calcareous nannofossils based Transfer Function in caribbean Pleistocene sediments

Calcareous nannofossils of two deep-sea cores from the Caribbean sea have been studied in the context of paleoecology. The method is based on the transfer function technique of Imbrie and Kipp (1971) adapted for nannofossil data. Count matrices of 8 selected taxa are subjected to a two-step transformation. Factor analysis of data on selected surface samples produced three statistically independent floral assemblages, which have a latitudinal geographic distribution. Regression analysis shows a good correlation between sea-surface

temperatures and nanoplanktonic assemblages: the standard error of estimate is lower than 1°C.

Caribbean paleotemperatures have been estimated for the last 350 000 years; the temperature variations agree with climatic stages established by the δ 018 record *Globigerinoides sacculifer*; the glacial/interglacial gradient of temperatures is lower than 2°C. These results have been compared with those obtained by Imbrie and Van Donk (1973) with planktonic Foraminifera in the same area; paleotemperatures derived from nanofossils are 1.5°C higher than those estimated with Foraminifera. This difference ascribed to the different water-depth adaptations of these two biotic groups is increased during glacial periods because the stratification of surface waters becomes stronger.

Oceanologica Acta, 1990, 13, 4, 453-469

INTRODUCTION

Les nanofossiles calcaires, témoins privilégiés des variations paléoclimatiques, constituent un outil de choix dans la reconstitution de la paléohydrologie de surface de la mer des Caraïbes.

En effet, le nanoplancton qui vit dans la zone photique des océans, siège de la photosynthèse, est directement influencé par les paramètres physico-chimiques des eaux de surface (température, salinité, nutriments, ...etc.) et atmosphériques (nébulosité, précipitations, ensoleillement ...etc.); c'est ainsi que les coccolithes, restes fossiles du nanoplancton calcaire, peuvent, par leur distribution au sein du sédiment, témoigner des conditions paléohydrologiques des eaux superficielles.

L'estimation de certains paramètres hydrologiques (essentiellement température et salinité) par l'utilisation d'une Fonction de Transfert est la méthodologie retenue par le Projet CLIMAP dès 1976 dans ses reconstitutions paléocéanographiques à l'échelle mondiale (CLIMAP Project Members, 1976 et 1984). Cet outil mathématique créé par Imbrie et Kipp (1971) est largement reconnu et a été testé sur différents groupes biotiques : les Foraminifères planctoniques (Ruddiman *et al.*, 1980; Molino *et al.*, 1982; Duplessy *et al.*, 1981; ...etc.), les Radiolaires (Morley, 1989) et les Diatomées (Pichon *et al.*, 1987). Cependant, cette méthode a été très peu utilisée sur les nanofossiles : l'essentiel des travaux menés par Mac Intyre et ses collaborateurs fournit peu de renseignements quant aux différents résultats issus des étapes successives du traitement statistique des données (Geitzenauer *et al.*, 1976; Roche *et al.*, 1975; CLIMAP Project members, 1984). Des résultats encourageants (Pujos, 1988 b) ont été obtenus avec une Fonction de Transfert préliminaire.

Ce travail consiste donc à mettre au point une nouvelle Fonction de Transfert originale et à l'appliquer aux nanofossiles afin de quantifier les paléotempératures des eaux de surface. Le matériel choisi pour tester cette méthode provient de la mer des Caraïbes, dont la sédimentation pléistocène régulière est une aide privilégiée pour les études paléoenvironnementales (Emiliani, 1972; Imbrie et Kipp, 1971; Prell et Hays, 1976).

MATÉRIEL ÉTUDIÉ

L'étude paléoenvironnementale a été menée à partir de la distribution des nanofossiles de deux carottes: le site 502B (Leg DSDP 68) et la carotte TR 7532 (mission TRANSAT, 1975). Toutes deux se caractérisent par une sédimentation pélagique continue, sans remaniement apparent et par une excellente conservation des nanno- et des micro-fossiles calcaires.

Ces deux sections ont été prélevées dans les deux entités morphologiques majeures des Caraïbes : le bassin du Venezuela (TR 7532) et le bassin de Colombie (Site 502B). Il sera intéressant de comparer les caractéristiques thermiques des eaux de surface de chacun des bassins lors des grands changements climatiques, au Pléistocène moyen et supérieur (fig. 1).

	Latitude N	Longitude W	Profondeur
Site 502B	17°05'	66°48'	3050m
TR7532	14°49'	70°55'	4000m

L'étude menée au microscopie optique (X1200) sur des frottis de sédiment brut effectués tous les 20cm pour le site 502B et tous les 10cm pour la carotte TR 7532 permet d'individualiser 19 taxa (espèces ou genres dont la taxonomie détaillée est recensée en Annexe 1):

- Ceratolithus* div. sp. Kamptner, 1950
- Coccolithus pataecus* Gartner, 1967
- Coccolithus pelagicus* (Wallich) Schiller, 1930
- Cyclococcolithina leptopora* (Murray et Blackman) et Wilcoxon, 1970
- Cyclolithella annula* (Cohen) Cohen et Reinhardt, 1968
- Emiliani huxleyi* (Lohman), Hay et Mohler, 1967
- Florisphaera* div. sp.
- Gephyrocapsa aperta* Kamptner, 1963
- Gephyrocapsa caribbeanica* Boudreaux et Hay, 1967
- Gephyrocapsa ericsonii* Mac Intyre et Bé, 1967
- Gephyrocapsa oceanica* Kamptner, 1943
- Helicopontosphaera* div. sp.
- Rhabdosphaera* div. sp.
- Scapholithus fossilis* Deflandre, 1954
- Scyphosphaera* div. sp.
- Syracosphaera* div. sp.
- Thoracosphaera* (*) spp. 1 et 2

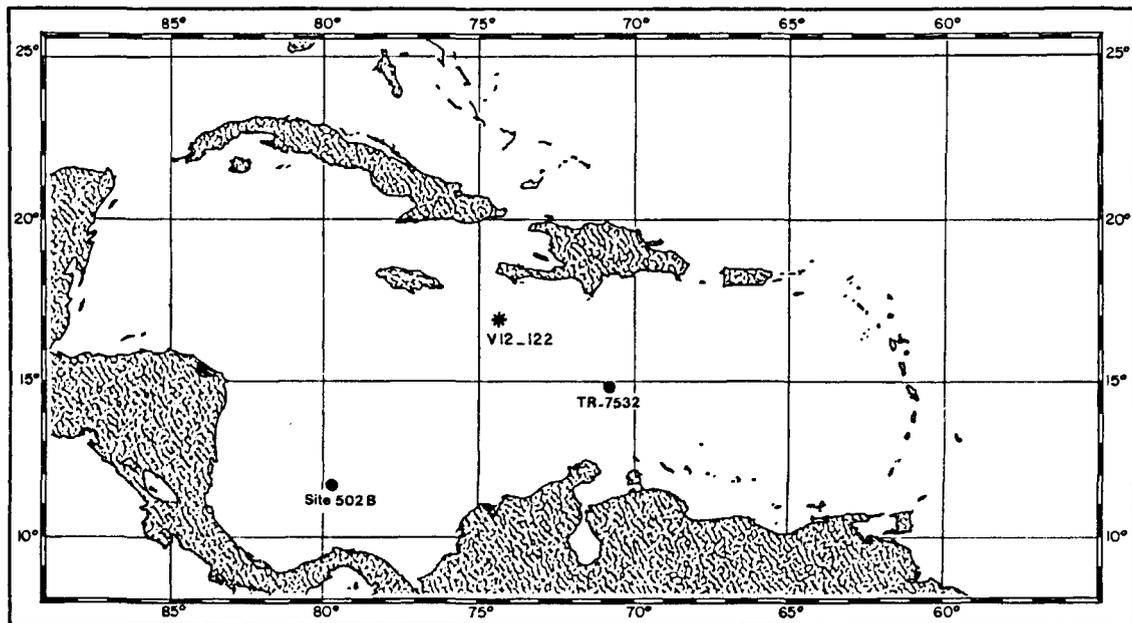


Figure 1 Localisation des carottes
Core location.

Umbilicosphaera sibogae (Weber et van Bosse) Gaarder 1970

(*) *Thoracosphaera* appartient à la classe des Dinophyceae; ce genre est inclus dans la première partie de l'étude car il ne peut être observé que sur les montages microscopiques réalisés pour la reconnaissance des nannofossiles; de plus, comme les Coccolithophoridés, les Dinophycées sont des algues planctoniques se développant dans la zone photique des océans. Toutefois, du fait de leur place dans la classification des plantes, ils ne figurent pas dans l'annexe taxonomique (1) qui ne concerne que les Coccolithophoridés.

STRATIGRAPHIE

Datation des sections

Site DSPD 502, Leg 68 (fig. 2).

Imbrie *et al.* (1984) ont établi l'échelle de temps "SPECMAP" à partir, notamment, des mesures isotopiques (δ 018) effectuées par Prell (1982) sur le Site 502B. Cette échelle temporelle attribuée à chaque événement isotopique marqué par un maximum ou un minimum du δ 018, un âge précis pour les 800 000 dernières années. Ici, seuls les sédiments correspondant aux 350 000 dernières années ont été étudiés (entre 0 et 6,8 m de profondeur).

Les événements stratigraphiques, apparition, disparition et acmé de certaines espèces de nannofossiles (Thierstein *et al.*, 1977; Pujos, 1988a), peuvent ainsi être datés de façon relativement précise pour cette section :

App. *Emiliani huxleyi* : 270 000 ans

App. *Gephyrocapsa ericsonii* : 260 000 \pm 30 000 ans

Fin de l'acmé à *Gephyrocapsa caribbeanica* : 260 000 \pm 10 000 ans

Disp. *Gephyrocapsa ericsonii* : 80 000 ans

Disp. *Gephyrocapsa aperta* : 50 000 \pm 10 000 ans

Carotte TR 7532, mission Transat (fig. 3).

Les âges ont été estimés en utilisant :

- la distribution du Foraminifère planctonique *Globorotalia menardii* et la biozonation de Ericson et Wollin, 1970 et Kennett et Huddleston, 1972. Prell (1974) a démontré l'excellente corrélation entre la zonation faunale d'Ericson, les courbes de teneur en carbonates et les cycles isotopiques de l'oxygène. Les maxima d'abondance de *Globorotalia menardii* décrivant dans cette section les stades climatiques chauds I, V, VII et IX peuvent ainsi être assimilés aux stades isotopiques 1, 5, 7 et 9.

- Le pourcentage de la fraction grossière du sédiment ($\phi > 63 \mu\text{m}$) composée pour plus de 95% par des Foraminifères planctoniques. Cette fraction granulométrique présente en Caraïbes des variations similaires à celles de la teneur en carbonates (Prell et Hays, 1976).

- Les événements stratigraphiques déduits de la distribution de certaines espèces de nannofossiles (cf. plus-haut).

Ce résultat constitue la première étape d'une étude à plus long terme combinant données isotopiques et micropaléontologiques (nannofossiles) sur de nouvelles sections et dont le but est l'établissement d'une stratigraphie à haute résolution pour le Pléistocène moyen et terminal en zone tropicale.

Distribution temporelle de *Florisphaera* div. sp. et du Complexe *Gephyrocapsa - Emiliana*

Florisphaera div. sp. représente plus de 50% de l'abondance totale des coccolithes dans les sédiments des deux coupes. Ce taxon est souvent ignoré des spécialistes

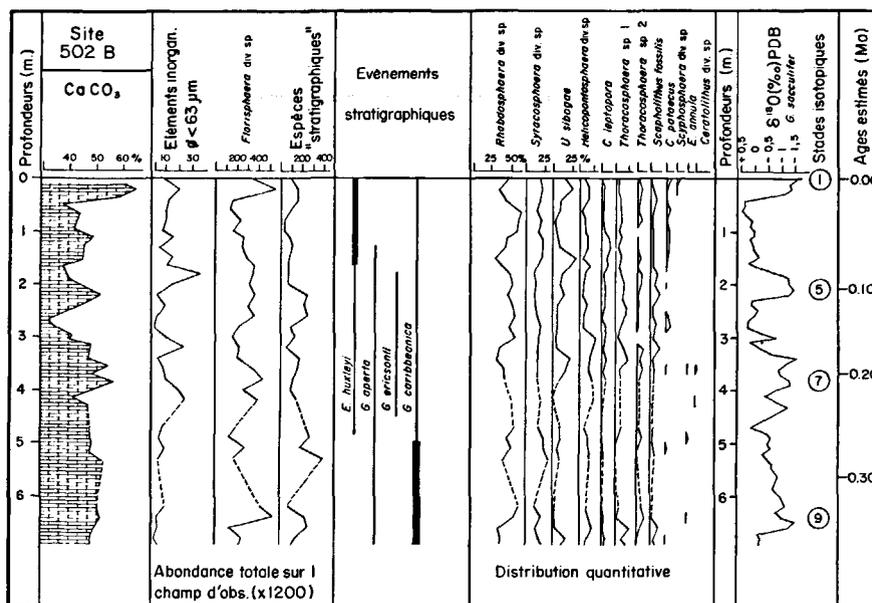


Figure 2

Site DSDP 502B Leg 68 : Teneur en CaCO₃ du sédiment brut. Abondance totale sur un champ d'observation (x 1200) : Eléments inorganiques ($\phi < 63 \mu\text{m}$) Florisphaera div. sp. Espèces stratigraphiques = Complexe Gephyrocapsa-Emiliana. Evènements stratigraphiques : Apparitions Extinctions Acnés. Abondance relative des autres taxa de nanfossiles. Courbe du $\delta^{18}\text{O}$ mesuré sur les tests de Globigerinoides sacculifer (Prell, 1982). Stades isotopiques DSDP Site 502B Leg 68: Weight CaCO₃. Total abundance on one field of view (x 1200) : inorganic elements ($\phi < 63 \mu\text{m}$) Florisphaera div. sp. Stratigraphic species = Gephyrocapsa-Emiliana complex stratigraphic events : appearances extinctions acnes relative abundance of the other nanfossil taxa curve of the $\delta^{18}\text{O}$ measured in shells of Globigerinoides sacculifer (Prell, 1982). Isotopic stages.

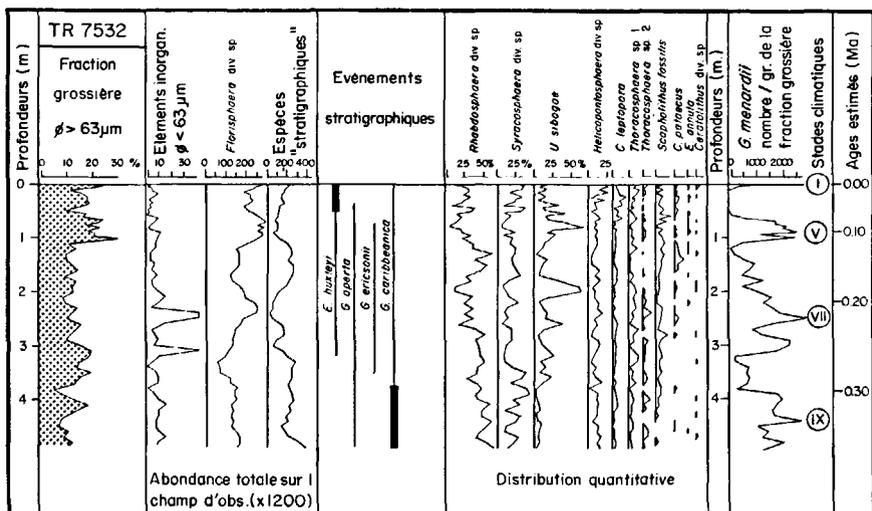


Figure 3

Carotte TRANSAT-TR 7532 : % de la fraction sédimentaire grossière ($\phi > 63 \mu\text{m}$). Abondance totale sur un champ d'observation (x 1200) : Eléments inorganiques ($\phi < 63 \mu\text{m}$) Florisphaera div. sp. Espèces stratigraphiques = Complexe Gephyrocapsa-Emiliana. Evènements stratigraphiques : Apparitions Extinctions Acnés. Abondance relative des autres taxa de nanfossiles. Nombre de Globorotalia menardii par gramme de fraction grossière. Stades climatiques.

Core TRANSAT-TR 7532: Coarse fraction ($\phi > 63 \mu\text{m}$) in %. Total abundance on one field of view (x 1200) : inorganic elements ($\phi < 63 \mu\text{m}$) . Florisphaera div. sp. Stratigraphic species = Gephyrocapsa-Emiliana complex stratigraphic events : appearances extinctions acnes relative abundance of the other nanfossil taxa. Number of Globorotalia menardii per gram of coarse fraction. Climatic stages.

en raison de la taille et de l'aspect du coccolithe (polygone de 3 à 5 μm de diamètre) et de sa faible réfringence en lumière polarisée. Son écologie est particulière; Florisphaera div. sp. ne se rencontre qu'à des profondeurs supérieures à 100m (Okada et Honjo, 1973). Matsuoka et Okada (1989) ont utilisé l'abondance relative des coccolithes de l'espèce Florisphaera profunda et leur très bonne résistance à la dissolution pour quantifier la paléoproduktivité des eaux superficielles et l'état de conservation des microfossiles au sein du sédiment.

Les variations en abondance totale des coccolithes de

Florisphaera div. sp. dans les deux sections sont synchrones des changements paléoclimatiques (fig. 4); comme pour le Foraminifère Globorotalia menardii, sa fréquence est maximale lors des stades climatiques chauds. En effet, cette forme qui ne se développe pas dans les mers actuelles au-delà de la latitude 35°N (Okada et Honjo, 1973) est typiquement tropicale. Sa distribution stratigraphique reflète alors la succession des grands épisodes climatiques au Pléistocène.

le Complexe Gephyrocapsa-Emiliani comprend cinq espèces distinctes (Annexe 1) ayant une écologie proche.

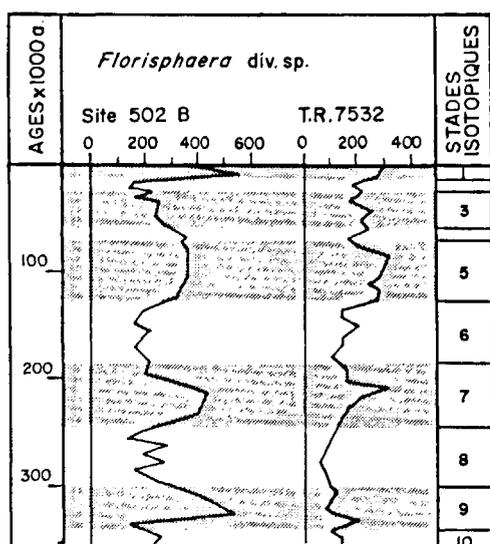


Figure 4

Abondance totale sur un champ d'observation (x 1200) des coccolithes de *Florisphaera* div. sp. Ages estimés (x1000 ans) Site 502 B. TR 7532 Stades isotopiques (d'après Imbrie *et al.*, 1984); stades impairs en grisé.

Total abundance of the coccoliths of *Florisphaera* div. sp. on one field of view (x 1200): Estimated ages (x 1000y.) Site 502B TR 7532 Isotopic stages (from Imbrie *et al.*, 1984); even stages in grey

Toutes sont peu sensibles aux variations de température des eaux de surface. *Emiliani huxleyi* et *Gephyrocapsa caribbeanica*, espèces majoritaires, se développent aussi bien en domaine subarctique que tropical (Mac Intyre et Bé, 1967; Mac Intyre *et al.*, 1970; Okada et Mac Intyre, 1967).

Les maxima d'abondance des coccolithes appartenant à ce complexe (fig. 5) sont synchrones des stades isotopiques 8 et 6. En fait, une ou plusieurs espèces de *Gephyrocapsa* domine les associations de nannofossiles lors de ces stades glaciaires : *Gephyrocapsa caribbeanica* au stade 8, *Gephyrocapsa ericsonii* et *aperta* au stade 6. La faible abondance des taxa typiquement tropicaux tels *Florisphaera* div. sp., et donc une diminution de la compétitivité au sein des espèces de Coccolithophoridés vivant dans les eaux de surface en période glaciaire, peuvent expliquer les pics d'abondance des espèces eurythermales composant le Complexe *Gephyrocapsa-Emiliana*. Cette distribution propre à cet assemblage de nannofossiles confirme celle reconnue sur les mêmes taxa en mer de Tasmanie, au Pléistocène terminal (Dudley et Nelson, 1989).

FONCTION DE TRANSFERT BASÉE SUR LES NANNOFOSSILES

La méthode mise au point par Imbrie et Kipp (1971) repose sur le principe selon lequel la composition qualitative et quantitative d'une communauté est liée au milieu de vie. Il est d'autre part assumé que pour un assemblage donné, ses réponses écologiques aux

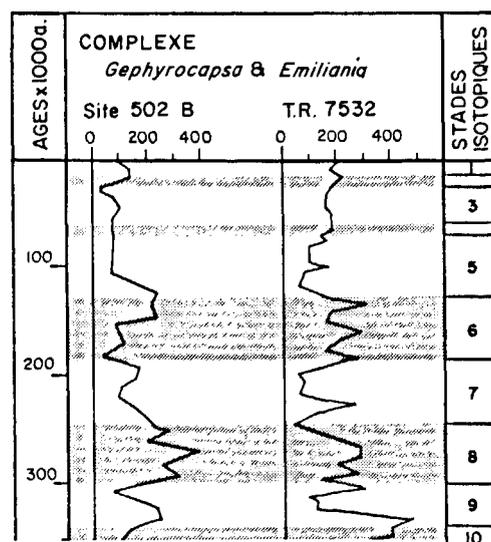


Figure 5

Abondance totale sur un champ d'observation (x1200) des coccolithes du complexe *Gephyrocapsa-Emiliana* Ages estimés (x1000 ans) Site 502 B. TR 7532 Stades isotopiques (d'après Imbrie *et al.*, 1984); stades pairs en grisé.

Total abundance of the coccoliths of the *Gephyrocapsa-Emiliana* complex on one field of view (x 1200): Estimated ages (x 1000y.) Site 502B TR 7532 Isotopic stages (from Imbrie *et al.*, 1984); odd stages in grey

paramètres physico-chimiques des océans n'ont pas changé durant le Pléistocène. Ainsi, à partir de la composition florale des dépôts récents représentatifs d'une sédimentation actuelle et de la valeur mesurée des paramètres hydrologiques des eaux de surface, on peut estimer les valeurs de ces mêmes paramètres pour des époques anciennes à partir des thanatocoenoses des dépôts correspondants. En dépit des problèmes soulevés par Honjo et Okada (1974) concernant la sédimentation incomplète des coccolithes, les associations de nannofossiles trouvées dans les sédiments sont assimilées aux communautés vivantes telles qu'elles pouvaient être durant le Pléistocène. Imbrie et Kipp (1971) en avaient fait de même avec les Foraminifères planctoniques.

Le traitement statistique des données s'effectue en trois étapes, tributaires successivement des programmes informatiques CABFAC, REGRESS et THREAD.

Matrices de données

Choix des taxa :

Les taxa utilisables doivent répondre à deux conditions:

- être vivants dans les mers actuelles et présents dans les sédiments de façon plus ou moins continue pour l'intervalle de temps considéré (350 000 ans à l'Actuel).
- être présents en quantité suffisante (au minimum 2% de l'abondance totale) afin que leurs variations d'abondance soient significatives. Ainsi ont été soustraites de l'étude les cinq espèces appartenant au Complexe *Gephyrocapsa-Emiliana*; ces marqueurs stratigraphiques ne répondent pas au premier impératif. De même, *Ceratolithus* div. sp., *Coccolithus pataecus*, *Cyclolithella annula* et

Scyphosphaera div. sp., trop faiblement représentés dans les sédiments, n'ont pas été retenus. Enfin, *Thoracosphaera* spp. 1 et 2, n'appartenant pas à la classe des coccolithophoridés ont été écartés.

En définitive, les nannofossiles retenus ici dans un but paléoenvironnemental appartiennent aux 8 taxa et groupes de taxa suivants (taxonomie : annexe 1) :

Coccolithus pelagicus

Cyclococcolithina leptopora

Florisphaera div. sp.

Helicopontosphaera div. sp.

Rhabdosphaera div. sp.

Scapholithus fossilis

Syracosphaera div. sp.

Umbilicosphaera sibogae

Les fréquents regroupements en genres tels qu'ils apparaissent dans les 8 taxa sélectionnés se justifient par un de nos objectifs à long terme : l'application de cette fonction de transfert à des séries fossiles de plus en plus anciennes. L'utilisation du genre plutôt que de l'espèce permettra de conserver cette méthode reposant sur l'analogie des dépôts fossiles avec les dépôts actuels, même si les espèces anciennes sont différentes des récentes.

Mise au point des matrices de comptage :

Toute étude paléoenvironnementale quantitative menée à partir de la composition taxonomique de microfossiles nécessite des matrices de comptage répondant à deux impératifs : elles doivent refléter le plus fidèlement possible la composition des biocoenoses et elles doivent prendre en compte les variations d'abondance de tous les taxa sélectionnés.

Pour satisfaire à ces deux conditions, il est indispensable de créer de nouvelles matrices à partir des comptages effectués sur les frottis de sédiments bruts.

Des Coccolithes aux Coccosphères :

Cette première transformation répond à une réalité biologique. Pour avoir, à partir des nannofossiles calcaires, une image réelle de la distribution des coccolithophoridés vivant ou ayant vécu dans des eaux de surface, il est essentiel de raisonner en terme de coccosphères (cellule des coccolithophoridés) et non de coccolithes (unités squelettiques de la coccosphère).

Il convient donc de recenser le nombre moyen de coccolithes par coccosphère pour chaque taxon. Les sources bibliographiques mentionnant ces nombres sont rares mais fournissent néanmoins des renseignements concordants. Le tableau 1 se réfère aux descriptions ou photographies les plus explicites. Dans le cas où la seule appellation générique est mentionnée, c'est une moyenne du nombre de coccolithes des diverses espèces mentionnées dans les publications, qui est utilisée.

Ainsi obtient-on des matrices tenant compte de l'abondance des sphères qui ont pu se sédimenter (Annexe 2).

Tableau 1

Conversion des coccolithes aux coccosphères pour chacun des 8 taxa et groupes de taxa sélectionnés.

Conversion of coccoliths into coccospheres for each of the 8 selected taxa and groups of taxa.

Taxa	Nombre de coccolithes par coccosphère	Sources bibliographiques
<i>Cyclococcolithina leptora</i>	30	Kleine (comm. Pers., 1987)
<i>Coccolithus pelagicus</i>	18	Mc Intyre et Bé (1967)
<i>Florisphaera</i> div. sp.	200	Okada et Honjo (1973)
<i>Helicopontosphaera</i> div. sp.	20	Okada et Mc Intyre (1977)
<i>Rhabdosphaera</i> div. sp.	40	Kleine (comm. pers. 1987)
<i>Scapholithus fossilis</i>	250	Kleine (comm. pers. 1987)
<i>Syracosphaera</i> div. sp.	50	Lecal (1951); Okada et Mc Intyre (1977)*
<i>Umbilicosphaera sibogae</i>	80	Okada et Mc Intyre (1977)**

* Le nombre de 50 coccolithes attribué aux sphères de *Syracosphaera* div. sp. est une valeur moyenne relative aux données concernant les 8 espèces de *Syracosphaera* citées par Lecal (1951) et les 23 citées par Okada et Mc Intyre (1977). De plus, dans les échantillons caraïbes, le genre est représenté à 95% par l'espèce *histrica*, dont les sphères portent de 25 à 70 canéolithes (Okada et Mc Intyre, 1977).

** Les coccolithes de la variance *foliosa* sont rares dans nos échantillons : le chiffre de 80 attribué à l'espèce *U. sibogae* correspond donc au nombre moyen de coccolithes composant la sphère de *U. sibogae* s. s.

Des coccosphères aux classes d'abondance :

Les sphères de *Florisphaera* div. sp. et *Rhabdosphaera* div. sp. représentent souvent plus de 80% de l'abondance totale, ce qui risque de minimiser l'importance des renseignements fournis par les 6 autres taxa. Afin de diminuer cet effet de dilution par les taxa cardinaux, le mode de conversion mis au point par Pichon (1987) et appliqué aux Diatomées antarctiques, a été utilisé (tab. 2).

Tableau 2

Mode de conversion des pourcentages en 5 classes d'abondance
Mode of conversion of percentages into 5 classes of abundance

Classes d'abondance	% équivalents
0 : taxon absent	0%
1 : taxon présent	1%
2 : taxon commun	1 < N < 25% du max. de coccosphères du taxon dans un des échantillons de surface
3 : taxon fréquent	25 < N < 50% " " " " " "
4 : taxon abondant	50 < N < 100% " " " " " "

Sélection des échantillons superficiels récents :

Les critères de sélection des échantillons superficiels sont d'abord l'absence de remaniement et de dissolution au sein du sédiment ainsi que leurs cortèges de microfossiles représentatifs d'une sédimentation actuelle (datation par les Foraminifères planctoniques, Duprat, comm. pers., 1989).

Les 36 échantillons retenus sont issus d'une sélection effectuée sur 180 échantillons récents répartis sur l'ensemble de l'Atlantique Nord et de la mer des Caraïbes; la sélection est d'ordre géographique et écologique. Les premiers essais de Fonction de Transfert (Imbrie et Kipp, 1971; Imbrie *et al.*, 1973) furent réalisés

à partir d'un grand nombre d'échantillons superficiels répartis sur une zone géographique très étendue (entre les fronts polaires Nord et Sud dans l'Atlantique), le but final étant l'estimation de paramètres paléoenvironnementaux sur une ou plusieurs sections décrivant une zone géographique bien localisée.

La tendance actuelle (Projet CLIMAP) est de fractionner l'océan en plusieurs aires géographiques et d'appliquer séparément sur chacune de ces unités une Fonction de Transfert qui lui est propre (i.e. sélection d'échantillons superficiels localisés dans cette unité géographique). L'intérêt de cette méthode est d'introduire uniquement des échantillons superficiels susceptibles d'être associés à des échantillons carottés analogues.

Ce principe justifie le faible nombre d'échantillons superficiels retenus dans la présente étude et leur répartition très localisée : entre 36°N et l'équateur, 20°W et la côte américaine : (tab. 3).

Tableau 3
Situation et profondeur de prélèvement des échantillons superficiels
Surface sample locations and depths

Echantillons	Lat. N	Long. W	Prof. (m)
INMD 42 BX	28°34'	46°21'	3774
INMD 50 BX	31°11'	39°41'	3481
INMD 65 BX	34°37'	29°59'	3452
INMD 68 BX	34°38'	28°21'	2520
INMD 69 BX	34°49'	26°12'	4675
INMD 70 BX	34°57'	24°18'	5118
02 KS 2	10°28'	59°30'	1280
02 KS 3	10°02'	57°32'	3410
02 KS 10	05°35'	49°58'	3279
02 KS 11	06°21'	48°36'	3852
TR 7515	34°07'	61°27'	4387
TR 7531	14°53'	68°55'	4260
M2 74218	30°08'	26°19'	4933
M2 74226	34°43'	29°33'	3592
M2 74227	35°15'	29°14'	3210
M2 74229	35°48'	28°12'	3419
GU 7603	14°30'	61°09'	1780
GU 7609	13°21'	63°41'	2100
GU 7610	12°40'	65°08'	4200
GU 7613	12°34'	63°03'	3130
GU 7615	13°18'	61°30'	2880
GU 7616	13°12'	61°36'	3060
KI 85103	09°48'	76°36'	1830
KSP 85137	14°11'	62°03'	2950
KSP 8583	10°10'	59°17'	1205
KSP 8565KSP	10°17'	58°27'	2050
8576	10°19'	58°53'	1745
KSP 8585	11°16'	59°13'	1520
KS 85195	14°37'	60°28'	2200
KS 85182	16°08'	61°59'	1650
KS 85178	15°50'	61°50'	1600
KS 85202	14°44'	60°37'	1100
P 6304-4	15°27'	70°43'	4136
TR 7532	14°49'	70°55'	4000
TR 7537	14°48'	74°12'	4210
TR 7529	14°57'	68°39'	4490

Paramètres environnementaux actuels :

L'étude se limite aux température d'été (août) et d'hiver (février) des eaux de surface (tab. 4).

Pour chaque échantillon, les températures des eaux de

surface ont été relevées pour l'Atlantique Nord sur les cartes de l'U.S. Naval Atlas (1967) et du World Ocean Atlas (1978), et pour les Caraïbes sur les cartes de Wüst (1964).

Tableau 4
Températures de surface d'été et d'hiver lues sur Atlas pour les échantillons superficiels
Measured summer and winter sea surface temperatures for the surface samples

Echantillons	T (°C)		Echantillons	T (°C)	
	hiver	été		hiver	été
INMD 42 BX	20,5	26,4	GU 7610	25,6	27,8
INMD 50 BX	19,5	25,8	GU 7613	25,7	27,9
Inmd 65 BX	17,1	24,4	GU 7615	25,8	28,1
INMD 68 BX	16,8	24,0	GU 7616	25,8	28,1
INMD 69 BX	16,7	23,8	KI 85103	27,0	28,22
INMD 70 BX	16,4	23,4	KSP 85137	26,0	8,4
02 KS 2	26,3	28,7	KSP 8583	26,4	28,2
02 KS 3	26,4	28,6	KSP 8565	26,7	28,1
02 KS 10	26,8	28,1	KSP 8576	26,6	28,2
02 KS 11	26,5	28,0	KSP 8585	26,4	28,2
TR 7515	18,4	26,8	KS 85195	25,9	28,3
TR 7531	25,8	27,8	KS 85182	25,9	28,3
M2 74218	17,4	24,0	KS 85178	25,9	28,3
M2 74226	16,9	24,2	KS 85202	25,9	28,3
M2 74227	16,7	24,0	P 6304-4	25,8	28,0
M2 74229	16,4	23,6	TR 7532	25,8	28,0
GU 7603	25,7	28,0	TR 7537	25,8	28,0
GU 7609	25,8	28,0	TR 7529	25,8	28,0

Analyse mathématique

Analyse factorielle; programme CABFAC :

Une analyse factorielle en mode Q (Klovan et Imbrie, 1971) des 8 taxa de nannofossiles provenant des 36 échantillons de surface a permis d'obtenir trois assemblages (facteurs) exprimant 97% des données de la variance totale.

La matrice VARIMAX FACTOR (tab. 5) traduit la représentativité de chaque facteur dans chaque échantillon; il apparaît que la plupart des échantillons sont surtout dominés par les facteurs 1 et 2. Les communalités toujours > 0,9 indiquent une excellente représentation des échantillons par les 3 facteurs.

La matrice VARIMAX FACTOR SCORE (tab. 6) assimile chaque facteur à une association florale typique : 5 taxa sur les 8 sélectionnés dominent les 3 assemblages.

Facteur 1 : *Florisphaera* div. sp.

Facteur 2 : *C. leptopora* et *C. pelagicus*

Facteur 3 : *Rhabdosphaera* div. sp. et *Syracosphaera* div. sp.

La figure 6 (a, b, c) montre la distribution géographique des poids statistiques de chaque échantillon pour chaque facteur.

Le facteur 1 atteint son maximum de représentation dans une zone alignée selon l'équateur thermique d'été et le prolongement du Courant Nord Equatorial. La saisonnalité y est faible par rapport au Nord et à l'Ouest du bassin caraïbe. Ces conditions climatiques relativement uniformes tout le long de l'année sont les plus favorables au bon développement de *Florisphaera* div. sp. caractéris-

Tableau 5
Matrice VARIMAX FACTOR issue du programme CABFAC
VARIMAX FACTOR matrix from CABFAC program

Echantillons	Communalités	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3
INMD 42 BX	0,971	0,546	0,763	-0,302
INMD 50 BX	0,967	0,471	0,824	-0,256
INMD 65 BX	0,995	0,403	0,860	-0,306
INMD 68 BX	0,995	0,411	0,889	-0,189
INMD 69 BX	0,921	0,355	0,884	0,112
INMD 70 BX	0,972	0,352	0,921	0,002
02 KS 2	0,982	0,823	0,495	-0,245
02 KS 3	0,981	0,788	0,590	-0,112
02 KS 10	0,983	0,777	0,615	-0,031
02 KS 11	0,961	0,740	0,641	-0,048
TR 75215	0,927	0,476	0,835	0,061
TR 75231	0,977	0,917	0,365	-0,056
M2 74218	0,978	0,499	0,853	-0,029
M2 74226	0,991	0,395	0,876	-0,260
M2 74227	0,975	0,433	0,847	-0,264
M2 74229	0,944	0,435	0,777	-0,391
GU 7603	0,994	0,809	0,493	-0,311
GU 7609	0,976	0,870	0,416	-0,216
GU 7610	0,978	0,866	0,476	0,042
GU 7613	0,976	0,881	0,445	0,042
GU 7615	0,991	0,894	0,416	-0,138
GU 7616	0,993	0,909	0,379	-0,154
KI 85103	0,979	0,937	0,312	0,067
KSP 85137	0,937	0,897	0,324	-0,167
KSP 8583	0,986	0,767	0,579	-0,252
KSP 8565	0,991	0,820	0,564	-0,017
KSP 8576	0,976	0,858	0,465	-0,154
KSP 8585	0,994	0,809	0,493	-0,311
KS 85195	0,968	0,877	0,380	-0,235
KS 85182	0,991	0,837	0,447	-0,302
KS 85178	0,991	0,837	0,447	-0,302
KS 85202	0,991	0,837	0,447	-0,302
P 6304-4	0,949	0,813	0,513	-0,161
TR 7532	0,957	0,833	0,485	-0,164
TR 7537	0,961	0,687	0,546	-0,436
TR 7529	0,933	0,749	0,396	-0,463
Variance		54,312	37,823	05,180
Variance cum.		54,312	92,134	97,314

Tableau 6
Matrice VARIMAX FACTOR SCORE issue du programme CABFAC
VARIMAX FACTOR SCORE matrix from CABFAC program

Taxa	Facteurs		
	1	2	3
<i>Helicopontosphaera</i>	0,326	0,384	0,019
<i>Cyclococcolithina leptopora</i>	-0,059	<u>0,602</u>	0,196
<i>Coccolithus pelagicus</i>	-0,090	<u>0,443</u>	0,493
<i>Syracosphaera div. sp.</i>	0,226	0,179	<u>-0,534</u>
<i>Rhabdosphaera div. sp.</i>	-0,006	0,298	<u>-0,606</u>
<i>Scapholithus fossilis</i>	0,211	-0,051	-0,076
<i>Umbilicosphaera sibogae</i>	0,011	0,404	-0,130
<i>Florisphaera div. sp.</i>	<u>0,887</u>	-0,093	0,208

tique de cet assemblage. De plus la répartition de cet assemblage est proche de celle des températures d'hiver et d'été de surface : le facteur 1 se corrèle positivement avec les fortes températures et, le facteur 2 constitue le négatif du facteur 1, les maxima de représentation se situant au Nord de 25°N où le facteur 2 se corrèle posi-

de représentation se situant au Nord de 25°N. Le facteur 2 vement avec les faibles températures.

Le facteur 3 montre une distribution intermédiaire en individualisant une aire comprise entre 15 et 25°N.

La distribution latitudinale synthétique des assemblages (fig. 7) montre de façon schématique les limites thermiques de leur extension dans les biotopes de surface de l'Atlantique Nord :

Facteur 1 : assemblage tropical

Facteur 2 : assemblage transitionnel

Facteur 3 : assemblage subtropical.

La composition taxonomique de ces assemblages et leur distribution géographique confirment les zonations florales décrites dans les sédiments récents (Mac Intyre et Bé, 1967; Roche *et al.*, 1975; Molfino *et al.*, 1982). Une information supplémentaire est la caractérisation dans la présente étude de l'assemblage tropical par *Florisphaera* div. sp., taxon non signalé par ces auteurs.

La représentation des poids statistiques des échantillons dans chaque facteur en fonction des températures superficielles (fig. 8a, 8b) montre une tendance parabolique identique selon le paramètre considéré (températures d'hiver ou d'été).

Ainsi l'analyse factorielle fournit trois assemblages statistiquement indépendants et directement tributaires des caractéristiques thermiques des eaux de surface.

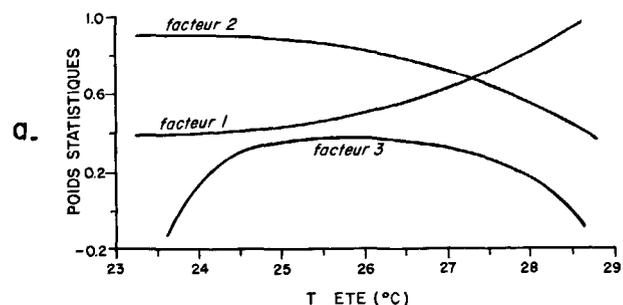
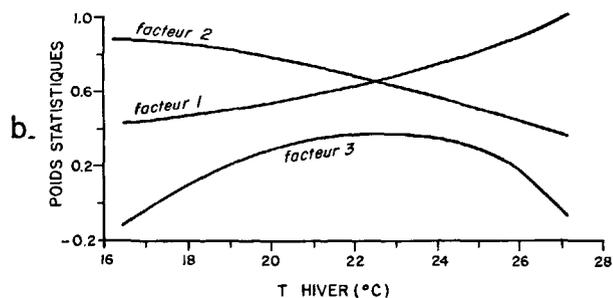


Figure 8

Représentation des températures superficielles mesurées (°C) en fonction des poids statistiques des 3 facteurs
a : températures d'été
b : températures d'hiver

Measured sea-surface temperatures (°C) against statistic weights of the 3 factors
a : summer temperatures
b : winter temperatures

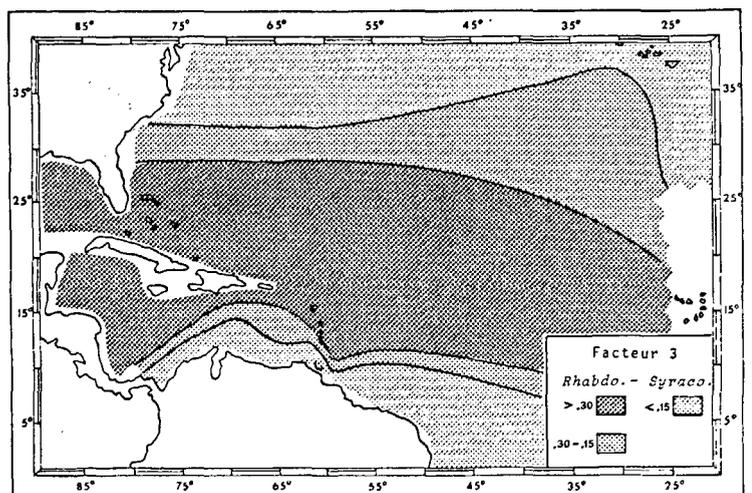
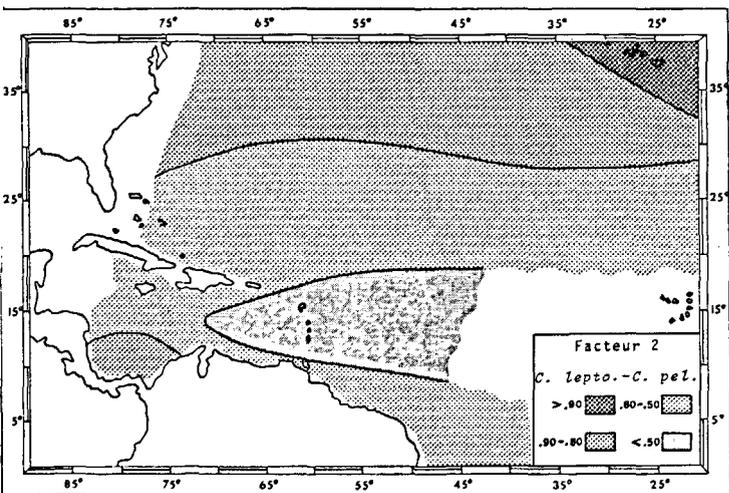
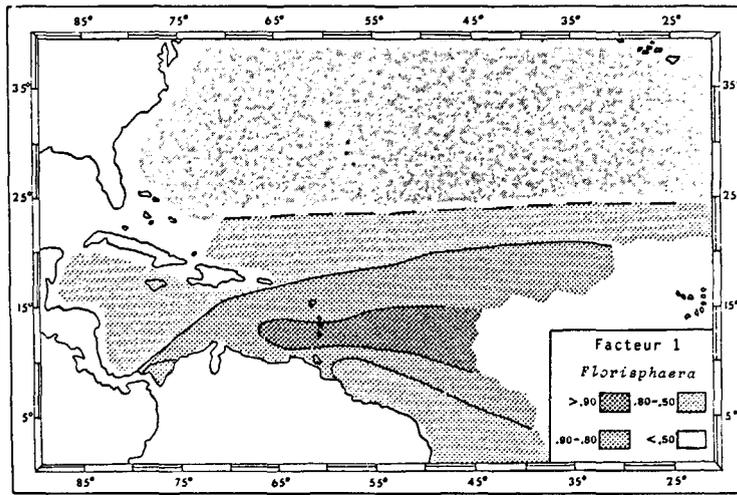


Figure 6

Distribution géographique :
 a : du facteur 1
 b : du facteur 2
 c : du facteur 3

Geographic distribution of:
 a : factor 1
 b : factor 2
 c : factor 3

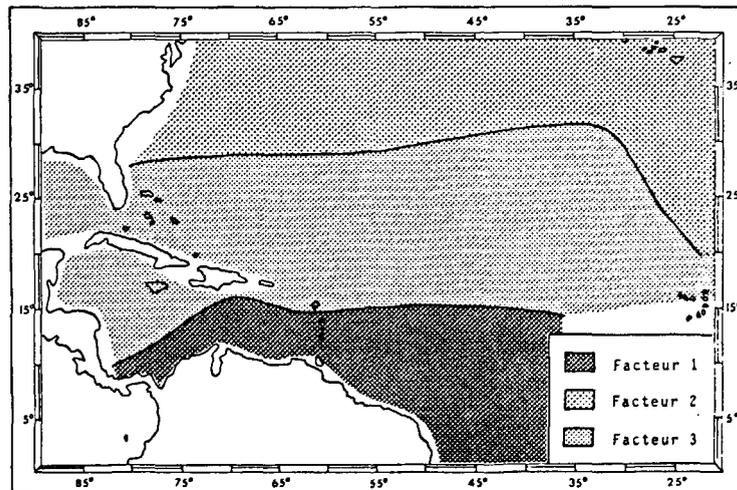


Figure 7

Distribution géographique synthétique des 3 facteurs
 Synthetic geographic distribution of the 3 factors

Analyse de régression. Programme REGRESS :

La régression curvilinéaire du programme d'Imbrie et Kipp (1971) a été utilisée afin de quantifier les relations existant entre les assemblages floraux et les températures d'hiver et d'été des eaux superficielles.

Le programme REGRESS fait intervenir d'une part la matrice VARIMAX FACTOR issue de l'analyse factorielle CABFAC et d'autre part le tableau de données environnementales (températures d'hiver et d'été des eaux de surface) pour chacun des 36 échantillons superficiels. La fiabilité des équations paléocéologiques et des estimations issues de l'analyse de régression est donnée par deux paramètres statistiques : le coefficient de corrélation multiple et l'erreur standard d'estimation (tab. 7) :

Tableau 7
Principaux résultats et paramètres issus du programme REGRESS
Main results and parameters from REGRESS program

	T lues (°C)			T est. (°C)			E.S.E (°C) (A.D.L)	C.C.M. (A.D.L)
	max	min	écart	max	min	écart		
T hiver	26,8	16,4	10,2	26,4	15,1	11,3	0,96	0,97
T été	28,7	23,4	5,3	28,3	23,3	5,0	0,56	0,95

Le coefficient de corrélation multiple (C. C. M. ajusté au degré de liberté), supérieur dans les deux cas à 95%, indique que les estimations sont massivement significatives. Ceci est confirmé par l'erreur standard d'estimation (E.S.E ajusté au degré de liberté) inférieure à 1°C pour les deux paramètres hydrologiques. Cette valeur est excellente si l'on se réfère à celle de 2°C admise par le projet CLIMAP (1976).

Enfin, il n'apparaît pas de différences notables entre les températures lues sur Atlas (tab. 4) et celles calculées si on se réfère à leurs valeurs maximales et minimales.

Application aux séries anciennes. Programme THREAD :
Le programme THREAD est la projection des échantillons anciens dans le modèle décrit avec les échantillons récents.

Il fait intervenir à la fois des données des programmes CABFAC (matrice VARIMAX FACTOR SCORE, tab. 6), REGRESS (matrice de régression) et les matrices de comptage des nannofossiles dans les carottes. Ces dernières matrices ont subi les mêmes transformations (des coccolithes aux sphères et en classes d'abondance) que celles des échantillons superficiels. Les paramètres paléoenvironnementaux (températures d'hiver et d'été des eaux de surface) obtenus par cette analyse ne seront ni discutés ni interprétés dans leur état initial : en effet, afin de tester la validité de la Fonction de Transfert sur les échantillons anciens, il est nécessaire de raisonner sur les variations globales des températures, c'est-à-dire à partir des valeurs moyennes et de courbes lissées à trois points (méthode de "three-sample running average", Imbrie et Kipp, 1971).

Les estimations de paléotempératures hivernales et estivales pour les deux carottes choisies (Site 502B, TR 7532) sont comparées à la courbe isotopique δ 018 du Site 502B prise comme référence (fig. 9) : Les paléotempératures varient peu d'un stade climatique à un autre, le gradient étant toujours inférieur à 2°C. Cette observation confirme les estimations obtenues par Mac Intyre *et al.* (1989) à

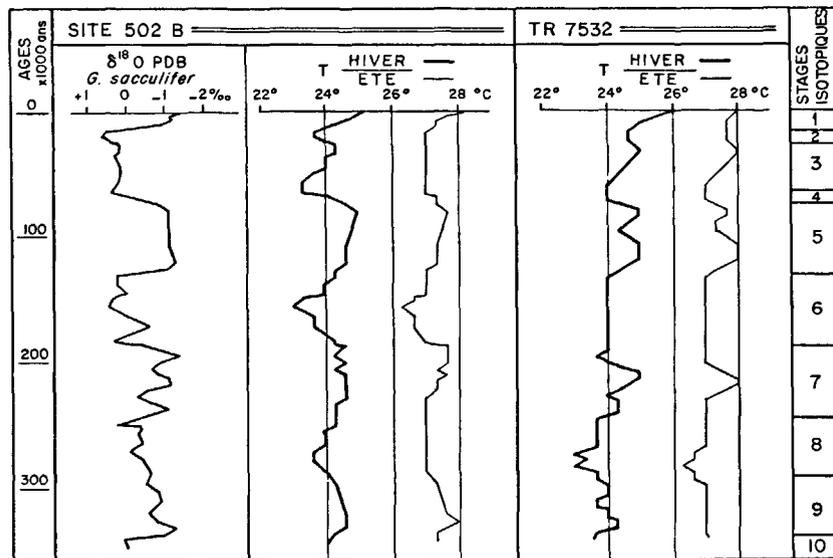


Figure 9

Paléotempératures estimées à partir des nannofossiles des deux carottes; δ 018 mesuré sur les tests de *Globigerinoides sacculifer* du Site 502B (Prell, 1982).
Estimated paleotemperatures from nannofossils of the two cores; δ 018 measured in shells of *Globorotalia sacculifer* of Site 502B (Prell, 1982).

l'aide des Foraminifères planctoniques des basses latitudes : leurs résultats indiquent pour le quaternaire moyen et terminal, la présence en Atlantique Occidental d'un réservoir d'eau chaude à caractère thermique stable, induisant des variations minimales de températures des eaux de surface pour les 250 000 dernières années.

Les estimations obtenues avec les nannofossiles sont très satisfaisantes car les courbes de températures varient parallèlement avec les mesures isotopiques. Une information supplémentaire est apportée par les nannofossiles pour les stades 4, 3 et 2 ; ces épisodes, relativement semblables en valeurs isotopiques sont bien différenciés par les paléotempératures d'hiver.

Les estimations de températures d'hiver et d'été montrent des variations synchrones avec cependant une plus grande stabilité des températures d'été lors des stades 8, 4, 3 et 2.

Pour le site 502B les températures varient autour des mêmes valeurs moyennes :

T° hiver = 24°C

T° été = 27°C

Les estimations de la carotte TR 7532 marquent, quant à elles, trois tendances distinctes pour des périodes données :

350 000 à 250 000 ans : T° hiver = 23,5°C

T° été = 26,5°C

250 000 à 150 000 ans : T° hiver = 24°C

T° été = 27°C

150 000 ans à Actuel : T° hiver = 24,5°C

T° été = 27,5°C

Ainsi la période 250-150 000 ans, au cours de laquelle les valeurs moyennes sont identiques pour les deux carottes, témoigne d'une relative uniformisation des caractéristiques thermiques des eaux de surface dans l'ensemble des Caraïbes.

Antérieurement et postérieurement à cet épisode, il apparaît des distinctions thermiques régionales, dues à la pénétration des eaux de surface de l'Atlantique Nord dans le bassin du Vénézuéla où est localisée la coupe TR 7532.

Analyse comparative des estimations obtenues par l'étude de différents groupes biotiques :

Les estimations obtenues ici ont été comparées à celles d'Imbrie et van Donk (1973) calculées à partir de Foraminifères planctoniques de la carotte V12.122 (long. 17°N - lat. 74° 24'W, prof. 2800m); la localisation de cette coupe à proximité du Site 502B et de la carotte TR 7532 autorise cette comparaison.

Les valeurs de températures obtenues (fig. 10) présentent certains écarts d'estimations :

les températures d'été estimées à partir des nannofossiles sont en moyenne supérieures de 1,5°C à celles obtenues par les Foraminifères.

Les températures d'hiver sont proches en période interglaciaire. En revanche, elles divergent pendant les périodes glaciaires où les valeurs calculées à partir de la nannoflore sont en moyenne supérieures de 2°C à celles obtenues grâce aux Foraminifères.

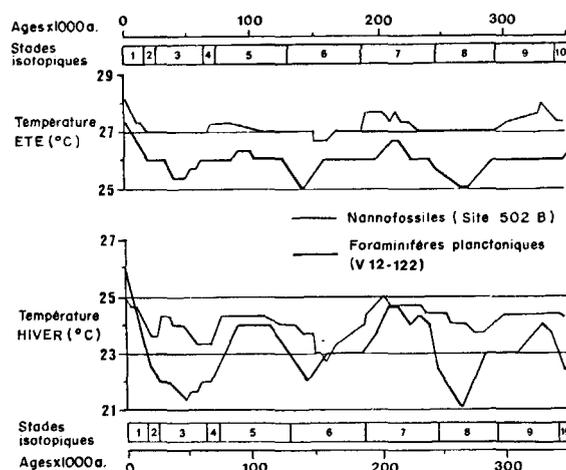


Figure 10

Comparaison des paléotempératures estimées à partir des assemblages de nannofossiles (Site 502B, cette étude) et de Foraminifères planctoniques (V 12-122, Imbrie *et al.*, 1973):

a : températures d'été
b : températures d'hiver

Comparative curves of estimated paleotemperatures from nannofossil (Site 502B this paper) and planktonic Foraminifera (V12-122 Imbrie *et al.*, 1973) assemblages :
a: Summer temperatures
b: Winter temperatures

Deux phénomènes associés ou pris individuellement expliquent de tels écarts d'estimations.

Le nannoplancton se développe principalement dans la zone photique supérieure, soit les premiers mètres d'eau, sièges de la photosynthèse; *Florisphaera*, dont la participation aux communautés nannoplanctoniques est faible (en termes de coccosphères et après transformation des matrices de comptage originelles en classes d'abondance), est le seul taxon vivant présentant son maximum d'abondance à 150m de profondeur (Okada et Honjo, 1973).

Les Foraminifères planctoniques ont une distribution verticale plus large, de 0 à 200 m (Berger, 1969; Jones, 1971; Bé, 1971). Fairbanks (1985), a estimé que ces organismes présentent leurs maxima de concentration, au large des Bermudes, à 50 et 150 m de profondeur; *Globorotalia sacculifer*, qui sert de support aux mesures isotopiques, vit en-dessous de 100 m de profondeur (Hemleben et Spindler, 1983).

Or la profondeur 50 m correspond en Caraïbes à une limite hydrologique séparant les Eaux de Surface (Surface Waters) des Eaux Subtropicales (Subtropical Under Water); cette dernière masse d'eau caractérisée par un maximum de salinité se forme au sommet des Eaux Centrales Atlantiques (Atlantic Central Waters) (Perthroth, 1971).

Ainsi la plupart des coccolithophoridés et des Foraminifères planctoniques se développent préférentiellement dans deux masses d'eaux à caractéristiques thermiques différentes (1 à 4°C d'écart selon Perthroth, 1971). Les températures calculées à partir de ces deux groupes biotiques vont présenter un écart d'estimation qui, dans notre cas, est de 1,5°C.

Un second phénomène associé à ce facteur écologique permet d'expliquer le plus grand écart d'estimation (plus de 2°C) reconnu en périodes glaciaires : Molfino *et al.* (1982) ont mené une étude paléocéanographique avec analyse comparative des températures de surface estimées par différents groupes biotiques, en Atlantique Sud, pour le dernier maximum glaciaire.

Selon eux, à 18 000 ans et aux basses latitudes (5° à 15°S), l'écart d'estimation traduit par les nannofossiles et les Foraminifères varie de 3 à 2°C pour les températures d'hiver et de 1 à 1,5°C pour les températures d'été; l'explication réside dans une accentuation de la stratification des eaux à cette époque, induisant des différences très marquées pour ce qui est des caractéristiques thermiques des masses d'eau dans lesquelles se développe chacun des groupes biotiques.

Ainsi ce schéma décrit initialement dans les zones tropicales de l'Atlantique Sud au dernier maximum glaciaire, peut être étendu à la mer des Caraïbes pour tous les épisodes glaciaires majeurs des 350 000 dernières années (stades isotopiques pairs).

CONCLUSION

L'objectif de ce travail qui était d'estimer les paléotempératures des eaux de surface en Caraïbes au Pléistocène moyen et supérieur à partir des assemblages de nannofossiles calcaires a été pleinement atteint.

La transformation en deux étapes des matrices de comptage et le choix d'un nombre réduit de taxa, constituent une méthodologie originale à partir de laquelle a pu être utilisée une Fonction de Transfert identique dans son mécanisme à celle d'Imbrie et Kipp (1971).

Les paléotempératures calculées par ce procédé sont très significatives; elles traduisent au mieux, avec une erreur d'estimation inférieure à 1°C, la succession des différentes phases climatiques pour les 350 000 dernières années. Ces résultats confirment et vont plus loin que ceux obtenus par les membres du projet CLIMAP : un phénomène de stratification des eaux de surface, décrit initialement au dernier maximum glaciaire dans les régions tropicales de l'Atlantique Sud a pu être ici étendu en Caraïbes à tous les épisodes glaciaires caractérisant les 250 000 dernières années.

Il apparaît donc intéressant d'amplifier cette méthode en l'appliquant à d'autres régions géographiques telles les moyennes latitudes où les phénomènes paléoclimatiques sont plus marqués qu'en régions tropicales, à des périodes plus anciennes du Pléistocène qui n'ont pas encore fait l'objet d'étude paléocéanographique quantitative, et enfin à d'autres paramètres du milieu tels la salinité, les nutriments et certains paramètres atmosphériques influençant et limitant la distribution des organismes planctoniques dans les eaux de surface des océans.

Remerciements

Les auteurs remercient J.-C. Duplessy, chef de la mission TRANSAT, qui leur a permis l'accès aux sédiments de la carotte TR. 7532 ainsi que la National Science Foundation qui a autorisé un échantillonnage précis et abondant du Site DSDP 502. Les rapporteurs anonymes ont émis des remarques pertinentes contribuant à l'amélioration du manuscrit; qu'ils trouvent ici l'expression de notre gratitude. Ce projet de recherche a pu aussi être mené à bien grâce au soutien financier de l'UA 197 du CNRS.

Annexe 1

Taxonomie-Coccolithophoridae *Taxonomy-Coccolithophoridae*

Ceratolithus Kamptner, 1950 :

Ceratolithus cristatus Kamptner, 1950

C. cristatus, in Kamptner, 1950, p.154, fig.44-45

C. cristatus, in Bukry et Bramlette, 1968, p.150, pl.1, fig.1-4.

Ceratolithus rugosus Bukry et Bramlette, 1968 :

C. rugosus, in Bukry et Bramlette, 1968, p.152, pl.1, fig.5-9.

Coccolithus pataecus Gartner, 1967 :

C. pataecus, in Gartner, 1967, p.4, pl.5, fig.6-8b.

Coccolithus pelagicus (Wallich) Schiller, 1930 :

C. pelagicus, in Pujos, 1984, p.783, pl.1, fig.3-4.

C. pelagicus, in Pujos, 1985, pl.3, fig.5.

Cyclococcolithina leptopora (Murray et Blackman) Wilcoxon, 1970 :

C. leptopora, in Pujos, 1984, p.779, pl.4, fig.1-4.

C. leptopora, in Pujos, 1985, pl.3, fig.1-2.

Cyclolithella annula (Cohen) Cohen et Reinhardt, 1968 :

C. annula, in Boudreaux et Hay, 1969, pp.257-258, pl.1, fig.10-17.

C. annula, in Pujos, 1984, pl.3, fig.4.

Emiliania huxleyi (Lohman) Hay et Mohler, 1967 :

E. huxleyi, in Hay *et al.*, p.447, pl.10-11, fig.1-2.

Florisphaera Okada et Honjo, 1973 :

Florisphaera profunda Okada et Honjo, 1973 :

F. profunda, in Okada et Honjo, 1973, p.373, pl.2, n°4-5.

Florisphaera profunda Okada et Honjo, 1973, var. *elongata* Okada et Mc Intyre, 1977 :

F. profunda var. B, in Okada et Honjo, 1973, p.374, pl.1, fig.6, pl.2, fig.6.

F. profunda elongata, in Okada et Mc Intyre, 1977, p.36 et p.38

Gephyrocapsa Kamptner, 1943 :

Gephyrocapsa aperta Kamptner, 1963 :

G. aperta var.1 et 2, in Pujos, 1984, p.778, pl.1, fig.5-7.

partie de : "small *Gephyrocapsa*", in Pujos, 1988, p.71, fig.8, n°5.

Gephyrocapsa caribbeanica Boudreaux et Hay, 1967 :

G. caribbeanica, in Hay *et al.*, 1967, pl.12-13, fig.1-2.

G. caribbeanica, in Pujos, 1984, p.778, pl.2, fig.3b-5

G. caribbeanica, in Pujos, 1988, p.71, fig.8, n°3.

Gephyrocapsa ericsonii Mc Intyre et Bé, 1967 :

G. ericsonii, in Mc Intyre et Bé, 1967, pl.10 et 12b.

G. ericsonii, in Pujos, 1988, p.71, fig.8, n°6.

Gephyrocapsa oceanica Kamptner, 1943
G. oceanica, in Kamptner, 1943, pl.1, fig.16-17
G. oceanica, in Pujos, 1984, p.778, pl.2, fig.1-2.
G. oceanica s. str., in Pujos, 1988, p.9, fig.8, n°1.

Helicopontosphaera Hay et Mohler, 1967 :

Helicopontosphaera hyalina (Gaarder) Haq, 1973 :
H. hyalina, in Gaarder, 1970, p.113, fig.1 a-g, 2 a-d, 3a.
Helicopontosphaera kamptneri Hay et Mohler, 1967 :
H. kamptneri, in Hay et al., 1967, pl.16, fig.4a-f.
H. kamptneri, in Gartner, 1972, p.181, pl.II, 6.
Helicopontosphaera neogranulata Gartner, 1977 :
H. neogranulata, in Gartner, 1977, p.22, pl.II, 2a-b.
H. neogranulata, in Pujos, 1984, p.779, pl.3, fig.8-10.
Helicopontosphaera wallichi (Lohmann) Boudreaux et Hay, 1969 :
H. wallichi, in Boudreaux et Hay, 1969, p.272, pl.VI, fig.9.
H. wallichi, in Pujos, 1984, p.779, pl.3, fig.7.

Rhabdosphaera Haeckel, 1894 et Discosphaera Haeckel, 1894 :

Rhabdosphaera clavigera Murray et Blackman, 1898 :
R. clavigera, in Boudreaux et Hay, 1969, pp.266-267, pl.IV, fig.6-10.
Discosphaera tubifera Murray et Blackman, 1898 :
D. tubifera, in Boudreaux et Hay, 1969, p.270, pl.IV, fig.16, pl.V, fig.1-7.

Scapholithus fossilis Deflandre, 1954 :

S. fossilis, in Deflandre et Fert, 1954, p.165, pl.8, fig.12, 16, 17.

Scyphosphaera Lohmann, 1902, emend. Deflandre, 1942 :

Scyphosphaera antilleana Boudreaux et Hay, 1969 :

S. antilleana, in Boudreaux et Hay, 1969, p.278, pl.7, fig.3-4.
Scyphosphaera apsteini Lohmann, 1902 :
S. apsteini, in Lohmann, 1902, p.132, pl.4, fig.26-30.
Scyphosphaera recta (Deflandre) Kamptner, 1955 :
S. recta, in Boudreaux et Hay, 1969, p.277, pl.VI, fig.19-21.
Syracosphaera Lohmann, 1902 :
Syracosphaera histrica Kamptner, 1941 :
S. histrica, in Okada et Mc Intyre, 1977, p.22, pl.8, fig.12.
Syracosphaera halldali Gaarder et Hasle, 1971 :
S. halldali, in Okada et Mc Intyre, 1977, p.23, pl.10, fig.1-2
Syracosphaera pulchra Lohmann, 1902 :
S. pulchra, in Okada et Mc Intyre, 1977, p.27, pl.10, fig.11-12.

Umbilicosphaera sibogae (Weber et van Bosse) Gaarder, 1970 :

Umbilicosphaera sibogae (Weber et van Bosse) Gaarder, 1970
U. sibogae, in Okada et Mc Intyre, 1977, p.13, pl.4, fig.2.
U. sibogae, in Pujos, 1984, pl.3, fig.1-2.
U. sibogae, in Pujos, 1985, pl.1, fig.9.
Umbilicosphaera sibogae (Weber et van Bosse) Gaarder, var. *foliosa* (Kamptner) Okada et Mc Intyre, 1977 :
U. sibogae foliosa, in Okada et Mc Intyre, 1977, p.13, pl.4, fig.1.
U. sibogae foliosa, in Perch-Nielsen, 1985, p.465, fig.24, 6.

N.B. :

La plupart des dénominations génériques suivent la taxonomie définie par Loeblich et Tappan (1969, 1970 a et b, 1971); en ce qui concerne *Cyclococcolithina* et *Helicopontosphaera*, nous avons adopté l'attribution taxonomique de Hay (1977).

Annexe 2

Matrices de comptage des coccosphères des 8 taxa et groupes de taxa sélectionnés
Counts matrices of the coccospheres of the 8 selected taxa and groups of taxa

Profondeur (cm)	Echantillons de surface							
	<i>Helico</i>	<i>C. lept.</i>	<i>C. pelag.</i>	<i>Syraco.</i>	<i>Rhabdo.</i>	<i>Scapho.</i>	<i>U. sibog.</i>	<i>Flor.</i>
INMD 42BX	533	1040	73	440	546	13	106	173
INMD 50BX	275	2665	23	140	160	5	65	720
INMD 65BX	300	1840	73	173	246	6	113	333
INMD 68BX	566	2066	106	120	166	0	133	773
INMD 69BX	266	2506	293	93	80	0	53	440
INMD 70BX	466	2306	146	26	183	0	113	320
O2 KS 2	73	26	0	40	61	2	32	1813
O2 KS 3	110	30	14	41	50	2	22	1620
O2 KS 10	222	62	24	66	18	2	66	2310
O2 KS 11	160	42	7	25	11	1	40	1180
TR 75215	114	261	174	34	14	0	68	480
TR 75231	106	22	0	46	34	3	24	3440
M2 74218	200	1524	71	62	75	0	124	1537
M2 74226	333	2020	73	160	246	13	146	200
M2 74227	233	933	16	73	83	3	100	220
M2 74229	300	3000	0	360	250	20	230	440
GU 7603	73	14	0	43	17	2	19	920
GU 7609	83	9	0	56	19	3	7	1700
GU 7610	127	28	10	33	6	1	14	2800
GU 7613	66	21	2	20	1	0	10	2180
GU 7615	143	25	0	50	16	1	25	1940
GU 7616	90	14	0	46	16	2	12	2480
KI 85103	73	5	0	32	0	3	9	3300
KSP 85137	44	22	0	73	26	2	9	3600
KSP 8583	220	66	0	101	60	8	49	1730
KSP 8565	116	64	3	48	23	2	18	2380
KSP 8576	116	35	0	55	39	1	54	2480
KSP 8585	155	40	0	88	68	3	52	2820
KS 85195	66	16	0	81	33	1	9	2860
KS 85182	96	15	0	97	41	1	10	2460
KS 85178	90	22	0	78	44	3	11	1920
KS 85202	155	36	0	106	60	6	18	2000
P 6304-4	97	26	0	35	9	3	9	840
TR 7532	33	16	4	30	35	2	13	1490
TR 7537	109	20	0	76	213	5	52	1400
TR 7529	136	0	0	100	330	6	21	2000

TRANSAT 7532

Profondeur (cm)	<i>Helico</i>	<i>C. lepto</i>	<i>C. pelag.</i>	<i>Syraco.</i>	<i>Rhabdo.</i>	<i>Scapho.</i>	<i>U. sibog.</i>	<i>Flor.</i>
0	75	36	11	68	80	5	31	1687
5	150	16	0	88	80	0	16	1680
10	90	20	5	76	97	4	22	810
15	185	30	0	62	107	0	12	1154
20	35	53	0	78	107	4	22	1080
25	35	53	0	78	107	4	22	1364
30	135	26	16	72	107	3	16	824
35	60	50	0	68	130	2	27	1080
40	65	60	0	32	115	2	60	674
45	75	10	0	110	112	4	22	480
50	35	26	0	86	122	5	25	1050
55	60	23	0	48	75	2	75	900
60	90	16	0	52	105	10	23	1170
65	120	56	0	52	75	2	32	2160
70	55	10	0	38	100	6	55	824
75	85	16	0	30	72	2	93	900
80	60	3	0	22	52	0	126	540
85	100	23	0	54	95	4	42	1470
90	120	20	0	72	75	2	32	1260
95	75	23	0	72	115	2	50	1890
100	105	30	0	66	90	5	38	1680
110	110	23	0	60	135	6	22	810
120	90	20	0	74	135	3	18	730
130	50	13	0	56	187	4	7	524
140	35	10	0	62	145	4	37	600
150	50	13	0	66	195	4	20	524
160	115	30	0	64	145	3	12	420
170	105	23	0	92	105	2	12	450
180	130	26	0	42	112	3	58	540
190	65	10	0	24	52	2	106	600
200	70	13	0	32	42	1	97	750
210	80	20	0	50	135	1	38	840
220	130	3	0	96	102	1	13	900
230	105	20	0	52	132	5	17	2400
240	155	3	0	38	92	4	37	1350
250	85	23	0	60	165	4	38	1484
260	110	40	0	32	75	2	67	1050
270	80	30	0	58	132	1	21	600
280	45	16	0	58	172	7	8	630
290	105	13	0	60	135	3	15	734
300	110	20	0	54	150	2	26	734
320	60	13	0	38	137	4	38	360
330	45	23	0	48	182	2	16	300
340	80	10	0	62	152	2	33	270
350	50	10	0	86	145	4	12	376
360	75	3	0	84	97	1	35	300
370	130	16	0	54	137	2	20	600
380	15	13	0	116	167	4	1	450
390	85	16	0	8	32	3	1	674
400	90	23	0	72	160	1	3	360
410	90	30	0	68	177	2	7	450
420	95	20	0	54	185	0	16	600
430	90	3	0	100	182	1	6	600
440	45	10	0	78	217	0	7	600
450	120	3	0	42	197	0	15	840
460	115	10	0	42	182	0	15	720
470	115	10	0	84	142	0	10	944
480	75	23	0	68	182	1	13	1200
490	105	10	0	48	220	0	5	450
500	140	33	0	56	172	1	5	734

LEG 108 - Site 502 B

Profondeur (cm)	<i>Helico</i>	<i>C. lept.</i>	<i>C. pelag</i>	<i>Syraco.</i>	<i>Rhabdo.</i>	<i>Scapho</i>	<i>U. sibog.</i>	<i>Flor.</i>
2,5	45	3	0	52	170	0	30	1920
10,5	80	0	0	72	120	2	38	1440
20,5	80	13	0	56	122	1	45	1680
30,5	70	33	0	46	135	1	32	1190
43,5	80	10	0	50	157	4	18	480
51,5	75	36	0	40	192	2	21	630
59,5	25	6	0	40	222	2	15	524
69,5	95	13	0	76	170	1	7	600
79,5	45	10	0	54	212	1	3	660
89,5	120	30	0	66	157	2	6	500
99,5	50	16	0	46	207	2	7	1400
109,5	95	26	0	80	140	2	10	560
112,5	75	46	0	58	157	1	8	1104
118,5	90	30	0	82	137	4	10	600
129,5	70	46	0	62	152	2	15	960
137,5	60	30	0	68	112	4	36	750
149,5	30	23	0	56	110	2	53	980
157,5	75	50	0	62	100	0	50	480
166,5	85	30	0	44	137	2	40	900
181,5	50	10	0	32	175	5	21	1700
191,5	100	26	0	72	117	3	23	1440
201,5	35	20	0	38	182	2	17	2160
210,5	55	20	0	64	142	0	32	1800
220,5	30	13	0	34	170	6	26	1600
230,5	30	53	0	62	205	1	11	360
240,5	70	13	0	36	190	2	8	900
252,5	70	16	0	64	200	4	0	640
259,5	35	3	0	44	202	2	10	360
270,5	105	10	0	80	155	5	0	315
280,5	35	23	0	54	175	3	11	770
290,5	85	13	0	98	115	2	25	440
300,5	140	20	0	46	192	1	7	560
310,5	65	20	0	62	130	4	32	720
320,5	115	10	0	44	127	6	10	660
330,5	110	20	0	32	85	2	72	1280
340,5	90	23	0	42	117	1	37	1400
350,5	110	36	0	68	70	2	48	1105
360,5	90	10	0	40	147	2	30	1980
370,5	115	26	0	62	112	2	28	950
380,5	110	23	0	44	152	2	15	1980
390,5	95	3	0	52	140	4	23	880
408,5	85	10	0	72	137	6	7	450
420,5	125	13	0	54	182	1	1	1500
472,5	45	3	0	46	195	2	16	800
486,5	55	26	0	76	102	4	36	1050
490,5	75	6	0	66	160	2	17	630
496,5	75	6	0	60	110	4	27	1600
506,5	75	30	0	52	127	4	25	1260
510,5	90	3	0	70	182	2	12	910
525,5	135	20	0	28	110	3	47	1100
546,5	80	20	0	58	87	3	48	910
566,5	140	16	0	56	82	5	45	960
585,5	70	13	0	92	117	4	11	840
620,5	70	10	0	34	217	2	6	2204
631,5	75	43	0	40	75	4	56	1500
640,5	80	16	0	54	195	1	5	2560
651,5	135	20	0	54	92	2	38	1920
660,5	110	10	0	38	127	6	7	524
671,5	70	20	0	74	142	7	7	665
680,5	65	23	0	50	135	2	32	1494
691,5	80	10	0	84	155	2	10	765
701,5	50/9	13	0	64	135	5	8	1100

REFERENCES

- Bé A. W. H., W. H. Hutson (1977). Ecology of planktonic Foraminifera and biogeographic patterns of life and fossil assemblages in the Indian Ocean. *Micropaleontology*, **23**, 4, 369-414.
- Berger W. H. (1969). Ecologic patterns of living planktonic Foraminifera. *Deep Sea Research*, **16**, 1-24.
- Boudreaux J. E., W. W. Hay (1969). Calcareous nannoplankton and biostratigraphy of the late Pliocene-Pleistocene-Recent sediments in the Submarex cores. *Revista esp. Micropal.*, **1**, 249-292.
- Bukry D., M. N. Bramlette (1968). Stratigraphic significance of two genera of Tertiary calcareous nannofossils. *Tulane Stud. in Geol.*, **6**, 4, 149-155.
- CLIMAP Project Members (1976). Glacial North Atlantic 18 000 years ago : a CLIMAP reconstruction. *Mem. Geolog. Soc. Am.*, **145**, 43-75.
- CLIMAP Project Members (1984). The last Interglacial Ocean. *Quaternary Research*, **21**, 123-224.
- Deflandre G., Ch. Fert (1954). Observations sur les Coccolithophoridés actuels et fossiles en microscopie ordinaire et électronique. *Ann. Paléont.*, **40**, 115-176.
- Dudley W. C., C. S. Nelson (1989). Quaternary surface-water stable isotope signal from calcareous nannofossils at DSDP Site 593, Southern Tasman Sea. *Mar. Micropal.*, **13**, 353-373.
- Duplessy J. C., G. Delibrias, J. L. Turon, C. Pujol, J. Duprat (1981). Deglacial warming of the Northeastern Atlantic Ocean. Correlation with the paleoclimatic evolution of the European continent. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **35**, 121-144.
- Emiliani C. (1972). Quaternary paleotemperatures and the duration of the high-temperature intervals. *Science*, **178**, 398-401.
- Ericson D. B., G. Wollin (1970). Pleistocene climates in the Atlantic and Pacific Ocean : a comparison based on deep-sea sediments. *Science*, **167**, 1483-1485.
- Fairbanks R. G., M. Sverdrlove, R. Free, P. H. Wiebe, A. W. H. Bé (1982). Vertical distribution and isotopic fractionation of living planktonic foraminifera from the Panama basin. *Nature*, **298**, 841-844.
- Gaarder K. R. (1970). Three new taxa of Coccolithineae. *Nytt Mag. for Bot.*, **17**, 2, 113-126.
- Gartner S. (1967). Calcareous nannofossils from Neogene of Trinidad, Jamaica and Gulf of Mexico. *Paleont. Contrib. Univ. Kansas*, **29**, 1-7, pls 1-10.
- Gartner S. (1972). Late Pleistocene calcareous nannofossils in the Caribbean and their interoceanic correlation. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **12**, 169-191.
- Gartner S. (1977). Calcareous nannofossil biostratigraphy and revised zonation of the Pleistocene. *Mar. Micropal.*, **2**, 1-125.
- Geitzenauer K. R., M. B. Roche, A. Mac Intyre (1976). Modern Pacific coccolith assemblages : derivation and application to Late Pleistocene paleotemperature analysis. *Mem. Geol. Soc. Am.*, **145**, 423-448.
- Hay W.W. (1977). Calcareous nannofossils, in : *Oceanic Micropaleontology* edited by A. T. S. Ramsay, Academic Press, New York, **2**, 1055-1200.
- Hay W.W., H.P. Mohler, P. H. Roth, R. R. Schmidt, J. E. Boudreaux (1967). Calcareous nannoplankton zonation of the Cenozoic of the Gulf Coast and Caribbean-Antillean area and transoceanic correlation. *Trans. of the Gulf Coast Assoc. of Geol. Soc.*, **XVII**, 428-480.
- Hemleben C., M. Spindler (1983). Recent advances in research on living planktonic Foraminifera, in: Reconstruction of marine paleoenvironments, ed. J. E. Meulenkamp, *Utrecht Micropal. bull.*, **30**, 141-170.
- Honjo S., H. Okada (1974). Community structure of coccolithophores in the photic layer of the mid-Pacific. *Micropaleontology*, **20**, 2, 209-230.
- Imbrie J., N. G. Kipp (1971). A new micropaleontological method for quantitative paleoclimatology: application to a Late Pleistocene Caribbean core, in: *The late Cenozoic glacial ages*, ed. K. K. Turekian, New Haven, Yale Univ. Press. 71-181 pp.
- Imbrie J., J. van Donk, N. G. Kipp (1973). Paleoclimatic investigation of a late Pleistocene Caribbean deep-sea core: comparison of isotopic and faunal methods. *Quaternary Research*, **3**, 10-38.
- Imbrie J. et al (1984). The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine δ 18 record, in Milankovitch and climate, ed. A. L. Berger, NASO ASI série C : Math. et phys. Sci., **126**, 269-305.
- Jones J. I. (1971). The ecology and distribution of living planktonic Foraminifera in the straits of Florida, *Mem. Geol. Soc. Miami*, **1**, 175-191.
- Kamptner E. (1941). Die Coccolithineen der Südwestküste von Istrien. *Ann. natur hist. Mus. Wien*, **51**, 54-149.
- Kamptner E. (1943). Zur Revision der Coccolithineen-Spezies *Pontosphaera huxleyi* Lohm., *Anz. Akad. Wiss. Wien, Math. Naturw. KI*, **80**, 11, 43-49.
- Kamptner E. (1950). Ueber den submikroskopischen Aufbau der Coccolithineen, *Anz. Akad. Wiss. Wien, Math. Naturw. KI*, **86**, 77-80.
- Kennett J. P., P. Huddleston (1972). Abrupt climatic change at 90 000 yr B.P.: faunal evidence from Gulf of Mexico cores, *Quaternary Research*, **2**, 384-395.
- Klovan J. E., J. Imbrie (1971). An algorithm and Fortran IV program for large-scale Q-mode factor analysis and calculation of factor scores. *Math. Geol.*, **1**, 61-77.
- Lecal J. (1951). Recherches morphologiques et biologiques sur les coccolithophoridés Nord Africains, *Ann. Inst. Oceanogr. Monaco*, **26**, 255-362.
- Loeblich A. R. Jr, H. Tappan (1969). Annotated index and bibliography of the calcareous nannoplankton III, *J. Paleontol.*, **43**, 568-588.
- Loeblich A. R. Jr, H. Tappan (1970 a). Annotated index and bibliography of the calcareous nannoplankton IV, *J. Paleontol.*, **44**, 558-574.
- Loeblich A. R. Jr, H. Tappan (1970 b) Annotated index and bibliography of the calcareous nannoplankton V, *Phycologia*, **9**, 157-174.
- Loeblich A. R. Jr, H. Tappan (1971). Annotated index and bibliography of the calcareous nannoplankton VI, *Phycologia*, **10**, 309-339.
- Lohmann H. (1902). Die Coccolithophoridae, eine Monographie der Coccolithinen bildenden Flagellaten, zugleich ein Beitrag zur Kenntnis des Mittelmeerauftriebs, *Arch. Protistenk.*, **1**, 89-165.
- Matsuoka H., H. Okada (1989). Quantitative analysis of Quaternary nannoplankton in the Subtropical Northwestern Pacific Ocean, *Mar. Micropal.*, **14**, 97-118.
- Mac Intyre A., A.W.H. Bé (1967). Modern Coccolithophoridae of the Atlantic Ocean, placoliths and cyrtoliths, *Deep Sea*

Research, **14**, 561-597.

Mac Intyre A., A. W. H. Bé, M.B. Roche (1970). Modern Pacific Coccolithophorida: a paleontological thermometer, *Trans. of the New York Acad. of Science*, **32**, 6, 720-731.

Mac Intyre A., W. F. Ruddiman, A. C. Mix (1989). Surface water response of the Equatorial Atlantic Ocean to orbital forcing. *Paleoceanography*, **4**, 1, 19-55.

Molfino B., N. G. Kipp, J. J. Morley (1982). Comparison of foraminiferal, coccolithophorid and radiolarian paleotemperature equations: assemblage coherency and estimate concordancy. *Quaternary Research*, **17**, 279-313.

Morley J. J. (1989). Radiolarian-based Transfer Functions for estimating paleoceanographic conditions in the South Indian Ocean. *Mar. Micropal.* **13**, 293-307.

Okada H., S. Honjo (1973). The distribution of oceanic coccolithophorids in the Pacific. *Deep Sea Research*, **20**, 355-374.

Okada H., A. Mac Intyre (1977). Modern coccolithophores of the Pacific and North Atlantic Oceans. *Micropaleontology*, **23**, 1-55.

Perch-Nielsen K. (1985). Cenozoic calcareous nannofossils, in: *Plankton stratigraphy*, Vol 1, ed. H. M. Bolli, J. B. Saunders, K. Perch-Nielsen, Cambridge Univ. Press, 427-555.

Perlroth I. (1971). Distribution of Mass in the near surface waters of the Caribbean, in: *Symp. on Invest and Resources of the Car. Sea and Adjacent Reg.*, ed. UNESCO, Paris, 545pp.

Pichon J. J., M. Labracherie, L. D. Labeyrie, J. Duprat (1987). Transfer Function between diatom assemblages and surface hydrology in the southern Ocean, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **61**, 79-95.

Prell W. L. (1974). Late Pleistocene faunal, sedimentary and temperature history of the Colombia Basin, Caribbean Sea, Ph. D. dissert., New York, Columbia Univ., 400pp.

Prell W. L. (1982). Oxygen and carbon isotope stratigraphy for the Quaternary of Hole 502B: evidence for two modes of isotopic variability, in: *Init. Repts. DSDP*, **68**, ed. W. L. Prell, J. V. Gardner *et al.*, US Govt, Printing Office, Washington D. C., 455-464.

Prell W. L., J. D. Hays (1976). Late Pleistocene faunal and

temperature patterns of the Colombia Basin, Caribbean Sea, *Mem. Geol. Soc. Am.*, **145**, 201-220.

Pujos A. (1984). Quaternary nannofossils from Goban Spur, eastern North Atlantic Ocean, DSDP Holes 548 and 549 a, in: *Init. Repts. DSDP*, **80**, ed. P. C. de Gracianski, C. W. Poag *et al.*, US Govt Printing office, Washington D. C., 767-792.

Pujos A. (1985). Nannofossils from Quaternary deposits in the high-productivity area of the central equatorial Pacific, Deep Sea Drilling Project Leg 85, in: *Init. Repts. DSDP*, **85**, ed. L. Mayer, F. Theyer *et al.*, US Govt Printing Office, Washington D. C., 553-579.

Pujos A. (1988 a). Spatio-temporal distribution of some Quaternary coccoliths, *Oceanologica Acta*, **11**, 1, 65-77.

Pujos A. (1988 b). Stratigraphical and paleoecological distribution of calcareous nannofossils throughout the Quaternary in the Caribbean Sea, *Trans. of the 11th Caribbean Geol. Conf., Barbados*, **8**, 1-8: 14

Roche M. B., A. Mac Intyre, J. Imbrie (1975). Quantitative paleoceanography of the late Pleistocene-Holocene North Atlantic: coccolith evidence, in: *Late Neogene Epoch boundaries*, ed. T. Saito, L. Burckle, New York, Micropaleontology Press, 199-225.

Ruddiman W. F., A. Mac Intyre, V. Niebler-Hunt, J.T. Durrizi (1980). Oceanic evidence for the mechanism of rapid Northern hemisphere glaciation. *Quaternary Research*, **13**, 33-64.

Thierstein H. R., K. R. Geitzenauer, B. Molfino, N. J. Shackleton (1977). Global synchronicity of late Quaternary coccolith datum levels: validation by oxygen isotopes, *Geology*, **5**, 400-404.

U. S. Naval Oceanographic Office (1967). Oceanographic Atlas of the North Atlantic Ocean, Sec II, Physical properties, U. S. Naval Oceanogr. Office Pub., 700-300.

World ocean Atlas Members (1978). Atlantic and Indian Oceans, ed. S. G. Gorshkov, World Ocean Atlas. Pergamon Press, Oxford, 306pp.

Wüst G. (1964). Stratification and circulation in the Antillean-Caribbean basins, Columbia Univ. Press, New York, 201pp.