

Apport à la connaissance de la paléohydrologie de l'Atlantique nord-oriental pendant le Quaternaire terminal

Atlantique nord-oriental
Paléohydrologie
Quaternaire
Microfaune
Géochimie
North-East Atlantic
Paleohydrology
Quaternary
Microfauna
Geochemistry

J. Alvinerie, M. Caralp, C. Latouche, J. Moyes, et M. Vigneaux
Institut de Géologie du bassin d'Aquitaine,
351, cours de la Libération, 33405 Talence.

Reçu le 27/7/77, révisé le 20/9/77, accepté le 3/10/77.

RÉSUMÉ

L'origine et les mécanismes de la sédimentation dans l'Actuel d'une part, et durant les différentes phases climatiques du Quaternaire d'autre part, permettent d'envisager les circulations océaniques anciennes. Dans ce but, la zone géographique choisie est le domaine de l'océan Atlantique nord-oriental, entre la mer de Norvège et le golfe de Gascogne, où diverses missions océanographiques (notamment la mission Faegas I, réalisée en 1973) ont permis la récolte d'un matériel abondant.

Les études effectuées ont porté principalement sur les microfaunes de Foraminifères planctoniques et sur la minéralogie et géochimie des dépôts. La répartition des éléments actuels obéit à la distribution des courants de surface et des courants de fonds connus à l'heure actuelle. On est alors conduit à proposer un modèle de mise en place des dépôts sous les conditions climatiques tempérées (interglaciaire Riss-Würm et Holocène) et glaciaires (Würm), et à interpréter l'origine et les mécanismes de la sédimentation en termes d'hydrologie et de paléohydrologie.

Il apparaît qu'au Würm, la distribution des sédiments et des faunes indique que les masses d'eaux n'ont pas la même répartition qu'en période chaude :

- le plongement des eaux froides au niveau du front polaire se fait à la latitude de la péninsule ibérique;
- la dérive Nord-Atlantique, alors limitée vers le Sud, n'influence pas la mer de Norvège;
- le ralentissement des apports d'eaux norvégiennes vers l'Atlantique est sensible dans la zone de Rockall.

Ainsi, l'étude conduit à interpréter les variations hydrologiques du bassin Nord-Atlantique au cours du Quaternaire terminal et, en ultime conséquence, à observer si les arguments recueillis en l'état actuel de nos connaissances permettent ou non d'envisager une inversion des courants au cours des périodes froides.

Oceanol. Acta, 1978, 1, 1, 87-98.

Contribution to the knowledge of the paleohydrology of the North-East Atlantic during the terminal quaternary period

ABSTRACT

Study of the origin and mechanisms of sedimentation during the Recent Epoch on the one hand, and at different climatic stages throughout the Quaternary Period on the other, makes it possible to consider the patterns of circulation of the ancient oceans. In this connexion, investigations have been carried out in the North-East Atlantic Ocean in a

zone située entre la mer de Norvège et la baie de Gascogne, où plusieurs missions océanographiques (surtout la mission Faegas I en 1973) ont permis de collecter une grande quantité de matériel sédimenté couvrant une période de quelque 125 000 ans, de l'Interglaciaire Riss-Würm à l'Holocène.

Les principaux sujets de recherche ont été la microfossiles planctoniques, la minéralogie et la géochimie des sédiments. Étant donné que la répartition actuelle des éléments majeurs et mineurs est conditionnée par la répartition des courants de surface et de fond, nous pouvons supposer une relation similaire entre sédimentation et circulation sous des conditions climatiques plus tempérées (Interglaciaire Riss-Würm) et glaciaires (Würm), et ainsi interpréter l'origine et les mécanismes de la sédimentation en termes de hydrologie et paléohydrologie.

Alors que les données fauniques et sédimentaires de l'Interglaciaire Riss-Würm sont très similaires à celles de l'Holocène et de la période récente, leur répartition pendant le Würm indique que la circulation des masses d'eau n'était pas la même sous des conditions glaciaires que sous des conditions climatiques tempérées :

- le plongement des eaux froides au niveau de la front polaire s'est produit à la latitude de la péninsule Ibérique;
- le courant atlantique nord, limité à l'époque vers le sud, n'a pas influencé la mer de Norvège;
- une perceptible décélération du flux d'eau de la mer de Norvège vers l'océan Atlantique s'est produite dans la zone du bassin de Rockall.

Cette étude conduit à une interprétation des variations hydrologiques dans l'océan Atlantique nord-oriental pendant la période Quaternaire terminale, et constitue une contribution au débat actuel concernant la possible inversion des courants sous des conditions climatiques froides.

Oceanol. Acta, 1978, 1, 1, 87-98.

INTRODUCTION

Il est bien connu que les dépôts marins quaternaires constituent des témoins des fluctuations climatiques récentes.

Si les variations de composition des sédiments correspondent souvent aux modifications des conditions d'altération et d'érosion sur les terres émergées avoisinantes, certaines d'entre elles ne peuvent cependant pas être expliquées par les seules modifications climatiques. C'est le cas en particulier des dépôts de la zone d'articulation entre la mer de Norvège et l'océan Atlantique. Pour les comprendre, il s'avère alors nécessaire de faire intervenir des changements de répartition des matériaux, c'est-à-dire de prendre simultanément en compte les données fondamentales de l'hydrologie (ordonnement des masses d'eau et des courants) et celles de la paléoclimatologie.

De ce fait, une étude judicieuse des dépôts marins sub-récents doit permettre d'aboutir à des reconstitutions non seulement paléoclimatiques, mais aussi paléohydrologiques comme cela a déjà été envisagé notamment par McIntyre et Ruddiman (1972), McIntyre, Ruddiman et Janssen (1972), Ruddiman et McIntyre (1973) et très récemment par Ruddiman et Bowles (1976), Ruddiman et McIntyre (1976).

Le problème posé consiste donc, à travers l'étude de successions d'âge quaternaire, à tenter de définir les conditions hydrologiques anciennes d'un domaine donné et cela par comparaison avec l'état actuel. En effet, dans un secteur géographique où l'on connaît d'une part les conditions hydrologiques actuelles et les caractéristiques de la sédimentation récente, il est possible de vérifier l'accord éventuel entre ces deux types d'informations.

Les caractéristiques de la sédimentation ancienne (phase glaciaire du Quaternaire, par exemple) étant analysées dans le même secteur géographique, il doit être possible de reconnaître des modifications du régime hydrologique par rapport à ce que l'on sait actuellement.

Le but de la présente note est de montrer comment, grâce à un choix raisonné de techniques d'analyses, il est possible de proposer un schéma de circulation des eaux dans l'océan Atlantique nord-oriental depuis l'Interglaciaire Riss-Würm (environ 125 000 ans) jusqu'à l'Actuel dans le système allant de la mer de Norvège jusqu'à la latitude du golfe de Gascogne, à l'Est de la ride médio-atlantique. Le matériel étudié (tableau 1) provient, pour la plus grande partie, des carottages prélevés au cours de la mission Faegas I (juin-juillet 1973) entre le golfe de Gascogne et les îles Faéroë (Pujol *et al.*, 1974). Des données antérieurement acquises (Berthois, Latouche, Parra, 1973) ou recueillies dans la littérature géologique (Barash, 1970; Kellogg, 1973; 1975 et 1976) ont également été reprises. En ce qui concerne le travail de Barash (1970) et celui de Kellogg (1973), les résultats analytiques ont été intégrés dans la partie micropaléontologique présentée ici.

Avant tout autre type d'études, le matériel utilisé dans la présente note a fait l'objet d'un examen stratigraphique détaillé (Pujol, Duprat *et al.*, 1974; Pujol, Caralp, 1974; Moyes *et al.*, 1974). C'est ainsi que l'analyse de la microfossiles planctoniques de Foraminifères basée soit sur la fréquence des diverses associations fauniques reconnues (Bé et Hamlin, 1967), soit sur le sens d'enroulement de certaines espèces (*Globigerina pachyderma*, notamment) a permis de mettre en évidence une succession de stades climatiques dans le Quaternaire récent.

Ces stades climatiques ainsi reconnus en Atlantique nord-oriental ont été définis en utilisant la terminologie mise au point dans le golfe de Gascogne (Caralp, 1971) sur la base de l'échelle stratigraphique préalablement établie sur le continent (Bordes, 1968).

De ce fait, sont utilisés dans le texte les termes d'Holocène (de 0 à 11 000 ans BP), de Würm (de 11 000 à 75 000 ans BP) et interglaciaire Riss-Würm (de 75 000 à 125 000 ans BP).

Si, au niveau des latitudes basses (45 à 55°N), il est possible au sein de la glaciation du Würm de reconnaître, d'après les variations des associations de Foraminifères planctoniques, des épisodes soit froids (Würm I, II, III, IV), soit tempérés froids (interstades correspondants), cette subdivision n'est plus possible au niveau des

hautes latitudes où l'on assiste à une homogénéisation des conditions climatiques au cours du Würm.

C'est pourquoi dans l'étude paléoclimatique et paléohydrologique qui suit, seul le terme de Würm a été employé, qui couvre alors l'ensemble de la glaciation.

Après un bref rappel des connaissances actuelles en matière hydrologique dans le domaine choisi, les résultats déduits de l'analyse des faunes de Foraminifères planctoniques, puis de l'analyse géochimique et minéralogique seront successivement exposés.

Une confrontation des données ainsi acquises conduit à quelques hypothèses sur la circulation océanique dans l'Atlantique nord-oriental au cours des 125 000 dernières années.

Tableau 1
Localisation des prélèvements. *Localization of sampling.*

Missions	Numéros des prélèvements	Latitude Nord	Longitude Ouest	Profondeur des prélèvements (m)	
Faegas, 1973 (I.G.B.A.)	F. KR 1 *	56° 19'	11° 33' 4	2 588	
	F. KR 2 *	58° 05' 2	10° 43'	2 005	
	F. KR 4 *	61° 58' 8	2° 30' 4	1 621	
	F. KR 5 *	63° 00' 7	1° 59' 2	1 608	
	F. KR 7 *	59° 15' 2	10° 13' 5	482	
	F. KR 10 *	55° 36'	14° 28' 8	2 216	
	F. KR 11 *	51° 29' 2	17° 41' 3	4 654	
	F. KR 12 *	50° 08' 9	17° 22' 1	4 787	
	73.110	59° 30' 2	8° 56' 3	1 366	
	73.111	60° 00' 5	8° 50' 8	1 062	
	73.115	60° 16'	6° 20' 2	1 040	
	73.118	60° 48'	4° 02' 9	1 060	
	73.119	61° 57' 5	2° 30'	1 608	
	73.120	62° 59' 5	1° 40' 3	955	
	73.121	63° 00' 7	1° 59' 2	1 896	
	73.122	63° 04' 2	4° 58' 1	2 205	
	73.124	61° 15' 6	7° 57' 1	838	
	73.128	58° 47' 8	11° 05' 7	1 841	
	73.134	56° 31' 3	13° 15' 1	2 300	
	73.139 c	54° 38' 2	16° 21' 3	2 209	
73.141	52° 52' 4	16° 30' 7	3 432		
73.147 b	48° 11' 9	15° 55' 2	4 207		
DR 3 *	62° 58' 2	5° 09' 6	1 995		
Geogas, 1972 (I.G.B.A.)	G. KR 1 *	47° 38' 1	08° 29' 2	1 925	
Gestlante III, 1969 (I.G.B.A.)	6 932	45° 24' 4	05° 09' 8	4 300	
Gestlante IV, 1972 (I.G.B.A.)	7 211	45° 06'	7° 56' 2	4 400	
Midlante A, 1972 (C.F.R.)	72.306	42° 13' 9	20° 52' 4	3 756	
Midlante, 1974 (I.G.B.A. et C.F.R.)	M. KR 12 *	36° 52'	26° 37'	2 380	
	M. KR 11 *	36° 21' 5	27° 22'	3 038	
Kellogg (1973)	V 28-25	76° 49' 00"	1° 20' 00" W	3 136	
	V 27-60	72° 11' 00"	8° 34' 48" E	2 525	
	V 27-47	68° 27' 42"	13° 32' 30" W	1 717	
	V 28-56	68° 02' 00"	6° 07' 00" W	2 941	
	V 27-86	66° 36' 24"	1° 07' 06" E	2 900	
	V 28-14	64° 47' 00"	29° 34' 00" W	1 855	
Barash (1970)	198	57° 48'	22° 51' W	1 200	
	66	40° 03' 60"	20° 18' 40" W	3 900	
Berthois (1973)	4 * }	Banc de Stockness			
	5 * }				
	6 *		51° 20'	11° 00'	380
	7 *		54° 00'	11° 00'	220
	8 *		56° 20'	8° 00'	220

* Prélèvements superficiels.

* *Superficial sampling.*

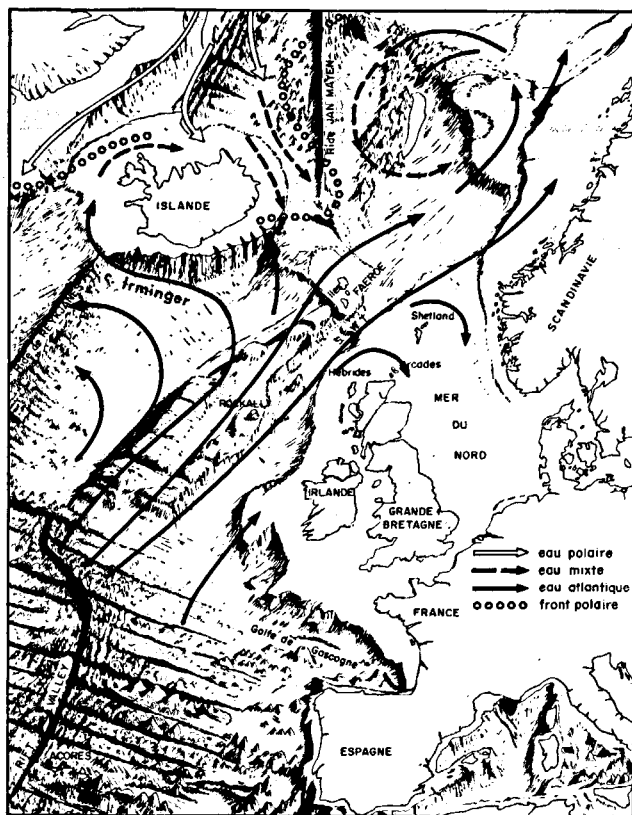


Figure 1
Courants de surface (d'après Berthois, Auffret, 1975, légèrement modifiée).
Surface currents (from Berthois, Auffret 1975, slightly modified).



Figure 2
Courants de fond (d'après Berthois, Auffret, 1975, modifiée).
Deep currents (from Berthois, Auffret, 1975, modified).

RAPPEL SUR L'HYDROLOGIE

Dans sa portion nord-orientale, l'océan Atlantique se trouve séparé des bassins nordiques (bassin de Groënland à l'Ouest, bassin de Norvège à l'Est) par le grand seuil dit de Wyville Thomson qui comprend le détroit de Danemark à l'Ouest et le seuil Faeroe Shetland à l'Est. L'un de ces bassins (Groenland) est occupé actuellement par une masse d'eau froide plongeant au niveau du front polaire arctique.

La région considérée est le siège d'une superposition complexe de courants de surface et de courants profonds ayant donné lieu depuis plusieurs décennies à diverses missions océanographiques suivies de publications très nombreuses dont nous rappellerons seulement les plus récentes : Dietrich (1957) assimile les eaux de surface du Sud de l'Islande au mélange des eaux issues du courant Nord-Atlantique et du courant d'Irminger (fig. 1). Steele *et al.* (1962) précisent la composition d'un courant profond repéré à l'Est de la ride de Reykjanes. Worthington (1962) puis Mann (1967) complètent les données sur la nature et le trajet du Gulf Stream. Plus récemment, Worthington (1970) introduit un élément nouveau dans les caractères hydrologiques des bassins nordiques en assimilant la mer de Norvège à un bassin presque fermé, analogue à une Méditerranée, et montre l'existence d'une source d'eau profonde froide en mer de Norvège.

Enfin, très récemment, Berthois et Auffret (1975), tout en reprenant les résultats antérieurs, précisent les directions des courants de fond et de surface qui circulent entre la ride de Reykjanes et le bassin européen. Ce sont ces résultats récents qui sont utilisés ici.

Les courants de surface

D'après Worthington (1970), le courant Nord-Atlantique constitué par des eaux provenant des basses latitudes a tendance à se diriger vers l'Est (force de Coriolis) et se trouve rejeté vers l'Écosse, les Hébrides, puis vers les côtes scandinaves. S'infléchissant vers l'Ouest dans le bassin de Norvège (Seuil d'Helgeland), il rencontre alors le front polaire du bassin du Groenland. Il se forme ainsi un immense tourbillon de sens de rotation rétrograde occupant la mer de Norvège. Vers l'Ouest, le courant Nord-Atlantique se heurtant au front polaire situé au niveau de l'Islande, contourne le Sud de cette île et se dirige vers l'Ouest (courant d'Irminger). Ces éléments sont illustrés par la figure 1 établie par Berthois et Auffret (1975) qui réalisent la synthèse des données antérieurement acquises (Helland-Hansen, Nansen, 1909; Tait, 1957; Dietrich, 1956; Fairbridge, Takashi Ichiye, 1966; Johnson, Heezen, 1967).

Les courants de fond

La carte bathymétrique établie par Berthois et Auffret (1975), en tenant compte non seulement des conditions bathymétriques, mais aussi des déviations des eaux dues à l'accélération de Coriolis, tend à définir ce que doivent être les courants de fond dans l'Atlantique nord-oriental, confirmant ainsi les résultats de Ellett et Roberts (1973).

Le document ainsi obtenu suggère un mode d'écoulement possible des eaux de la mer de Norvège vers l'Atlantique. Un certain nombre de seuils s'oppose à l'écoulement direct des eaux de fond. Les courants

empruntent alors diverses dépressions comme celle située entre les Faeroe et les Shetlands suivant un trajet assez complexe (fig. 2).

L'examen de ces trajets préférentiels suivis par les eaux de la mer de Norvège descendant en Atlantique, conduit à faire deux remarques :

- le passage obligé des eaux dans des chenaux ou des dépressions entre les hauts fonds constitue un obstacle à la sédimentation dans ces zones et, par conséquent, à l'entraînement des suspensions vers le Sud;
- la distribution des courants risque, au niveau des seuils, d'être modifiée en cas de changement des conditions climatiques.

DONNÉES FAUNIQUES

De nombreuses études, réalisées sur les Foraminifères planctoniques depuis une vingtaine d'années, ont montré que les associations fauniques varient avec la latitude et définissent, de ce fait, des provinces climatiques (Bé, Tolderlund, 1971).

Dans l'Atlantique nord-oriental, l'ensemble faunique peut être diversifié et, en fonction de la latitude, les espèces suivantes ont été reconnues : *Globigerina pachyderma*, *Globigerinita uvula*, *Globorotalia scitula*, *Globigerina quinqueloba*, *G. bulloïdes*, *Globorotalia inflata*, *Turborotalia humilis*, *Globorotalia hirsuta*, *G. truncatulinoïdes*, *G. crassaformis*, *Globigerinita digitata*, *Globigerina rubescens*, *Hasterigina siphonifera*, *Orbulina universa*, *Globigerinoïdes conglobatus*, *Globigerinita glutinata*, *Globigerinoïdes trilobus*, *G. ruber*.

Toutefois, *Globigerina pachyderma* est toujours abondante dans les associations froides à tempérées et, dans certains domaines, représente plus de 90 % de l'ensemble faunique. Or, on sait que la présence quasi exclusive de cette espèce a permis de définir une province faunique arctique. Aussi a-t-on utilisé, un peu arbitrairement, le taux supérieur à 90 % de *G. pachyderma* pour délimiter une province faunique froide et pour suivre, au cours du Quaternaire terminal, son extension.

De plus, la température optimale de vie des différentes espèces vivant dans les océans a été définie par différents auteurs (Imbrie, Kipp 1971; Lynts, Judd, 1971). Lynts et Judd utilisent cette information pour calculer la température de la tranche supérieure des eaux océaniques dans laquelle vivent ces organismes.

Diester-Haass *et al.* (1973) utilisent cette méthode sur deux carottes situées au large de l'Afrique et font les remarques suivantes : seules les formes vivant à une profondeur n'excédant pas 150 m peuvent être utilisées; la méthode ne tient pas compte de la dissolution sélective; le choix de la maille du tamis sur lequel est lavé l'échantillon est important; enfin, le choix de la température optimale est primordial. Compte tenu de ces observations, les carottes étudiées ont été prélevées au-dessus de la profondeur de compensation des carbonates et les lavages effectués sur un tamis de maille 100 µm. Le choix des paramètres optimaux (Giraudet, Pujol, 1976) est résumé dans le tableau ci-dessous; les valeurs utilisées

par Lynts et Judd (1971) et Diester-Haass *et al.* (1973) sont données à titre de comparaison.

Espèces	Giraudet	Lynts	Diester
	et Pujol (1976) T (C°)	et Judd (1971) T (C°)	Haass <i>et al.</i> (1973) T (C°)
<i>G. pachyderma f. senestre</i>	4	8,3- 9,4	} 14
<i>G. pachyderma f. dextre</i>	10	11 -15	
<i>G. uvula</i>	7	–	3,5 ou 7
<i>G. scitula</i>	8	–	8 ou 27,7
<i>G. quinqueloba</i>	11	–	11
<i>G. bulloïdes</i>	11	12 -14	11
<i>G. inflata</i>	16	13 -17	16
<i>T. humilis</i>	17	–	17
<i>G. hirsuta</i>	20	18 -21	20,2
<i>G. truncatulinoïdes</i>	20	18,8-21,5	20
<i>G. crassaformis</i>	23	16 -20	23
<i>G. digitata</i>	23	–	23
<i>G. rubescens</i>	23	–	23
<i>H. siphonifera</i>	23,5	–	23,5
<i>O. universa</i>	24	17,6-27,7	23,8
<i>G. conglobatus</i>	24	20,7-25,2	24
<i>G. glutinata</i>	25,5	11 -30	20 ou 28,8
<i>G. trilobus</i>	26	–	–
<i>G. ruber alba</i>	26,5	24 -25,2	26,6

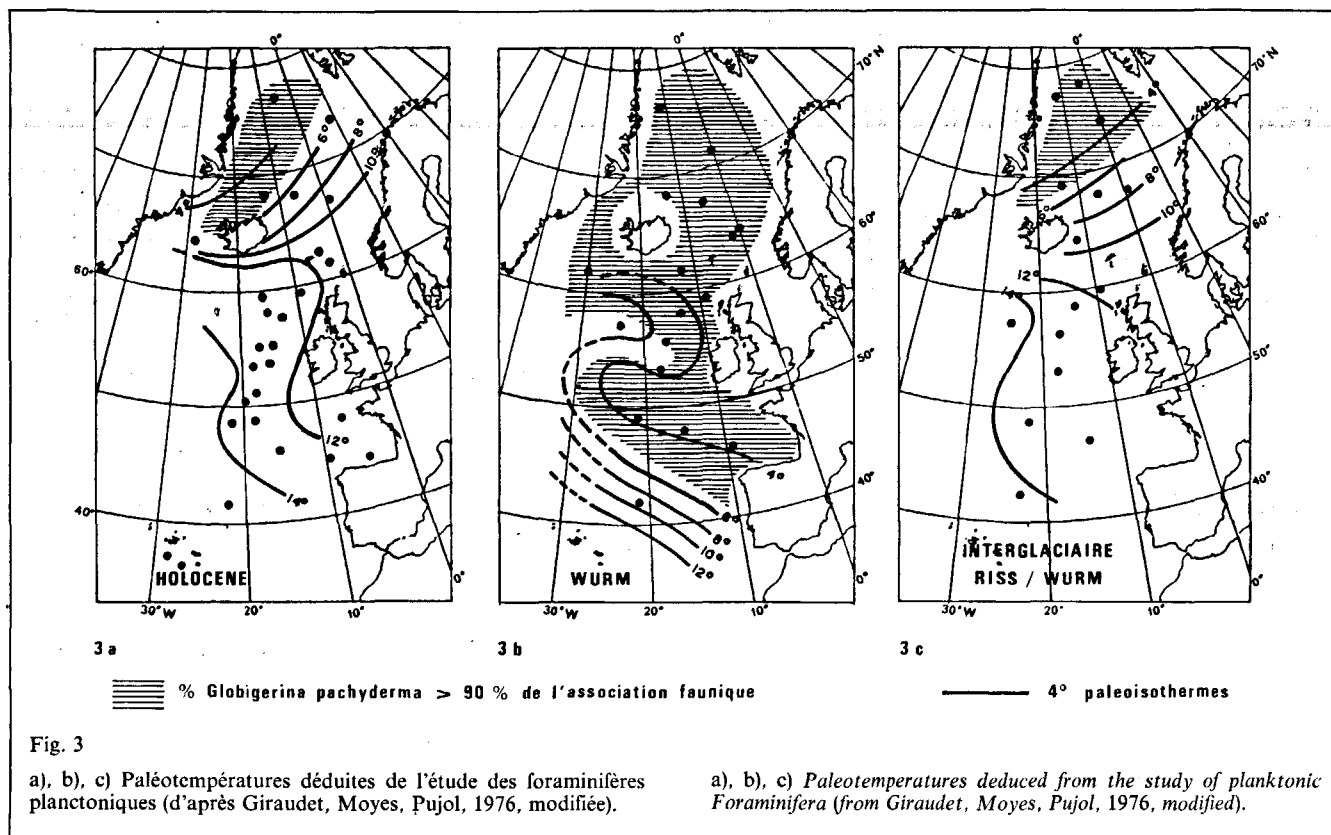
Dans l'ensemble, les températures choisies par Giraudet sont en harmonie avec celles de Lynts et de Diester-Haass, mais des différences sensibles apparaissent pour deux espèces :

– La première concerne l'espèce *Globigerina pachyderma*. Étant donné la position géographique de l'étude, Giraudet, comme Lynts, caractérise par des valeurs de température optimale différentes les formes dextre et senestre de cette espèce. Mais cet ensemble de valeurs, attribué à la forme senestre, a paru trop élevé pour caractériser les conditions optimales de vie de cette espèce arctique et il lui a été préféré la valeur optimale 4°C donnée par Bé et Tolderlund (1971).

Pour la forme dextre, 10°C a été choisi. Cette température appartient à l'intervalle optimal 10-18°C donné par Bé et Tolderlund (1971) et se situe entre les températures attribuées aux espèces *Globigerinita uvula* (7°C), *Globorotalia scitula* (8°C), *Globigerina quinqueloba* (11°C) et *Globigerina bulloïdes* (11°C) en compagnie desquelles elle est le plus souvent observée.

– La deuxième concerne l'espèce *Globigerinita glutinata*. Lynts et Judd (1971) attribue à cette espèce un vaste intervalle de température (11-30°C) tandis que Diester-Haass *et al.* (1973) signalent un désaccord entre les données écologiques des divers auteurs (20°C pour Bé, Tolderlund, 1971; 28,8°C pour Jones *et al.*, 1970). Giraudet et Pujol (1976) ont choisi 25,5°C, valeur moyenne de l'intervalle optimal (24-27°C) donné par Bé et Tolderlund (1971).

La formule de Lynts et Judd a été appliquée aux Foraminifères des sédiments superficiels recueillis par carottages. Auparavant, il a été vérifié (Pujol *et al.*, 1974) que, dans cette région, les Foraminifères des sédiments de surface sont représentatifs de la biocénose. La carte des isothermes calculés par cette méthode a été comparée à celle obtenue par des mesures directes (Dietrich, 1969). Elle montre une bonne concordance avec les cartes d'isothermes mesurées entre 50 et 150 m de profondeur.



Ce « test de validité » (Giraudet, Pujol, 1976) prouve qu'il est possible de construire — à partir des températures calculées — des cartes de paléoisothermes du Quaternaire terminal significatives.

Les provinces climatiques définies par les Foraminifères planctoniques correspondent à des masses d'eaux. Ainsi, la province faunique froide, définie par un taux supérieur à 90 % de *G. pachyderma* recouvre l'extension de l'eau arctique. Si l'on superpose (fig. 3 a) la carte de la province faunique froide et celle des isothermes, on s'aperçoit que la limite d'extension méridionale de cette province correspond à un gradient de température net qui peut matérialiser le front polaire. De plus, la déviation vers le Nord-Est des courbes d'isothermes souligne la présence, en bordure du continent européen, d'une eau chaude qui actuellement représente un bras de la dérive Nord-Atlantique. Les renseignements fournis par les Foraminifères planctoniques correspondent actuellement à une réalité hydrologique. Aussi avons-nous utilisé les méthodes basées sur ces microorganismes pour apporter des informations sur la paléohydrologie.

A l'Holocène, une province faunique arctique (fig. 3 a) couvre les régions septentrionales jusqu'à la latitude de 65°N environ. Mais, dans la partie orientale, l'extension de ce domaine s'arrête à des latitudes plus hautes. Au Sud, s'installe une succession de provinces fauniques subarctique puis transitionnelle et tempérée.

La province faunique arctique correspond à celle obtenue à partir des biocénoses de Foraminifères planctoniques (Bé, Tolderlund, 1971).

La carte des isothermes montre la présence d'une zone septentrionale à température basse ($t < 4^{\circ}\text{C}$), puis une

augmentation régulière et importante entre 70 et 66°N où la température passe de 4 à 10°C. Dans ce domaine, on note, pour une même latitude, une température plus élevée à l'Est. Dans la zone méridionale, l'isotherme 12°C passe au Sud de l'Islande, vers 60°N, puis s'infléchit vers les régions méridionales jusqu'à 45°N.

Cette carte construite à partir des températures calculées offre une bonne concordance avec celle des températures mesurées actuellement dans ces mêmes régions (Dietrich, 1969), entre 50 et 150 m, profondeurs auxquelles vivent les Foraminifères planctoniques. La présence d'un gradient thermique marqué entre 60 et 70°N, suggère et renforce l'individualisation de masses d'eaux établie à partir des associations fauniques. L'inflexion vers le Nord, dans la partie orientale, des isothermes se situe sur la branche de la dérive Nord-Atlantique pénétrant en mer de Norvège. L'augmentation de température des côtes vers le large (entre 40 et 50°N) correspond au bras descendant de la dérive Nord-Atlantique.

En résumé, l'étude des Foraminifères planctoniques permet de reconnaître des eaux arctiques, de tracer leur extension et de matérialiser le tracé du courant que constitue le bras nord de la dérive Nord-Atlantique.

Au Würm, la province faunique arctique (fig. 3 b) descend jusqu'à 45°N environ. La masse d'eau arctique envahit nettement l'Atlantique nord-oriental puisque le gradient thermique se situe au niveau du cap Finistère. Elle repousse les eaux subarctiques, puis transitionnelles et tempérées vers les Açores. La carte des paléoisothermes indique que la branche Nord de la dérive Nord-Atlantique est arrêtée vers 50-60°N. Au large des Iles britanniques en effet, une langue d'eau tempérée vient

buter et disparaître dans les eaux arctiques qui l'enchaînent étroitement. Sa disparition implique un refroidissement rapide qui induirait un plongement en profondeur. Peut-être a-t-on dans cette zone, durant le Würm, un centre de formation d'eau profonde.

A l'interglaciaire Riss-Würm, la province faunique arctique (fig. 3 c) ne couvre que la mer de Norvège. Ainsi, la masse d'eau arctique passe vers 65°N à des masses d'eaux moins froides qui s'étendent sur tout l'Atlantique nord-oriental. La branche Nord de la dérive Nord-Atlantique pénètre en mer de Norvège.

DONNÉES MINÉRALOGIQUES ET GÉOCHIMIQUES

Les sédiments ont fait l'objet des analyses suivantes :

- détermination de la composition des phases argileuses (mesure semi-quantitative, par diffractométrie X, sur agrégats orientés);
- dosage des constituants minéraux non argileux (diffractométrie X sur poudre selon la méthode de l'étalon interne). Calcul de la fraction phylliteuse par la formule : $100\% - X\%$ constituants minéraux non argileux;
- dosage des éléments suivants par spectrométrie de fluorescence X sur échantillons bruts : Fe, Mn, Ti, Ba, Sr, Zn, Ni, Cu, Pb, P, Zr, Rb.

Les interprétations reposent, en premier lieu, sur la distribution des phases argileuses (Moyes *et al.*, 1974; Latouche, 1976). Dans un second temps, un traitement de l'ensemble des données par analyse factorielle a permis de mettre en évidence un certain nombre de corrélations entre les divers paramètres minéraux ou chimiques covariants regroupés en un nombre limité de facteurs. Les divers traitements informatiques réalisés montrent que ces corrélations sont caractéristiques soit d'épisodes sédimentaires, soit de zones géographiques données.

Informations déduites de la distribution des minéraux argileux

Les phases argileuses sont constituées d'un mélange de montmorillonite, illite, kaolinite et chlorite, les deux premières espèces étant les mieux représentées.

Dans les dépôts de surface (fig. 4), l'illite associée à la chlorite est dominante à l'Est du chenal de Rockall et provient de l'érosion des formations géologiques et pédologiques irlandaises et écossaises. A l'inverse, les smectites sont fortement dominantes au Sud de la mer de Norvège et, à un degré moindre, à l'Ouest de Rockall. L'origine de ces minéraux soulève un problème, ni le continent scandinave, ni l'Écosse n'étant susceptibles de fournir à l'érosion des quantités importantes de smectites. Nous avons antérieurement montré (Latouche, 1976) que ces smectites provenaient de l'évolution subaérienne ou sous-marine du matériel volcanique basique constitutif de la ride Faeroe-Islande. Les produits engendrés se déposent au voisinage de la ride ou des terres émergées; les fractions les plus fines, très riches en smectites, sont reprises par la dérive Nord-Atlantique

et vannées vers le Nord-Est. A la faveur de la formation d'eau profonde, les phases argileuses viennent alors s'accumuler en mer de Norvège. Il se pourrait également que le même processus s'exerce à partir de zones volcaniques actives plus lointaines : fracture de Gibbs, ride de Rekjanes, par exemple.

A partir de la mer de Norvège, les matériaux sont repris par les courants d'eau profonde migrant vers le Sud. Passant au-dessus du seuil de Wyville Thomson (Worthington, 1970), les eaux de fond turbides (Jones *et al.*, 1970) gagnent le chenal de Rockall et enrichissent les dépôts en smectites qui viennent se superposer aux apports en illite et chlorite provenant des plateaux écossais et irlandais.

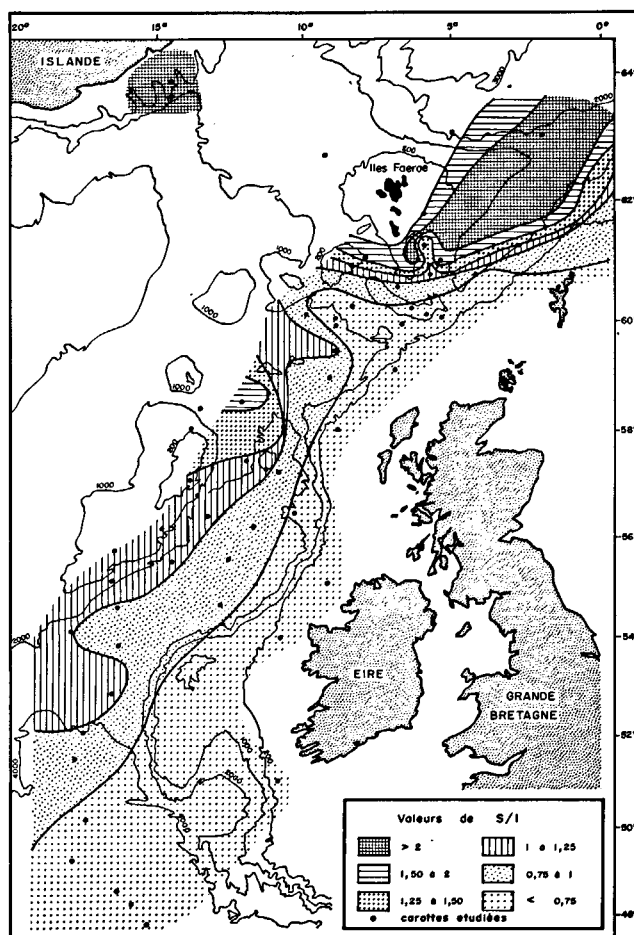
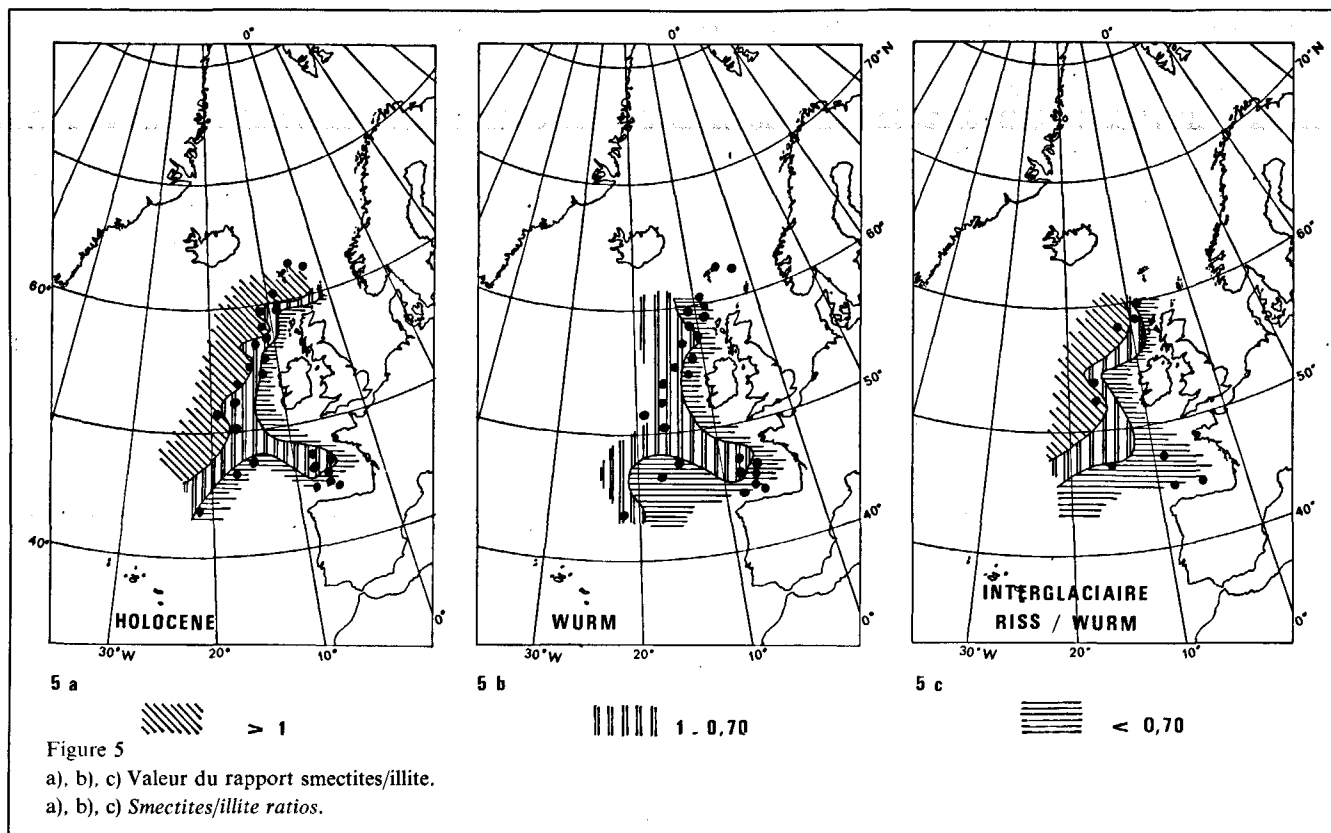


Figure 4
Répartition du rapport smectites/illite (niveaux de surface) (d'après J. Moyes *et al.* 1974).
Smectites/illite distribution (surface deposits) (from J. Moyes *et al.* 1974).



Dans les dépôts anciens, la distribution du rapport smectites/illites apporte diverses informations sur l'évolution des caractéristiques hydrologiques de la zone étudiée et en particulier sur les courants d'eaux profondes. Durant l'interglaciaire Riss-Würm (fig. 5c) notamment, l'apparition de fortes teneurs en smectites au Sud-Ouest de Rockall suggère un schéma de circulation des eaux semblable à celui de l'Actuel et montre que les eaux profondes riches en smectites provenant de la mer de Norvège descendaient très au Sud vers l'Atlantique. A l'inverse, durant les périodes froides du Würm (fig. 5b), la diminution des teneurs en smectites dans tous les dépôts situés au Sud du seuil de Wyville Thomson paraît résulter d'un très net ralentissement ou d'un arrêt des apports d'eaux norvégiennes. Avec le réchauffement holocène enfin (fig. 5a), la remontée générale des teneurs en smectites traduit la reprise des apports nordiques liés à la circulation d'eau profonde.

Informations déduites du traitement statistique de l'ensemble des données minéralogiques et géochimiques

L'ensemble des résultats minéralogiques et géochimiques a fait l'objet d'un traitement par analyse factorielle. Le programme utilisé fait appel à la méthode Varimax. Il provient de la bibliothèque IBM et a été adapté aux problèmes géochimiques dans le cadre des travaux du laboratoire (Verne, 1970; Allen *et al.*, 1970). Seul le mode R a été utilisé ici. Rappelons que ce type de traitement permet de regrouper (Laffitte, 1972) un grand nombre de paramètres en un nombre réduit de variables théoriques appelées facteurs, fonctions linéaires des variables initiales.

Appliquée à des lots successifs d'échantillons de la zone étudiée, l'analyse factorielle a permis d'aboutir à des

regroupements spécifiques, les uns d'épisodes climatiques, les autres de domaines géographiques. Ces résultats ont été présentée de manière détaillée antérieurement (Latouche, Parra, 1976) et nous n'en rappellerons ici que l'essentiel, les résultats de l'analyse factorielle réalisée sur les matériaux les plus caractéristiques figurant au tableau 2.

En période froide (Würm, fig. 6), deux types de dépôts s'individualisent très nettement :

- **Matériaux de type 1.** Ils ont été observés sur les plateaux des Shetlands, de l'Écosse et de l'Irlande et partiellement dans le chenal de Rockall et le Nord du golfe de Gascogne. Pour ces matériaux, l'analyse factorielle a permis notamment de mettre en évidence un facteur principal (de poids statistique 48 % pour une somme de variances égale à 78 %) regroupant les paramètres suivants : calcite, strontium, quartz d'une part, et fraction phylliteuse et ensemble des éléments chimiques (à l'exception de Sr, Rb, Pb) d'autre part.

Le strontium est partiellement corrélé à la calcite (fraction biogénique); les autres éléments chimiques (Fe, Ti, Ba, P, Zn, Ni) sont liés aux phyllites comme cela a déjà été observé dans de nombreux dépôts de l'Atlantique nord-oriental (Latouche, Parra, 1970; Berthois *et al.*, 1973);

- **Matériaux de type 2.** Ces matériaux proviennent d'une zone assez étendue, centrée sur les îles Faeroe ainsi que d'une aire plus limitée au Sud du plateau de Rockall. Le traitement a fait ressortir les groupements caractéristiques suivants :

- **Facteur 1** (poids statistique : 37 %, somme des variances : 71 %) feldspaths plagioclases, dolomite, Fe, Ti, Sr d'une part, quartz, Ba, Zr, Rb, Pb d'autre part.

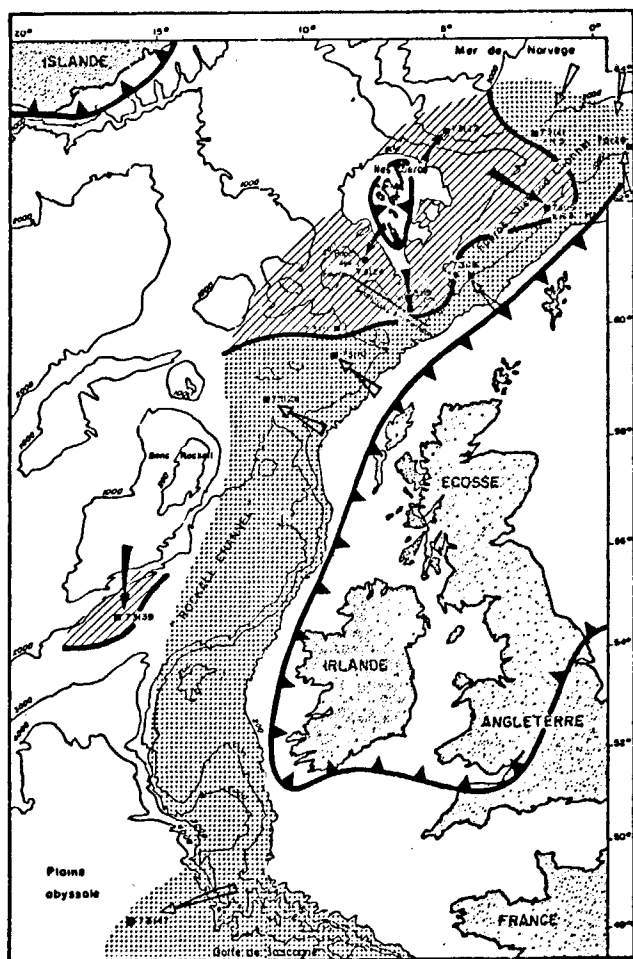
Tableau 2
Matrices factorielles (mode R).
Factorial matrices (R mode).

Facteurs	Type 1			Type 2		
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₁	F ₂	F ₃
Quartz	.910	.233	-.134	.805	-.233	.309
Calcite	.497	.020	-.684	-.177	-.632	.007
Dolomite	-.261	-.666	.103	-.744	-.012	-.020
Feldsp. alc.	-.131	-.781	-.084	.153	-.390	.060
Feldsp. pl.	-.038	.219	.717	-.853	.111	.041
Phyllites	-.920	-.051	.147	-.195	.142	-.145
Smectites	-.884	-.191	.207	.271	.634	.508
Illite	-.681	.034	.070	-.439	-.220	-.631
Kaolinite	-.841	-.177	-.069	.012	.096	-.877
Chlorite	-.227	.451	.083	.307	.180	-.828
P	-.806	-.336	-.052	.018	.846	-.151
S	.364	-.584	-.341	-.203	-.132	-.130
Fe	-.940	-.018	.230	-.614	.647	.006
Ti	-.901	.040	.293	-.844	.287	-.031
Mn	-.722	-.245	.415	-.241	.812	.039
Ba	-.666	-.363	.176	-.839	.151	-.031
Sr	.500	.715	-.114	-.618	.125	.038
Zn	-.944	-.246	.080	.274	-.129	-.207
Cu	-.689	.402	.230	-.061	.497	-.385
Ni	-.664	-.019	-.082	-.231	.391	-.047
Rb	-.017	-.924	-.095	.775	.029	-.194
Zr	.618	-.465	.333	.828	.190	.031
Pb	-.369	-.701	-.223	.866	.227	-.120
Poids statistique des facteurs	48 %	19 %	7 %	37 %	16 %	11 %
Σ variances		78 %			71,2 %	
Test		1.5			1.5	

Figure 6

Schéma de répartition des différents apports sédimentaires de la zone d'étude en période froide (d'après Latouche, Parra, 1976).

Distribution of different sedimentary deposits during cold periods (from Latouche, Parra, 1976).



– Facteur 2 (16 %) : smectites, P, Mn, Fe opposés à la calcite.

– Facteur 3 (11 %) : illite, kaolinite, chlorite.

Par rapport au type précédent, on retiendra donc plus particulièrement :

– l'importance prise ici par les feldspaths plagioclases qui apparaissent dans le premier facteur;

– l'individualisation des smectites par rapport aux autres constituants argileux et leur association spécifique avec certains éléments, notamment Fe;

– l'absence remarquable de corrélations éléments-traces/ensemble de la fraction phylliteuse ainsi que calcite/Sr, cette dernière particularité étant due au fait qu'une forte proportion de Sr est ici liée aux feldspaths (voir facteur 1).

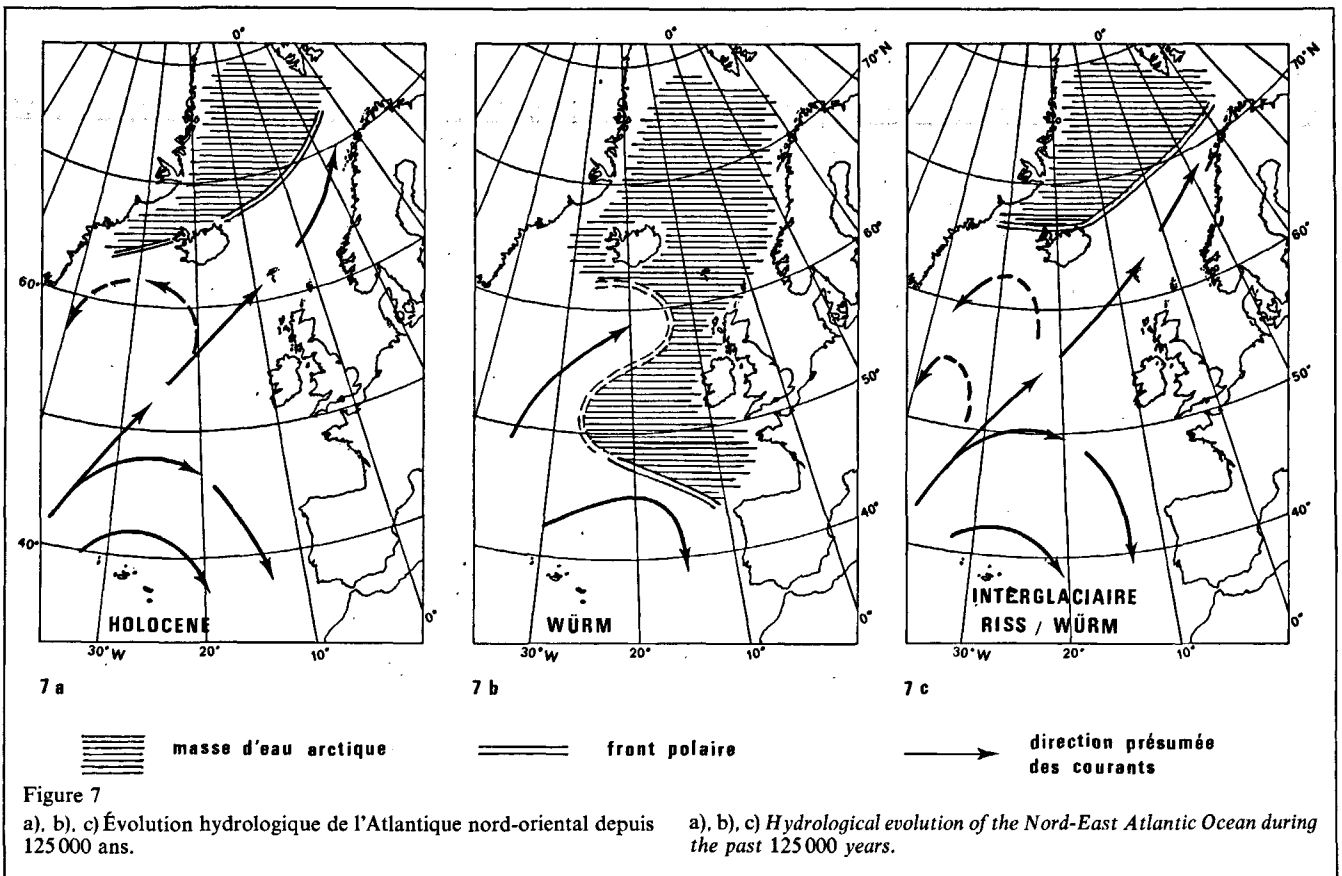
L'ensemble de ces caractères semble traduire un héritage à partir de produits volcaniques basiques.

En période chaude (Holocène), le traitement par analyse factorielle ne permet pas de différencier plusieurs types de matériaux. Dans tout le secteur étudié, à l'exception d'une zone centrée sur les îles Faeroe où les dépôts holocènes sont absents, tous les matériaux présentent les mêmes caractéristiques intermédiaires entre celles de types 1 et 2 des périodes froides, à savoir :

– corrélation calcite, Sr;

– regroupement de la fraction argileuse, des feldspaths plagioclases et d'une partie des éléments-traces;

– individualisation partielle de la montmorillonite qui, associée aux autres minéraux argileux dans un premier facteur, ressort isolée dans un second facteur de faible poids statistique.



En résumé, l'étude minéralogique et géochimique conduit à opposer nettement les dépôts de période froide et ceux de période chaude. Les premiers se différencient en deux types nettement séparés sur le plan géographique. Chaque type provient de l'érosion glaciaire des aires continentales proches recouvertes par l'inlandsis : Écosse-Irlande d'une part (type 1), Faeroe, d'autre part (type 2). L'individualisation très nette de ces deux types de matériaux montre qu'il n'y a pas de remaniements importants par l'eau et par conséquent, que les courants d'eaux profondes descendant de la mer de Norvège vers l'Atlantique n'existaient probablement pas ou n'avaient qu'une faible compétence. Ceci complète et confirme les informations déduites de la seule distribution des phases argileuses et explique la plus faible abondance des smectites vers le Sud en période froide.

A l'inverse, les dépôts de l'Holocène apparaissent homogènes et présentent des caractéristiques intermédiaires entre celles de la zone faeroane et scandinave et celles du domaine britannique. Les mécanismes de mélange d'origine hydraulique semblent donc jouer parfaitement ici et résultent principalement de la mise en place des courants d'eau profonde norvégienne vers l'Atlantique. L'existence de ces courants est soulignée par la diffusion vers le Sud des smectites provenant du domaine Nord. Elle s'exprime également par l'érosion et le non dépôt des matériaux dans la zone de goulet du seuil de Wyville Thomson.

CONCLUSIONS

Des données analytiques qui précèdent, il est possible de dégager des éléments fondamentaux concernant l'hydro-

logie de l'Atlantique nord-oriental au cours du Quaternaire récent.

La masse d'eau arctique

La distribution des faunes montre qu'à l'Holocène, comme actuellement, la masse d'eau arctique se situe en mer de Norvège. Le front polaire qui limite son extension méridionale se place en effet à la latitude de l'Islande. Vers l'Est, il s'infléchit en direction du Nord-Est et se localise à une certaine distance des îles scandinaves. Vers le Sud, de l'Islande jusqu'aux Açores, des eaux de température progressivement plus douce (10 à 14°C) s'étalent en surface.

Au cours du Würm, au contraire, et particulièrement lors des épisodes les plus froids, il apparaît que la masse d'eau arctique s'est étendue très largement vers le Sud, atteignant au moins la latitude de l'Espagne où apparaît un front polaire net. Elle baigne en particulier les plateaux continentaux européens.

A l'interglaciaire Riss-Würm, la position de la masse d'eau arctique est sensiblement la même qu'au cours de l'Holocène et actuellement.

Toutefois, la situation des masses d'eaux à tel ou tel temps du Quaternaire ne peut, à elle seule, expliquer la répartition des dépôts. Si la localisation des masses d'eaux était seule en cause, la répartition des faunes, et dans une certaine mesure des argiles, correspondrait en fait à une zonation en fonction de la latitude. Toutes les informations considérées montrent qu'il n'en est rien et il convient pour expliquer les répartitions réelles de faire intervenir le rôle des courants.

La dérive Nord-Atlantique

Elle arrive, à l'heure actuelle et pendant l'Holocène, assez haut en latitude; de ce fait, elle provoque l'entrée des eaux tempérées en mer de Norvège et notamment le long des côtes norvégiennes (fig. 7a). Ceci se vérifie par la qualité de la microfaune recueillie et par l'abondance apparemment anormale des smectites en mer de Norvège. Au Würm, la descente des masses d'eaux froides (Flint, 1967) bloque la dérive Nord-Atlantique au Sud de l'Islande (fig. 7b), provoquant peut-être la formation d'eau profonde au large des îles britanniques. Les apports en provenance de la mer de Norvège sont alors limités, sinon nuls. Les seuls éléments apportés vers le Sud le sont par vèlage des icebergs comme en témoigne la présence de sables et de galets dans les épisodes les plus froids jusqu'à des latitudes très basses (Kudrass, 1973). A l'interglaciaire Riss-Würm, les courants de surface doivent être assez proches des directions connues actuellement (fig. 7c) puisque des éléments fauniques tempérés entrent à l'Est de la mer de Norvège, apportés par la dérive Nord-Atlantique. La masse d'eau arctique est ainsi repoussée au Nord de l'Islande.

Un courant de fond

L'existence de ce courant issu des latitudes hautes, qui déplace vers le Sud les argiles déposées en mer de Norvège, se déduit à l'heure actuelle et pendant l'Holocène de la descente des smectites jusqu'au Sud du plateau de Rockall ainsi que de l'homogénéisation des caractères géochimiques des dépôts. En outre, l'absence de sédimentation pendant l'Holocène dans la zone des seuils voisine des îles Faeroe, montre que les courants de fond circulant dans cette zone ont une compétence certaine. Au Würm, et plus exactement dans les épisodes froids, le courant de fond issu de la mer de Norvège n'existe plus ou est très affaibli et le front polaire est situé beaucoup plus au Sud. De ce fait, les apports de la mer de Norvège sont limités et les provinces géochimiques sont nettement distinctes, contrairement à ce que l'on observe en période chaude.

Ainsi, les conditions de circulation des eaux dans la zone considérée ont profondément varié au cours des différents épisodes climatiques. Toutefois il se pourrait qu'à l'échelle de l'Atlantique nord-oriental, la distribution des courants puisse obéir à un schéma général identique qui, durant les périodes froides, subirait alors simplement une translation vers le Sud.

RÉFÉRENCES

- Allen G. P., Latouche C., Vernet G., 1970. Contribution à l'étude géochimique des vases de l'estuaire de la Gironde par analyse factorielle (mode R), *C.R. Soc. géol. Fr.*, fasc. 4, 117-118.
- Barash M. S., 1970. *Les Foraminifères planctoniques dans les sédiments de l'Atlantique du Nord* (en Russe), Nauka, Moscou, 93 p.
- Bé A. W. H., Hamlin W. H., 1967. Ecology of recent planktonic Foraminifera. Part. 3. Distribution in the North Atlantic during the summer of 1962, *Micropaleontology*, **13**, 87-106.
- Bé A. W. H., Tolderlund D. S., 1971. Distribution and ecology of living Foraminifera in surface waters of the Atlantic and Indian oceans, in *The Micropaleontology of Oceans*, edited by Funnel, Riedel, Cambridge, 105-149.
- Berthois L., Auffret G. A., 1975. Courants de surface et courants profonds dans l'Atlantique du Nord-Est, pendant la période actuelle et pendant la glaciation du Würm, *Bull. Inst. géol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux, **18**, 19-58.
- Berthois L., Latouche C., Parra M., 1973. Étude minéralogique et géochimique de quelques sédiments de la zone comprise entre les archipels : Faeroe, Shetland, Orcades et Hébrides. Contribution à la connaissance de l'origine des sédiments dans le domaine profond de l'Atlantique nord-oriental, *Bull. Inst. géol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux **14**, 3-17.
- Bordes F., 1968. Le Paléolithique dans le monde, *L'Univers des connaissances*, Hachette, Paris, 256 p.
- Caralp M., 1971. Les Foraminifères planctoniques du Pléistocène terminal dans le Golfe de Gascogne. Interprétation biostratigraphique et paléoclimatique, *Bull. Inst. géol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux, **11**, 1, 217 p.
- Dietrich G., 1956. Überströmung des Island-Faröer Rückens in Bodennahe nach Beobachtungen mit Forschungsschiff "Anton Dorn", 1955-1956, *Dtsch. Hydrogr. Z.*, Hamburg, **9**, 78-89.
- Dietrich G., 1957. Schichtung und Zirkulation der Irminger Sea im Juni 1955, *Ber. Dtsch. Wiss. Komm. Meeresf.*, Stuttgart, NF, **XIV**, 4, 255-312.
- Dietrich G., 1969. Atlas of the hydrography of the Northern North Atlantic Ocean, *Conseil Intern. pour l'exploit. de la Mer*, Service Hydro., Charlottenlund Slot., Danemark.
- Diester-Haass L., Schrader H. J., Thiede J., 1973. Sedimentological and paleoclimatological investigations of two pelagic ooze cores off Cape Barbas, North-West Africa, *Meteor Forsch Ergebnisse. Reihe C*, Berlin-Stuttgart, **16**, 19-66.
- Ellett D. J., Roberts D. G., 1973. The overflow of Norwegian Sea Deep Water across the Wyville Thomson Ridge, *Deep-Sea Res.*, **20**, 819-835.
- Flint R., 1967. *Glacial and pleistocene Geology*, 2nd edition 1971, John Wiley, New-York, 893 p.
- Fairbridge R. W., Talashi Ichiye, 1966. Norwegian Sea, in the *Encyclopedia of Oceanography*, edited by R. W. Fairbridge, **1**, 552-556.
- Giraudet G., Moyes J., Pujol C., 1976. Contribution des Foraminifères planctoniques à la paléoclimatologie du Quaternaire terminal de l'Atlantique nord-oriental, *Bull. Inst. géol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux, **19**, 149-168.
- Giraudet G., Pujol C., 1976. Essai de détermination des paramètres T° et S (‰) à l'aide des Foraminifères planctoniques durant le Quaternaire terminal de l'Atlantique nord-oriental, *Bull. Inst. géol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux, **19**, 169-185.
- Helland-Hansen B., Nansen F., 1909. The Norwegian Sea: Its physical oceanography..., *Rep. Norw. Fish. Mar. Inv.*, **2**, n° 2, 360 p.

- Imbrie J., Kipp N. G., 1971.** A new micropaleontological method for quantitative paleoclimatology: application to a late Pleistocene Caribbean core, in *The late Cenozoic glacial Age*, Turekian, New Haven, 71-81.
- Johnson C. L., Heezen B. C., 1967.** Morphology and evolution of the Norwegian-Greenland Sea, *Deep-Sea Res.*, **14**, 755-771.
- Jones E. J. W., Ewing M., Ewing J. I., Eitrem S. L., 1970.** Influences of Norwegian sea overflow water on sedimentation in the Northern Atlantic and Labrador sea, *J. geophys. Res.*, **75**, 9, 1655-1680.
- Kellogg T. B., 1973.** Late Pleistocene climatic record in Norwegian and Greenland sea deep sea cores, *Doctoral dissertation*, Columbia Univ., New York, 544 p.
- Kellogg T. B., 1975.** Late Quaternary climatic changes in the Norwegian and Greenland Seas, in *Climate of the Arctic*, Fairbanks, edited by Weller, S. A. Bowling, Fairbanks Univ., Alaska Press, 3-36.
- Kellogg T. B., 1976.** Late Quaternary climatic changes: Evidence from deep-sea cores of Norwegian and Greenland Seas in Investigation of Late Quaternary Paleoceanography and Paleoclimatology, *Geol. Soc. America*, edited by R. M. Cline, J. D. Hays, Mém. 145, 77-110.
- Kudrass H. R., 1973.** Sedimentation am Kontinentalhang vor Portugal und Marskko im Spätpleistozän und Holozän, *Meteor Forsch-Ergebn.*, Berlin C 13, 1-63.
- Laffitte P., 1972.** *Traité d'informatique géologique*, Masson, Paris, 624 p.
- Latouche C., Parra M., 1970.** Contribution à la connaissance des caractéristiques géochimiques des vases récentes ou subactuelles du golfe de Gascogne, *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux, **9**, 167-185.
- Latouche C., 1976.** Les minéraux argileux des sédiments actuels de l'Atlantique nord-oriental et du Sud de la mer de Norvège, *Proc. of the International Clay Conference*, S. W. Bailey, 45-54.
- Latouche C., Parra M., 1976.** Minéralogie et géochimie des sédiments quaternaires de l'océan Atlantique nord-oriental (mer de Norvège, golfe de Gascogne) Essais d'interprétations sédimentologiques, *Mar. Geol.*, **22**, 33-69.
- Lynts G. W., Judd J. B., 1971.** Late Pleistocene Paleotemperature at Tongue of the Ocean Bahamas, *Science*, **171**, 3976, 1143-1144.
- Mann C. R., 1967.** The termination of the Gulf Stream and the beginning of the North Atlantic Current, *Deep-Sea Res.*, **14**, 337-359.
- McIntyre A., Ruddiman W. E., 1972.** Northeast Atlantic Post-Eemian Paleoceanography: a Predictive Analog of the future, *Quat. Res.*, **2**, 3, 350-354.
- McIntyre A., Ruddiman W. F., Janssen R., 1972.** Southward penetration of the North atlantic Polar Front: faunal and floral evidence of large scale surface water mass movement over the last 225 000 years, *Deep-Sea Res.*, **19**, 61-77.
- Moyes J., Duplessy J. C., Gonthier E., Latouche C., Maillet N., Parra M., Pujol C., 1974.** Les sédiments profonds actuels et Pléistocène récent de l'Atlantique nord-oriental et du Sud de la mer de Norvège, *11^e Colloque Int. Exploitation des Océans*, Bordeaux, **4**, 201.
- Pujol C., Caralp M., 1974.** Variations du sens d'enroulement des Foraminifères planctoniques dans l'interprétation stratigraphique du Quaternaire terminal de l'océan Atlantique Nord, *Bull. Inst. géol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux, **16**, 31-50.
- Pujol C., Duprat J., Gonthier E., Peypouquet 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 (25 juin-17 juillet 1973) dans l'Atlantique Nord-Est, *Bull. Inst. géol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux, **16**, 65-94.
- Ruddiman W. F., Bowles, 1976.** Early interglacial bottom-current Sedimentation on the Eastern Reykjanes Ridge, *Mar. Geol.*, **21**, 191-210.
- Ruddiman W. F., McIntyre A., 1973.** Time-transgressive deglacial retreat of Polar waters from the North Atlantic, *Quat. Res.*, **3**, 117-130.
- Ruddiman W. F., McIntyre A., 1976.** Northeast Atlantic Paleoclimatic Changes over the Past 600 000 years, *Geol. Soc. of America*, **145**, 111-145.
- Steele J. H., Barrett J. R., Worthington, 1962.** Deep currents South of Iceland, *Deep-Sea Res.*, **9**, 465-474.
- Tait J. B., 1957.** Hydrography of the Faroe-Shetland channel 1927-1952, *Scottish Home Dept. Marine Res.*, Edinburg, n° 2, 309, *C.R. Norois*, 1958, 327-330.
- Vernette G., 1970.** Contribution de l'analyse factorielle à l'étude géochimique des vases de l'estuaire de la Gironde, *thèse Doct. Spéc.*, Univ. Bordeaux, **834**, 123 p.
- Worthington L. V., 1962.** Evidence for a two gyre circulation system in the North-Atlantic, *Deep-Sea Res.*, **9**, 51-67.
- Worthington L. V., 1970.** The Norwegian sea a mediterranean basin, *Deep-Sea Res.*, **17**, 77-84.