

Impact de la matière organique dans des zones de forte productivité sur certains foraminifères benthiques

Foraminifères benthiques
Upwelling
Matière organique
Rapport phéopigment/glucides
Atlantique nord-oriental
Benthic foraminifera
Upwelling
Organic matter
Pheopigment/Glucid ratio
NE Atlantic

Michelle-Hélène Caralp

Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine, Laboratoire associé au CNRS n° 197, Université de Bordeaux I, 351, cours de la Libération, 33405 Talence cedex.

Reçu le 27/12/83, révisé le 2/4/84, accepté le 16/4/84.

RÉSUMÉ

Une association particulière de foraminifères benthiques est mise en évidence dans des dépôts actuels ou quaternaire récent, qui témoignent d'une forte productivité (zone d'upwellings notamment) par la présence de radiolaires et diatomées abondantes.

Parmi les critères physico-chimiques susceptibles de provoquer le développement de cette association, l'élément déterminant paraît être l'arrivée au fond d'une matière organique d'origine essentiellement marine, ayant transité rapidement dans la colonne d'eau et se déposant sous une forme peu évoluée, comme le montrent les rapports phéopigments/glucides élevés dans les niveaux concernés. Ces résultats obtenus au large de la Mauritanie (Cap Blanc) intéressent plusieurs zones de l'Atlantique nord-oriental au cours du Quaternaire terminal et de l'Holocène. Ils sont extrapolables à des séries plus anciennes.

Oceanol. Acta, 1984, 7, 4, 509-515.

ABSTRACT

Impact of organic matter on benthic foraminifera found beneath highly intensive productive zones

A specific assemblage of benthic foraminifera, namely *Bulimina exilis*, *Melonis barleeanum* and *Chilostomella div. sp.*, was observed in sediments rich in radiolarians and diatoms: productivity indexes. This assemblage was detected in the NE Atlantic Ocean, at bathymetric depths ranging between 2000 and 2600 m, under varying latitudes (subarctic to subtropical) and within present-day, Holocene (Rockall basin: CH. 73134 - Faegas I), glacial (isotopic stage 2: KL 15 - Orgon III, W. Mauritania) and interglacial (isotopic stage 5: SU 8132, W. Portugal) deposits, i.e. within different climatic environments.

The physico-chemical parameters which may in all likelihood have favoured the development of this assemblage were the object of this survey. To this end, previous geochemical results published by Daumas *et al.* (1979) were used. These concern evaluations of core KL 15 (Orgon III) containing a succession of deposits which range between the Present and isotopic stage 2. Contrary to recent and Holocene observation, it was here established that an upwelling zone may characterize isotopic stage 2; this was substantiated by the abundance of radiolarians and diatoms (Labracherie *et al.*, 1983), which suggests intense productivity.

Organic matter evolution—a direct product of this intensive surface productivity—is characterized by the Pheopigment/Glucid ratio. During isotopic stage 2, which is itself marked out by the specific assemblage and the development of upwelling, the value of this ratio is high, which suggests a poor evolution of the organic matter. During the Holocene and the Present, where there is no evidence of upwelling, the values of this ratio are lower.

A relationships is consequently proposed between the specific quality of the organic matter (marine origin, deposited very rapidly, within days or weeks on the bottom and found in highly intensive productive zones, especially upwelling zones) and the

development of the specific benthic assemblage. The quality/development relationship must be evident at different bathymetric levels in other geographic regions. The above results may be of great use in paleohydrologic reconstruction.

Oceanol. Acta, 1984, 7, 4, 509-515.

INTRODUCTION

La recherche de critères utilisables pour la reconstitution des caractéristiques physico-chimiques des environnements anciens, ou de traceurs fiables, est un objectif fondamental en paléontologie. Parmi ces derniers, les traceurs biologiques sont des moyens indirects mais souvent précis d'estimer tel ou tel critère du milieu.

On sait que les foraminifères benthiques sont capables d'une remarquable adaptation aux conditions de leur environnement, et cela au niveau des associations fauniques ou même au niveau spécifique. Des corrélations entre des paramètres du milieu et certaines réponses des foraminifères benthiques ont pu être mises en évidence. Diverses études ont montré (Lohmann, 1978; Schnitker, 1979 et 1980) des corrélations avec des masses d'eaux (T° , $S^{\circ}/_{00}$, O_2), puis avec le taux d'oxygène dissous (Streeter, Shackleton, 1979), la pression hydrostatique et la température de l'eau de fond (Belanger, Streeter, 1980), le degré de saturation de l'eau en carbonate de calcium (Bremer, Lohmann, 1982). Miller et Lohmann (1982) mettent en évidence deux types de relation foraminifères benthiques-milieu, le long de la côte Est de l'Amérique du Nord (sud-est du Cap Code), l'une intéresse une association à *Globobulimina* et *Bulimina aculeata* avec la zone à oxygène minimum; l'autre corrèle l'association à *Uvigerina* avec les dépôts présentant les fortes valeurs du pourcentage de silts et du taux de carbone organique. Au Sud de cette même région, Sen Gupta et Strickert (1982) montrent le lien entre un substrat riche en silt, carbone organique, hydrocarbure et l'abondance spectaculaire de l'espèce *Bolivina subaenariensis* dans une zone marquée par des upwellings périodiques.

Ces études ont l'intérêt de signaler l'influence du taux de carbone organique sur les associations benthiques. Toutefois, il ne semble pas que les travaux effectués dans cette optique de recherches aient essayé de montrer l'influence de la nature même de la matière organique et de celle de ses constituants biochimiques sur le développement d'une microfaune benthique. Pourtant cette matière organique est un élément important (Strakhov, 1969; Vigneaux *et al.*, 1980) parmi les constituants des sédiments marins. Elle est en fait complexe puisque ayant deux origines, l'une marine autochtone, l'autre continentale et donc allochtone, avec des temps de résidence variables dans la masse d'eau. L'utilisation de matière organique par des organismes benthiques (Thiel, 1978) peut donc être logiquement conditionnée par sa qualité initiale et par le degré d'évolution atteint à son arrivée au niveau du fond. On sait par ailleurs (Summerhayes, 1983) que les upwellings provoquent en surface une augmentation importante de la productivité primaire et donc de la proportion de matière organique marine susceptible d'être amenée au fond. Nichols et

Rowe (1977) ont précisément montré le lien existant entre cette augmentation de la productivité et les fortes densités fauniques benthiques à l'aplomb des zones d'upwelling du Cap Blanc (Ouest Afrique).

Afin de montrer comment, dans des zones de fortes productivités, la matière organique provoque le développement d'une association particulière de foraminifères benthiques, trois carottes implantées dans un même domaine bathymétrique en Atlantique Nord (fig. 1) ont été analysées :

— CEPAG-SU 8132 : 42°06'2N - 9°47'W, 2280 m de profondeur;

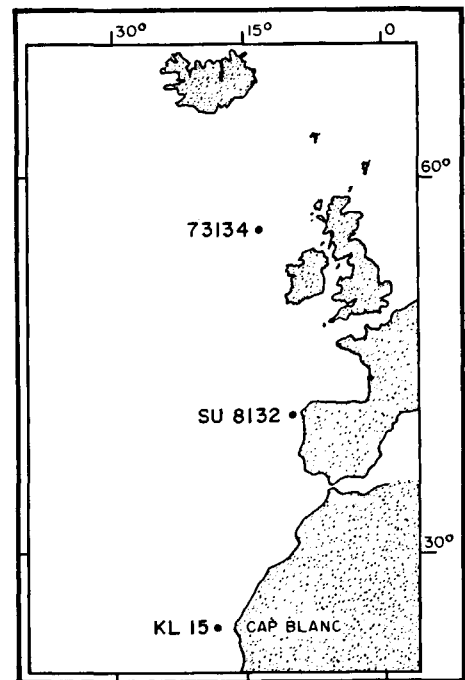


Figure 1
Localisation des carottes étudiées.
Location of studied cores.

— FAEGAS I-CH 73134 : 56°31'N - 13°15'W, 2300 m de profondeur;

— ORGON III-KL 15 : 20°59'2N - 18°29'3W, 2552 m de profondeur.

Les associations de foraminifères benthiques calcaires triés et comptés dans la fraction granulométrique $> 250 \mu\text{m}$ (Lohmann, 1978) correspondent à 10 g de sédiment brut.

RÉSULTATS

Mise en évidence d'une association particulière de foraminifères benthiques

Située à l'Ouest du Portugal, la carotte SU 8132 a livré une succession de dépôts matérialisant en 7,40 m la

période de temps comprise entre les stades isotopiques 1 à 6 (Duprat, 1983; Turon, 1984).

La succession de diverses associations de foraminifères benthiques calcaires recueillis témoigne, au cours de ce dernier cycle climatique, de variations paléohydrologiques telles que la présence d'une eau comparable à l'eau Nord Atlantique de fond (N.A.D.W.) à la partie moyenne du stade 5 (dernier interglaciaire) et à la partie inférieure du stade 1 (Holocène), d'eaux moins bien oxygénées au cours du stade 3 ou nutritivement pauvres dans les stades 4 et 2 (glaciaires).

A la base de la carotte deux associations de foraminifères benthiques (fig. 2) peuvent être différenciées :

— au stade isotopique 6 (glaciaire), une association dominée par *Globulimina div. sp.* et *Uvigerina peregrina*, formes témoignant de la présence au fond d'une eau à oxygénation diminuée (Mullineaux, et Lohmann, 1981) auxquelles s'ajoutent de rares *Planulina wuellerstorfi*, espèce liée à des eaux de type N.A.D.W. (Lohmann, 1978; Lutze, 1979);

— à la base du stade isotopique 5 (partie inférieure du stade 5e); (Turon, 1984), une association de foraminifères benthiques moyennement riche mais tout à fait particulière, avec des pourcentages importants des espèces suivantes : *Bulimina exilis*, *Chilostomella ovoidea* et *Melonis barleeanum*. Les espèces citées au stade 6 disparaissent, à l'exception des *Globobulimina* persistant en pourcentage réduit;

— au-dessus, à la partie supérieure du stade 5e, exclusivement les espèces liées à N.A.D.W. (*P. wuellerstorfi* et *C. kullenbergi*).

Outre le développement d'une association benthique particulière, les dépôts de la partie inférieure du stade isotopique 5e dans la carotte SU 8132 se singularisent par la présence de diatomées et de radiolaires très abondantes dans les mêmes horizons (6,30 à 6,60 m), ce qui est l'indice d'une forte productivité pouvant être la conséquence de phénomènes d'upwellings.

On peut alors supposer l'existence d'une relation plus ou moins directe entre les deux observations : association originale de foraminifères benthiques, présence de diatomées et radiolaires. Afin d'étayer cette hypothèse, plusieurs types de vérifications ont été faits.

Lien de l'association faunique *Bulimina exilis* avec des zones de forte productivité

*Recherche de l'association à *Bulimina exilis* dans des sédiments actuels et holocènes*

La carotte 73134 est implantée dans la partie Sud de la zone du Bassin de Rockall caractérisée actuellement par de fortes concentrations en silice, indice d'une forte productivité (Reid, 1979). Remarquable par la richesse en diatomées (Barde, 1981) et radiolaires (Labracherie, 1978), le niveau de surface d'âge holocène tout à fait terminal (Pujol *et al.*, 1974) est marqué (fig. 3) par

Figure 2

Pourcentage de quelques foraminifères benthiques et répartition du plancton siliceux dans la carotte Cepag SU 8132.

Various benthic foraminifera percentages and distribution of siliceous plankton in core Cepag SU 8132.

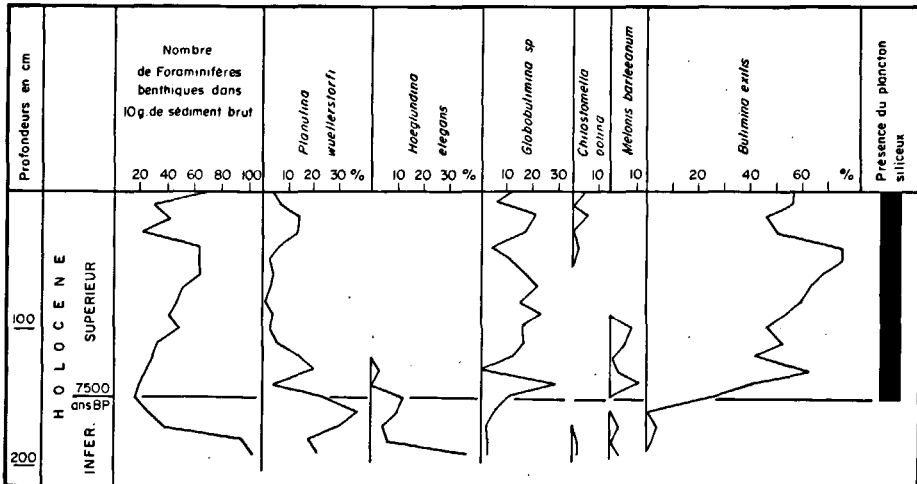
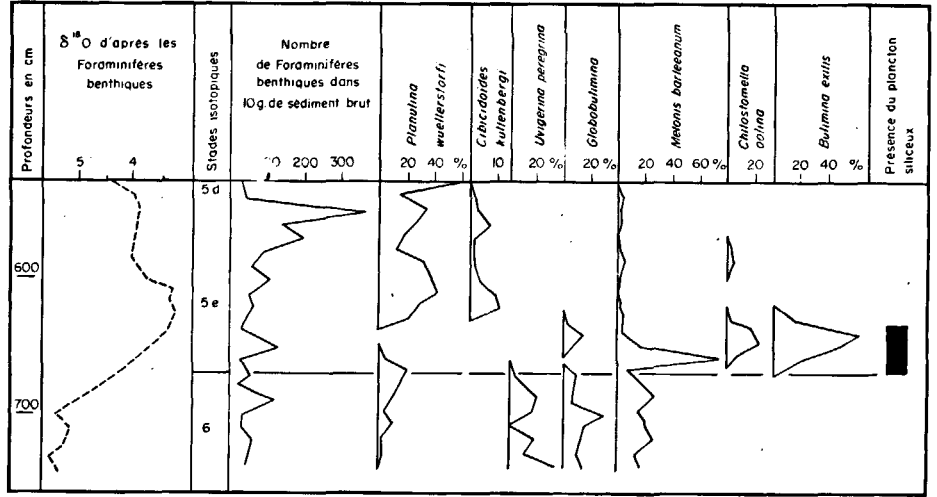


Figure 3

Pourcentage de quelques foraminifères benthiques et répartition du plancton siliceux dans l'holocène de la carotte Faegas I-CH. 73134.

Various benthic foraminifera percentages and distribution of siliceous plankton in holocene and present day core Faegas I-CH. 73134.

l'extrême abondance des *Bulimina exilis* (55% de l'association) auxquels se joignent quelques *Chilostomella oolina*. Le groupe des *Globobulimina* est présent (15%) ainsi que quelques rares *Planulina wuellerstorfi* (3%).

Cette association, représentative des conditions actuelles dans cette région, est retrouvée dans l'ensemble des dépôts holocènes supérieur de la carotte (fig. 3), soit de la surface à 1,50 m de profondeur, avec des pourcentages variant mais toujours fort pour *B. exilis* et la présence non négligeable de *Melonis barleeanum*. Les radiolaires et diatomées y existent également, témoignant bien d'une forte productivité.

En conclusion, dans des horizons holocène supérieur et actuel de l'Atlantique nord oriental, se note la simultanéité entre les indices de forte productivité et le développement de faune benthique particulière déjà mise en évidence à la base du stade 5e au large du Portugal.

Recherche de zones d'upwelling, indice de forte productivité

Le long des côtes mauritaniennes, à la latitude du Cap Blanc, existe à l'époque actuelle une zone d'upwelling. D'après des travaux portant sur les diatomées et radiolaires dans cette zone (Labracherie, 1980 a et b, 1983), on sait que, immédiatement après le maximum glaciaire (stade 2 : 18 000 ans B.P.), cette zone d'upwelling a été plus active et plus étendue qu'actuellement : c'est précisément ce que montre la carotte KL 15 (Pelet, 1979; Labracherie et al., 1983).

L'examen des faunes de foraminifères benthiques dans cette section indique (fig. 4) la présence des espèces telles que *Bulimina exilis*, *Chilostomella ovoidea*, *Melonis Barleeanum* en pourcentages importants dans la période de temps correspondant d'une part au développement numérique maximum des diatomées et radiolaires, d'autre part à une grande abondance de pelotes fécales (entre 1,60 et 3,70 m). Au-dessus (de 0 à 1,60 m) se développe une association faunique différente comprenant des espèces liées à l'eau de type N.A.D.W., les radiolaires et diatomées étant très peu représentées. Une répartition faunique tout à fait comparable est

rapportée par Haake (1980) le long de la carotte Kern 13292, implantée dans la même zone géographique et bathymétrique.

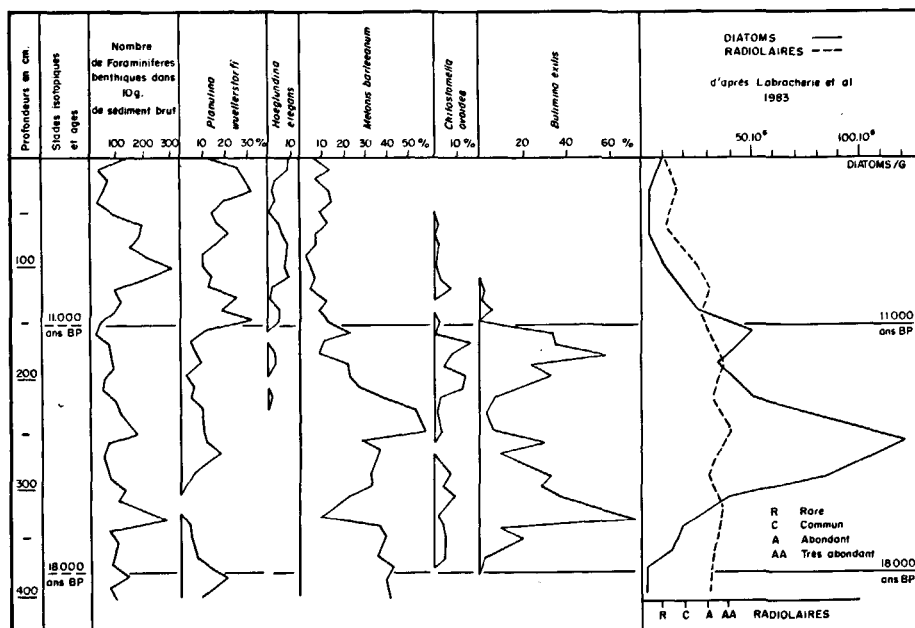
Le synchronisme du développement de l'association à *B. exilis* et des diatomées et radiolaires est donc à nouveau remarquable dans cette zone d'upwellings.

Les résultats présentés portent donc sur trois carottes situées à des profondeurs bathymétriques voisines (entre 2 200 et 2 500 m), mais dans trois zones géographiques distinctes. La relation observée intéresse trois périodes stratigraphiques différentes qui sont caractérisées par des conditions climatiques opposées; elle possède donc une certaine constance, à la fois dans le temps et dans l'espace, puisque les associations à *B. exilis* ne se développent que dans un contexte de forte productivité. Or, les connaissances actuelles sur les critères influençant la répartition des espèces constitutives de l'association faunique particulière, sont assez restreintes.

73134	Bassin de Rockall	Actuel et Holocène supérieur
8132	Large du Portugal	Stade isotopique 5e
KL 15	Ouest Afrique	Stade isotopique 2

Bulimina exilis est peu fréquente dans les dépôts pléistocène et holocène. Décrite par Brady (1884) entre 1 000 et 3 000 brasses en Atlantique Nord et dans le Pacifique, cette espèce est trouvée par Haake (1980) dans du Quaternaire au large de l'Afrique occidentale, puis par Setty et Nigam (1980) dans la zone d'upwelling (Setty, 1983) de la plate-forme continentale à l'Ouest de l'Inde sur un substrat vaseux. Rodriguez et Hooper (1982) la recueillent entre 400 et 520 m dans le Golfe du Saint-Laurent où elle représente 25% de l'association dans les eaux caractérisées par T° = 4,1 à 4,8°; salinité = 34,5 à 34,9 ‰ et O₂ dissous = 3 à 5 ml/l.

Figure 4
Pourcentages de quelques foraminifères benthiques et répartition du plancton siliceux dans la carotte XL 15-Orgon III.
Various benthic foraminifera percentage and distribution of siliceous plankton in core KL 15-Orgon III.



Melonis barleanum trouvée en abondance par Streeter et Shackleton (1979) dans des dépôts du stade isotopique 2 à l'est de la ride médio Atlantique indiquerait des eaux assez oxygénées provenant d'une source d'eau profonde située dans l'Atlantique Nord, mais différentes des sources d'eaux profondes actuelles. Schnitker (1979) la signale dans des environnements profonds de l'Atlantique Nord où $T^{\circ} = 2,6$ à $2,8^{\circ}$; salinité = $34,92$ à $34,93$ ‰ et O_2 dissous est < 6 ml/l. Corliss (1983) note également son abondance dans les dépôts glaciaires de l'Océan Indien Sud.

Chilostomella peut être interprétée depuis les travaux de Mullineaux et Lohmann (1981) comme tolérante à une oxygénation basse (niveaux pré-sapropéliques de Méditerranée), mais non nulle.

Ces informations n'expliquent pas la répartition de l'association faunique mise en évidence. Pour ce faire, il convient donc de comprendre le lien qui peut exister entre cette association faunique et une forte productivité.

DISCUSSION

La matière organique, élément nutritif pour les organismes benthiques, arrive au fond des océans au sein d'un fluc de matériaux principalement constitué de pelotes fécales (Mc Cave, 1975; Hinga *et al.*, 1979). Des études récentes apportent des précisions sur la rapidité de chute des particules le long de la colonne d'eau (Honjo, 1978; 1982). Billett *et al.* (1983) notent l'importance de la sédimentation *in situ* (Porcupine Seabight entre 1 300 et 4 100 m) lors du bloom printanier de plancton, sous forme de particules agglutinées et de pelotes fécales d'un diamètre de 2 à 5 mm. Le transport de matériel de la surface au fond est rapide, les diatomées arrivant à 2 000 m de profondeur en 2 à 3 semaines. Par ailleurs, Faubel *et al.* (1983) montrent en Mer du Nord l'augmentation du nombre de foraminifères et leur rapide reproduction au début de l'été, soit après le bloom de phytoplancton printanier. Ceci montre bien la réponse possible des foraminifères à une arrivée de matière organique. Ces types d'apport sont ceux qui intéressent actuellement et pendant l'holocène le secteur de la carotte CH 73134 étudiée ci-dessus.

A propos de zones de fortes productivités telles que les upwellings actuels, et donc analogues aux zones d'upwellings quaternaires décrites dans les carottes analysées (SU 8132, KL 15), Smith *et al.* (1983) montrent que la matière organique arrivant au fond n'a pas subi de dégradation substantielle d'ordre chimique ou biologique (lipides notamment). Peu utilisée dans la colonne d'eau par les organismes benthopélagiques, cette matière organique est alors disponible pour le benthos, étant donné le temps dont disposent ces derniers (Wishner, 1980). Outre les fortes densités fauniques benthiques connues à l'aplomb des zones d'upwellings (Nichols, Rowe, 1977), Stockton et Delaca (1982)

montrent que les chutes de nourriture peuvent provoquer des hétérogénéités spatio-temporelles qui influencent la diversité et la stabilité des associations.

Il ressort donc des travaux récents que, dans les zones de fortes productivités saisonnières (Billett *et al.*, 1983) ou liées à des upwellings (Smith *et al.*, 1983), la matière organique arrive rapidement à des profondeurs de 2 000 à 3 000 m (Honjo, 1982) et cela sous une forme peu dégradée (Smith *et al.*, 1983).

Les résultats de Daumas *et al.* (1979), relatifs à des mesures des taux de divers constituants biochimiques de la matière organique faites sur les dépôts de la carotte KL 15, permettent de confirmer les hypothèses sur les causes du développement de l'association à *Bulimina exilis*. Dans la zone où est prélevée la carotte KL 15 on sait que les apports de matière organique terrigène sont négligeables (Moyes *et al.*, 1979) relativement aux apports biogènes océaniques.

Le rapport R (phéopigments/glucides : tableau) témoigne (Daumas *et al.*, 1979) de la qualité de la matière organique, c'est-à-dire en fait de son plus ou moins grand degré d'évolution. Dans la carotte KL 15, les valeurs maxima de ce rapport se situent entre 2 et 3 m de profondeur, à savoir dans la zone marquée par le développement des diatomées, radiolaires et de l'association faunique à *Bulimina exilis* : les valeurs minima de R marquent la surface. Cela signifie que la matière organique arrivant au site KL 15 par 2 552 m de profondeur lors du dernier maximum glaciaire alors qu'un upwelling puissant se développe en surface, est chimiquement moins évoluée que celle arrivant actuellement dans ce site où l'upwelling n'est plus développé (Labracherie, 1980).

Tableau

Fraction organique des sédiments de la carotte KL 15, d'après Daumas *et al.* (1979), et valeur du rapport

$$R = \frac{\text{phéopigments } (\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})}{\text{glucides } (\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})} \times 100.$$

Organic fraction of sediments in core KL 15 (after Daumas *et al.*, 1979) and values for:

$$R = \frac{\text{pheopigments } (\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})}{\text{glucides } (\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})} \times 100.$$

KL 15	Glucides* $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Amines primaires $\mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}$	Phéopigments $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	R
0 à 2 cm	1 178	4.02	16.54	1.40
10 à 12 cm	837	3.38	18.33	2.19
20 à 22 cm	787	2.82	18.33	2.32
100 cm	492	2.12	7.59	1.54
200	532	1.42	22.06	4.15
300	607	1.74	19.97	3.28
400	327	1.20	9.58	2.98
500	447	1.56	6.73	2.14

* Exprimés en équivalent glucose.

Ces résultats suggèrent que ce qui provoque le développement d'associations particulières de foraminifères benthiques dans un contexte de forte productivité serait la qualité peu évoluée de la matière organique arrivant au fond, et donc riche d'un point de vue nutritif.

On sait en effet que ce n'est pas la seule quantité de matière organique arrivant au fond qui est en cause. Dans des environnements marqués par une abondante matière organique d'origine continentale ayant subi une évolution très poussée avant son arrivée au fond (Dumon, Grousset, 1977), des études antérieures (Mullineaux, Lohmann, 1981; Caralp *et al.*, 1981) ont montré que l'association à *Bulimina exilis* ne se développe pas et que seules subsistent des espèces tolérantes à un taux faible d'oxygène dissous.

CONCLUSIONS

De l'ensemble des résultats et discussions qui précèdent, les conclusions suivantes peuvent être dégagées :

1) Lorsqu'un sédiment prélevé dans une zone bathymétrique comprise entre 2 000 et 2 600 m environ, présente des indices d'une forte productivité en surface (radiolaires et diatomées abondantes, pelotes fécales nombreuses), une association particulière de foraminifères benthiques se développe au fond, et réciproquement.

2) Cette association comprend en fort pourcentage *Bulimina exilis* auxquels se joignent *Melonis barleeaanum* et *Chilostomella* sp. Ces deux dernières espèces peuvent être également trouvées hors des zones marquées par une forte productivité. En revanche, il semble que *Bulimina exilis* soit pratiquement limitée à ce contexte.

3) Ces relations sont vérifiées actuellement à l'échelle de l'Atlantique NO en surface et dans plusieurs stades climatiques du Pléistocène terminal (stades isotopiques 5, 2 et 1). Toutefois, ces relations ne sont pas dépendantes d'un épisode stratigraphique donné, mais plutôt du contexte climatique déterminant l'existence des upwellings (zone Ouest Mauritanie, zone Ouest Portugal), ou des zones à forte productivité (Bassin de Rockall).

4) Le lien existant entre une forte productivité et un microbenthos particulier est indirect et constitué par la matière organique marine abondamment produite en surface et tombant rapidement au fond dans les pelotes fécales le plus souvent et préférentiellement lors des blooms printaniers du plancton.

5) Il semble que c'est la qualité de cette matière organique qui induise l'épanouissement de l'association à *Bulimina exilis*. Les facteurs déterminants seraient ceux d'une matière organique d'origine marine, peu évoluée (rapport phéopigment/glucides fort : Daumas *et al.*, 1979). On sait par ailleurs qu'une matière organique d'origine continentale très évoluée ne favorise pas le développement de l'association à *Bulimina exilis*.

6) L'application de ces résultats à des sédiments anté-quatérnaires devrait permettre de retrouver d'anciennes zones à fortes productivités (upwellings).

7) Outre les applications paléoenvironnementales, ces résultats constituent un outil susceptible d'être utilisé dans l'étude des premiers centimètres des dépôts; le signal ainsi enregistré intègre plusieurs cycles de saisons ou d'années, ce qui pourrait permettre de localiser les aires d'influences des upwellings et leur évolution récente.

8) Dans cette optique et toujours dans les secteurs de forte productivité, il convient de rechercher maintenant les limites bathymétriques de l'association à *Bulimina exilis*, l'existence ou non d'autres associations témoignant du même phénomène dans d'autres conditions bathymétriques ou géographiques.

Annexe systématique

La liste qui suit correspond aux espèces citées dans le texte ou les figures. Les références indiquent les sources des concepts taxonomiques employés dans cette étude, et notamment des illustrations particulièrement adéquates.

Bulimina exilis Brady, Barker, 1960, pl. 50, fig. 5-6; Haake, 1980, pl. 2, fig. 23.

Chilostomella oolina Schwager, Ingle *et al.*, 1980, pl. 6, fig. 11-12.

Chilostomella ovoidea Reuss, Barker, 1960, pl. 55, fig. 15-16, 19 à 23.

Cibicidoides kullenbergi (Parker), Phleger *et al.*, 1953, pl. 11, fig. 7-8; Corliss, 1979, pl. 3, fig. 4-6.

Globobulimina div. sp. avec notamment *Globobulimina affinis* (d'Orbigny); Ingle *et al.*, 1980, pl. 4, fig. 10-11.

Melonis barleeaanum (Williamson), Pflum and Frerich, 1976, pl. 7, fig. 5-6; Corliss, 1979, pl. 2, fig. 7-8.

Planulina wuellerstorfi (Schwager), Lohmann, 1978, pl. 2, fig. 1-4; Corliss, 1979, pl. 2, fig. 13-16.

Uvigerina peregrina Cushman, Miller et Lohmann, 1982, pl. 1, fig. 11-12.

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre des recherches du Laboratoire Associé au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), ° 197. Je tiens à remercier plus particulièrement M. Daumas (ERA 223, Écologie et Biochimie microbiennes du Milieu marin), pour l'intérêt qu'il a porté à cette étude et pour ses remarques pertinentes et constructives sur le manuscrit. M. Pelet, responsable scientifique des opérations Orgon, et le Comité d'Études Géochimiques Marines (CEGMA), m'ont permis d'utiliser le matériel de la mission Orgon III; M. Duplessy (centre des Faibles Radioactivités de Gif-sur-Yvette) a mis le matériel de la mission CEPAG à ma disposition et a réalisé les mesures isotopiques utilisées; qu'ils en soient également remerciés.

RÉFÉRENCES

Barde M. F., 1981. Les diatomées des sédiments actuels et du Quaternaire de l'Atlantique nord-oriental. Intérêt hydrologique et climatique, *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine*, 29, 85-112.

Barker R. W., 1960. Taxonomic notes on the species figured by H. B. Brady in his report on the foraminifera dredged by H. M. S. Challenger during the years 1873-1876, *Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists, spec. publ.* 9, 238 p.

- Belanger P. E., Streeter S. S.**, 1980. Distribution and ecology of benthic foraminifera in the Norwegian-Greenland Sea, *Mar. Micropaleontol.*, **5**, 4, 401-428.
- Billett D. S. M., Lapitt R. J., Rice A. L., Mantoura R. F. C.**, 1983. Seasonal sedimentation of phytoplankton to the deep sea benthos, *Nature*, **302**, 59087, 520-522.
- Brady H. B.**, 1884. Report on the foraminifera dredged by H. S. Challenger during the years 1873-1876, *Report on the Scientific Results of the Exploring Voyage of H. S. Challenger, 1873-1877*, **9**, 1-814.
- Bremer M. L., Lohmann G. P.**, 1982. Evidence for primary control of the distribution of certain Atlantic Ocean benthic foraminifera by degree of carbonate saturation, *Deep-Sea Res.*, **29**, 8, 987-998.
- Caralp M. H., Grousset F., Moyes J., Peyrouquet J. P., Pujol C.**, 1982. L'environnement confiné du Golfe de Gascogne avant le maximum glaciaire, Actes Colloq. Inter. CNRS, n° 325, *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine*, 31-32, 411-422.
- Corliss B. H.**, 1979. Taxonomy of Recent deep-sea benthic foraminifera from the southeast Indian Ocean, *Micropaleontology*, **25**, 1, 1-19.
- Corliss B. H.**, 1983. Quaternary circulation of the Antarctic circumpolar current, *Deep-Sea Res.*, **30**, 1, 47-61.
- Daumas R., Laborde P., Romano J. C., Sautriot D.**, 1979. Distribution et évolution des constituants biochimiques de la matière organique dans les sédiments. Relations avec la composition des eaux interstitielles, in : *Géochimie organique des sédiments marins profonds, Orgon III, Mauritanie, Sénégal, Iles du Cap-Vert*, Ed. CNRS, Paris, 67-92.
- Deuser W. G., Brewer P. G., Jickells T. D., Comneau R. F.**, 1983. Biological control of the removal of abiogenic particles from the surface ocean, *Science*, **219**, 4583, 388-391.
- Dumon J.-C., Grousset F.**, 1977. Variations verticales de certains constituants et paramètres organiques dans deux colonnes sédimentaires d'âge Riss à Actuel (Golfe de Gascogne). Essai d'interprétation, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, **7**, 19, 2, 177-182.
- Duprat J.**, 1983. Les foraminifères planctoniques du Quaternaire terminal d'un domaine péricontinental (Golfe de Gascogne, côtes ouest-ibériques, mer d'Alboran) : écologie, biostratigraphie, *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine*, **33**, 71-150.
- Faubel A., Hartwig E., Thiel H.**, 1981. On the ecology of the benthos of sublittoral sediments, Fladen Ground, North Sea I. Meiofauna standing stock and estimation of production, *Meteor Forschungsergebnisse*, ser. D, **36**, 35-48.
- Haake F. W.**, 1980. Benthische Foraminiferen in Oberflächen-Sedimenten und Kernen des Ostatlantiks vor Senegal/Gambia (Westafrika), *Meteor Forschungsergebnisse*, ser. D, **32**, 1-29.
- Hinga K. R., Mc N. Sieburth J., Heath G. R.**, 1979. The supply and use of organic material at the deep sea floor, *J. Mar. Res.*, **37**, 557-579.
- Honjo S.**, 1978. Sedimentation of materials in the Sargasso Sea at a 5.367 m in deep station, *J. Mar. Res.*, **36**, 469-492.
- Honjo S.**, 1982. Seasonality and interaction of biogenic and lithogenic particulate flux at the Panama Basin, *Science*, **218**, 883-885.
- Ingle J. C., Keller G., Kolpack R. L.**, 1980. Benthic foraminifera biofacies sediments and water masses of the Southern Peru-Chile Trench area, Southeastern Pacific Ocean, *Micropaleontology*, **26**, 2, 113-150.
- Labracherie M.**, 1978. Distribution des thanatocénoses récentes de radiolaires dans l'Atlantique nord-oriental et le sud de la Mer de Norvège, *Boreas*, **7**, 205-213.
- Labracherie M.**, 1980a. Modifications de la circulation océanique au large du Cap Blanc (Afrique du Nord-Ouest) entre le dernier maximum glaciaire et l'époque actuelle. Apport des diatomées et des radiolaires, *C. R. Acad. Sci.*, Paris, **291**, 7, 601-604.
- Labracherie M.**, 1980b. Les radiolaires témoins de l'évolution hydrologique depuis le dernier maximum glaciaire au large du Cap Blanc (Afrique du Nord-Ouest), *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleocol.*, **32**, 163-184.
- Labracherie M., Barde M. F., Moyes J., Pujos-Lamy A.**, 1983. Variability of upwellings regimes (Northwest Africa and South Arabia) during the latest Pleistocene: a comparison, *Nato Advanced Research Institute on coastal upwelling and its sediment Record 1981*, Plenum Press, New York, Part B, 347-363.
- Lohmann G. P.**, 1978. Abyssal benthic foraminifera as hydrographic indicators in the Western South Atlantic Ocean, *J. Foraminifer Res.*, **8**, 1, 6-34.
- Lutze G. F.**, 1979. Benthic foraminifera at site 397: faunal fluctuations and ranges in the Quaternary, *Initial Rep. Deep-Sea Drilling Project*, **47**, part. 1, n° 11, 419-431.
- Mc Cave I. N.**, 1975. Vertical flux of particles in the ocean, *Deep-Sea Res.*, **22**, 491-502.
- Miller K. G., Lohmann G. P.**, 1982. Environmental distribution of Recent benthic foraminifera on the Northeast United States continental slope, *Geol. Soc. Am. Bull.*, **93**, 200-206.
- Moyes J., Duplantier F., Duprat J., Faugères J.-C., Pujol C., Pujos-Lamy A., Tastet J. P.**, 1979. Étude stratigraphique et sédimentologique, in : *Géochimie organique des sédiments marins profonds Orgon III : Iles du Cap-Vert*, Ed. CNRS, Paris, 121-213.
- Mullineaux L. S., Lohmann G. P.**, 1981. Late Quaternary stagnations and recirculation of the Eastern Mediterranean: changes in the deep water recorded by fossil benthic foraminifera, *J. Foraminifer. Res.*, **2**, 1, 20-39.
- Nichols J., Rowe G. T.**, 1977. Infaunal macrobenthos off Cap-Blanc, Spanish Sahara, *J. Mar. Res.*, **35**, 3, 525-536.
- Pelet R.**, 1979. Géochimie organique des sédiments marins profonds au large de la Mauritanie et du Sénégal : vue d'ensemble, in : *Géochimie organique des sédiments marins profonds Orgon III : Mauritanie, Sénégal, Iles du Cap Vert*, Ed. CNRS, Paris, 425-441.
- Pflum C. E., Frerich W. E.**, 1976. Gulf of Mexico deep-water foraminifers, *J. Foraminifer. Res., Spec. Publ.*, **14**, 125 p.
- Phleger F. B., Parker F. L., Peirson J. F.**, 1953. *North Atlantic Foraminifera. Reports of the Swedish Deep Sea Expedition, vol. VII, Sediments cores from the North Atlantic Ocean*, n° 2, Ed. Pettersson, Göteborg, 121 p.
- Pujol C., Duprat J., Gonthier E., Peyrouquet J.-P., Pujos-Lamy A.**, 1974. Résultats préliminaires de l'étude effectuée par l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine concernant la mission Faegas I (25 juin-17 juillet 1973) dans l'Atlantique Nord-Est, *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine*, **16**, 65-94.
- Reid J. L.**, 1979. On the contribution of the Mediterranean Sea out flow to the Norwegian-Greenland Sea, *Deep-Sea Res.*, **26A**, 1199-1223.
- Rodrigues C. G., Hooper K.**, 1982. Recent benthic foraminiferal associations from offshore environments in the Gulf of Saint-Lawrence, *J. Foraminifer. Res.*, **12**, 4, 327-352.
- Schnitker D.**, 1979. The deep waters of the western North Atlantic during the past 24000 years and the re-initiation of the western boundary undercurrent, *Mar. Micropaleontol.*, **4**, 3, 265-280.
- Schnitker D.**, 1980. Quaternary deep-sea benthic foraminifera and bottom water masses, *Annual Rev. Earth Planet. Sci.*, **8**, 343-370.
- Sen Gupta B. K., Strickert D. P.**, 1982. Living benthic foraminifera of the Florida-Hatteras slope: distribution trends and anomalies, *Geol. Soc. Am. Bull.*, **93**, 218-224.
- Setty M. C.**, 1983. Upwelling along the western Indian continental margin and its geological record: a summary, *Nato Advanced Research Institute on coastal upwelling and its sediment Record 1981*, Plenum Press, New York, part B, 201-213.
- Setty M. C., Nigam R.**, 1980. Microenvironments and anomalous benthic foraminiferal distribution within the neritic regime of Dabhol-Vengurla sector (Arabian Sea), *Riv. Ital. Paleontol. Strat.*, **86**, 2, 417-428.
- Smith D. J., Eglinton G., Morris R. J.**, 1983. Interfacial sediment and assessment of organic input from a highly productive water column, *Nature*, **304**, 259-262.
- Stockton W. L., Delaca T. E.**, 1982. Food falls in the deep sea: occurrence, quality and significance, *Deep-Sea Res.*, **29**, 2A, 157-169.
- Strakhov N. M.**, 1969. *Principles of lithogenesis*, Oliver and Boyle Ed., Edimburg, New York, vol. 2, 609 p.
- Streeter S. S., Sackleton N.**, 1979. Paleocirculation of the deep North Atlantic: 150.000 yr record of benthic foraminifera and oxygen, *Science*, **203**, 168-170.
- Summerhayes C. P.**, 1983. Sedimentation of organic matter in upwelling regime, in : *Coastal upwelling and its sediment record. Part B, Sedimentary records of Ancient coastal upwelling*, Plenum Press, New York and London, 29-72.
- Thiel H.**, 1978. Benthos in upwelling regions, in : *Upwelling ecosystems*, edited by R. Boje and M. Tomczak, Springer-Verlag, 124-138.
- Turon J. L.**, 1984. Direct landsea correlation in the last interglacial complex. Marine palynology evidence, *Nature*, **309**, 5970, 673-676.
- Vigneaux M., Dumon J. C., Faugères J.-C., Crousset F., Jouanneau J.-M., Latouche C., Poutiers J., Pujol C.**, 1980. Matières organiques et sédimentation en milieu marin, *Coll. Inter. CNRS, n° 293, Biogéochimie de la matière organique à l'interface eau-sédiment marin*, Ed. CNRS, Paris, 113-128.
- Wishner K. F.**, 1980. The biomass of the deep-sea benthopelagic plankton, *Deep-Sea Res.*, **27**, 3-4 A, 203-216.