

50376  
1981  
29

N° d'Ordre : 887

50376  
1981  
29

# THESE

présentée à l'

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

DE LILLE

U.E.R. DES SCIENCES DE LA TERRE

pour obtenir le grade de Docteur de Troisième Cycle  
en Géologie Appliquée

Mention : Géologie dynamique et pratique

par  
**Philippe LEROY**



CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA SEDIMENTATION ARGILEUSE  
SUR LES MARGES DE L'OCEAN ATLANTIQUE NORD  
DEPUIS LE JURASSIQUE SUPERIEUR

Soutenue le 16 mars 1981 devant la commission d'examen :

M.M.	P. CELET	Président
	H. CHAMLEY	Rapporteur
	P. DEBRABANT	} Examineurs
	M. STEINBERG	

- RESUME -

La présente étude porte sur 14 forages exécutés sur les marges de l'Océan Atlantique Nord par le Navire Océanographique "Glomar Challenger" dans le cadre du Deep Sea Drilling Project. La fraction argileuse des sédiments, principalement analysée par diffractométrie des Rayons X, est replacée dans un contexte géochimique, lithologique et géologique. Le nombre relativement élevé de forages et d'échantillons analysés a permis, du Jurassique supérieur aux périodes récentes, d'établir un certain nombre de corrélations géographiques et chronologiques dans le domaine nord-atlantique. Les corrélations sont facilitées par le fait que les minéraux argileux de l'Atlantique Nord sont essentiellement d'origine détritique. L'influence volcanique de la dorsale médio-océanique sur les assemblages argileux ne se fait sentir de manière notable qu'au sein des basaltes plus ou moins altérés et dans les niveaux sédimentaires immédiatement sus-jacents.

Les smectites sont les minéraux les plus abondants dans la fraction argileuse des sédiments de l'Atlantique Nord. Toutefois l'apparition brutale, à certaines époques, d'autres minéraux en quantités importantes, modifie de façon considérable les assemblages argileux, traduisant principalement les phénomènes tectoniques ou climatiques qui ont affecté la sédimentation argileuse.

Du Jurassique supérieur à l'Oligocène, les effets des principales périodes d'ouverture de l'Océan Atlantique Nord sont bien marqués dans la sédimentation et se traduisent par des accroissements brutaux et peu durables des quantités de minéraux argileux typiques du détritisme (illite, chlorite, interstratifiés irréguliers), parfois accompagnés de kaolinite. Par endroits, et à certaines périodes privilégiées, la configuration des marges océaniques a permis l'établissement de bassins péri-marins peu profonds, favorables à la genèse de quantités importantes de minéraux argileux fibreux (attapulgite et sépiolite), également susceptibles de remaniements.

De l'Oligocène supérieur aux périodes actuelles, les effets des grands refroidissements mondiaux se traduisent dans la fraction argileuse des sédiments par un accroissement progressif et durable des quantités de minéraux primaires (illite et chlorite essentiellement) et d'altération ménagée (interstratifiés irréguliers), au détriment des smectites. Les différenciations climatiques latitudinales s'inscrivent aussi dans la sédimentation, et ceci malgré les phénomènes de dispersion dûs aux grands courants de fond méridiens.

Les modifications des assemblages argileux sont donc de deux ordres : un changement important et brutal traduit un bref regain d'érosion active dû à un événement tectonique important, un changement lent et progressif traduit une modification durable des climats et donc des mécanismes d'érosion et d'altération.

- AVANT PROPOS -

Monsieur le Professeur Paul CELET m'a fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de cette thèse, et je l'en remercie vivement.

A Monsieur le Professeur Hervé CHAMLEY, j'exprime la plus grande reconnaissance. Il a élaboré, organisé et dirigé ce travail en me prodiguant ses conseils toujours judicieux et sans jamais mesurer son temps au laboratoire et pour la correction du manuscrit. Je le remercie également pour la compréhension et la patience dont il a fait preuve en me permettant de concilier mes vies parisienne et lilloise.

Je suis très reconnaissant à Monsieur le Professeur Pierre DEBRABANT pour son accueil chaleureux lors de mon arrivée à l'Université de Lille et je le remercie d'avoir accepté de juger ce mémoire.

Que Monsieur le Professeur Michel STEINBERG trouve ici l'expression de ma plus vive gratitude. Il m'a accueilli avec beaucoup de compréhension dans son laboratoire au début de ce travail et a accepté de participer à ce jury en dépit de ses multiples occupations.

Je remercie aussi vivement J. FOULON, H. MAILLOT, J. DIDON et J.-M. MALEZIEUX, pour la sympathie qu'ils m'ont témoignée tout au long de mon séjour parmi eux.

Je ne saurais oublier ceux sans qui la réalisation de ce travail n'aurait pu être menée à bien.

Madame F. DUJARDIN, qui a assuré la frappe de ce mémoire avec beaucoup de dévouement, de gentillesse et de compétence.

Madame M. BOCQUET, pour les nombreuses figures qu'elle a dessinées.

Monsieur J. CARPENTIER, pour les photographies.

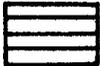
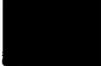
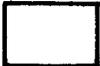
Madame A. BREBION et Monsieur R. BALLENGHIEN, qui ont assuré le tirage et l'assemblage de cet ouvrage.

Qu'ils soient tous assurés de ma plus grande gratitude.

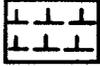
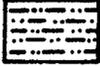
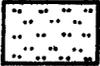
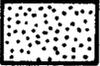
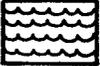
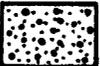
Enfin, je remercie mes parents, ma femme et mon fils, qui ont supporté mes nombreuses absences avec beaucoup de patience et m'ont toujours témoigné compréhension, confiance et amour. C'est à eux que je dédie ce mémoire.

# LEGENDE DES FIGURES

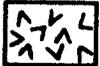
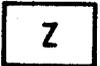
## MINERALOGIE

	ILLITE		KAOLINITE
	CHLORITE		ATTAPULGITE
	SMECTITES		SEPIOLITE
	MINERAUX INTERSTRATIFIES IRREGULIERS		

## LITHOLOGIE

SEDIMENTS CALCAIRES	SEDIMENTS SILICEUX	SEDIMENTS TERRIGENES
 BOUE A NANNOFOSSILES	 BOUE A RADIOLAIRES	 ARGILE ARGILITE
 BOUE A FORAMINIFERES	 BOUE A DIATOMEES	 MUDSTONE
 CALCAIRE	 CHERT / PORCELLANITE	 SILT
 CALCAIRE MARNEUX		 SABLE SILTEUX
 MARNE ARGILEUSE		 SABLE / GRES

	BASALTE
	ZEOLITES
	PERTURBATIONS DUES AU FORAGES

## INTRODUCTION - SOMMAIRE

Le présent travail, réalisé pour la plus grande part au laboratoire de Sédimentologie et Géochimie de l'Université de Lille, s'insère dans une série d'études poursuivies au laboratoire de Géologie marine de Marseille, puis à l'Université de Lille, depuis 1975. Il a pour objet l'étude des sédiments profonds de l'Océan Atlantique Nord, principalement du point de vue de la minéralogie de la fraction argileuse.

Les échantillons étudiés ont été prélevés lors du Deep Sea Drilling Project par le navire océanographique Glomar Challenger de 1972 à 1976, dans le cadre des associations J. O. I. D. E. S. puis I. P. O. D. L'Océan Atlantique Nord est une région privilégiée pour l'étude des sédiments océaniques profonds, puisque le Glomar Challenger y a effectué vingt campagnes. La plupart du temps les sédiments sont prélevés en continu, exception faite des forages des premières campagnes, et permettent donc l'observation de séries sédimentaires à peu près complètes. Le grand nombre d'échantillons disponibles favorise les études sédimentologiques les plus diverses.

Les échantillons étudiés ici proviennent des campagnes (Legs) 11, 12, 41, 47b et 48 du Glomar Challenger. Les forages étudiés sont les suivants :

Marge Est-Atlantique : 367, 369, 397, 398, 118, 119, 400, 401.

Marge Ouest-Atlantique : 98, 100, 101, 105, 111, 112.

Les forages 111, 112, 118, 119, 369, ont été étudiés au laboratoire de Lille. Les autres forages ont été étudiés par H. CHAMLEY au laboratoire de Géologie marine de Marseille et ont déjà donné lieu à des publications ou rapports antérieurs. Il sont utilisés ici dans le but d'obtenir des corrélations minéralogiques et stratigraphiques à une plus vaste échelle dans l'Océan Atlantique Nord. La localisation géographique des forages est donnée sur la figure 1. Les caractéristiques de situation et de prélèvement sont résumées dans le tableau n° 1.

Tableau n° 1 : Localisation géographique des forages.

Legs :	Forages :	Latitude N :	Longitude W :	Profondeur en m :	Pénétration en m :	Nombre d'échantillons :
11 :	98 :	25°22,95' :	77°18,68' :	2 769 :	357 :	62 :
11 :	100 :	24°41,28' :	73°47,95' :	5 325 :	331 :	23 :
11 :	101 :	25°11,93' :	74°26,31' :	4 868 :	691 :	35 :
11 :	105 :	34°53,72' :	69°10,40' :	5 251 :	633 :	110 :
12 :	111 :	50°25,57' :	46°22,05' :	1 797 :	250 :	54 :
12 :	112 :	54°01,00' :	46°36,24' :	3 657 :	664 :	55 :
12 :	118 :	45°02,65' :	9°00,63' :	4 901 :	761 :	31 :
12 :	119 :	45°01,90' :	7°58,49' :	4 447 :	711 :	94 :
41 :	367 :	12°29,20' :	20°02,80' :	4 748 :	1 153 :	65 :
41 :	369 :	26°35,35' :	14°59,92' :	1 752 :	488,5 :	175 :
47a :	397 :	26°50,7' :	15°10,8' :	2 900 :	1 453 :	182 :
47b :	398 :	40°57,60' :	10°43,10' :	3 910 :	1 740 :	112 :
48 :	400 :	47°22,90' :	9°11,90' :	4 399 :	777,5 :	115 :
48 :	401 :	47°25,65' :	8°48,62' :	2 495 :	341 :	25 :

L'objet de ce travail est de contribuer à définir les phénomènes qui ont régi la sédimentation des dépôts argileux sur les marges de l'Océan Atlantique Nord depuis le Jurassique supérieur jusqu'aux périodes récentes. Le plan adopté pour cette étude est le suivant :

- Chapitre I : Méthodes d'études et de reconnaissance des minéraux argileux.
- Chapitre II : Rappels sur l'histoire de l'Océan Atlantique Nord. Généralités sur la sédimentation des marges océaniques étudiées. Généralités sur les différents minéraux argileux des sédiments marins et leur origine.
- Chapitre III : Descriptions et commentaires sur la sédimentation argileuse dans l'Océan Atlantique Nord Ouest.
- Chapitre IV : Descriptions et commentaires sur la sédimentation argileuse dans l'Océan Atlantique Nord Est.
- Conclusions.

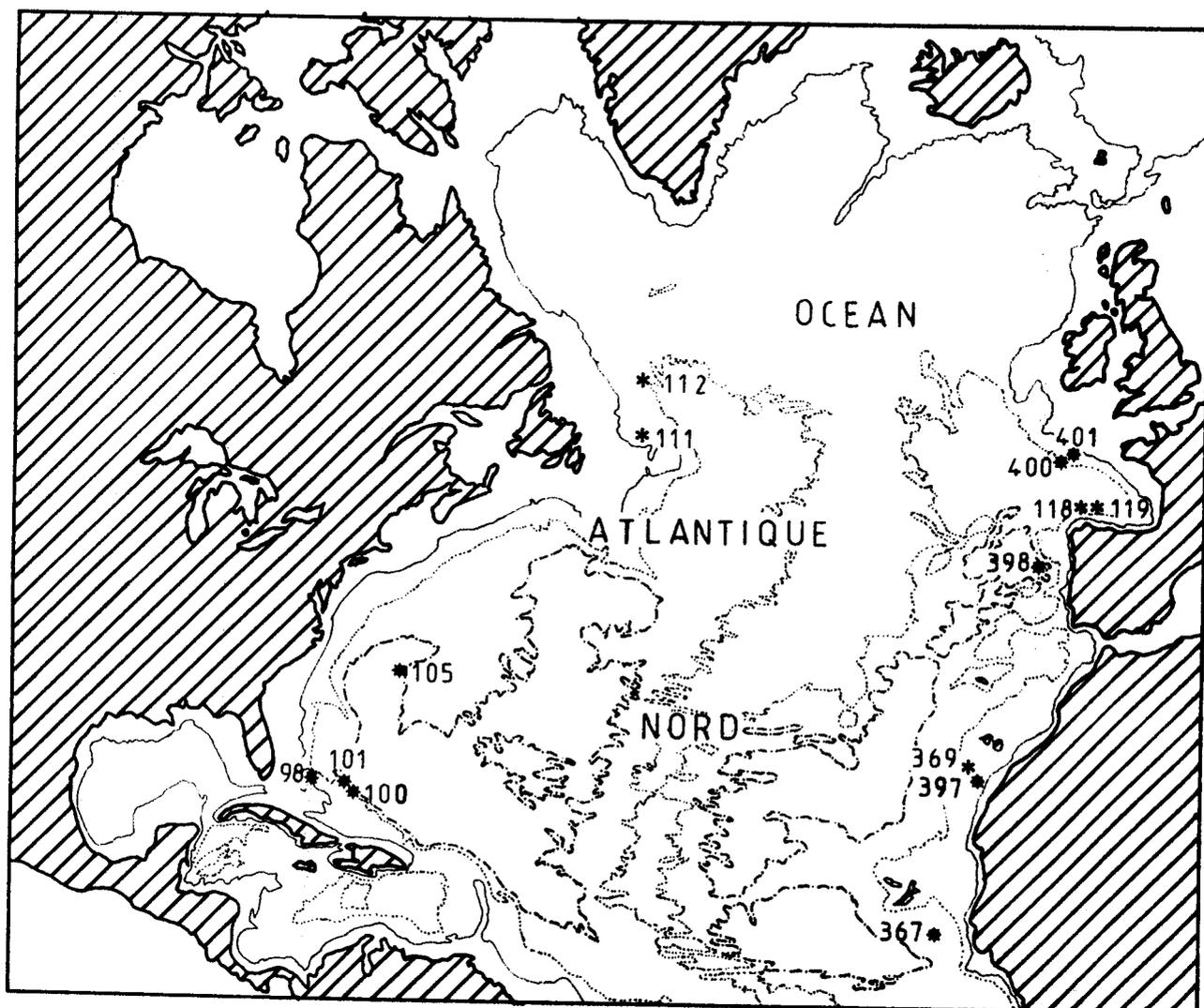
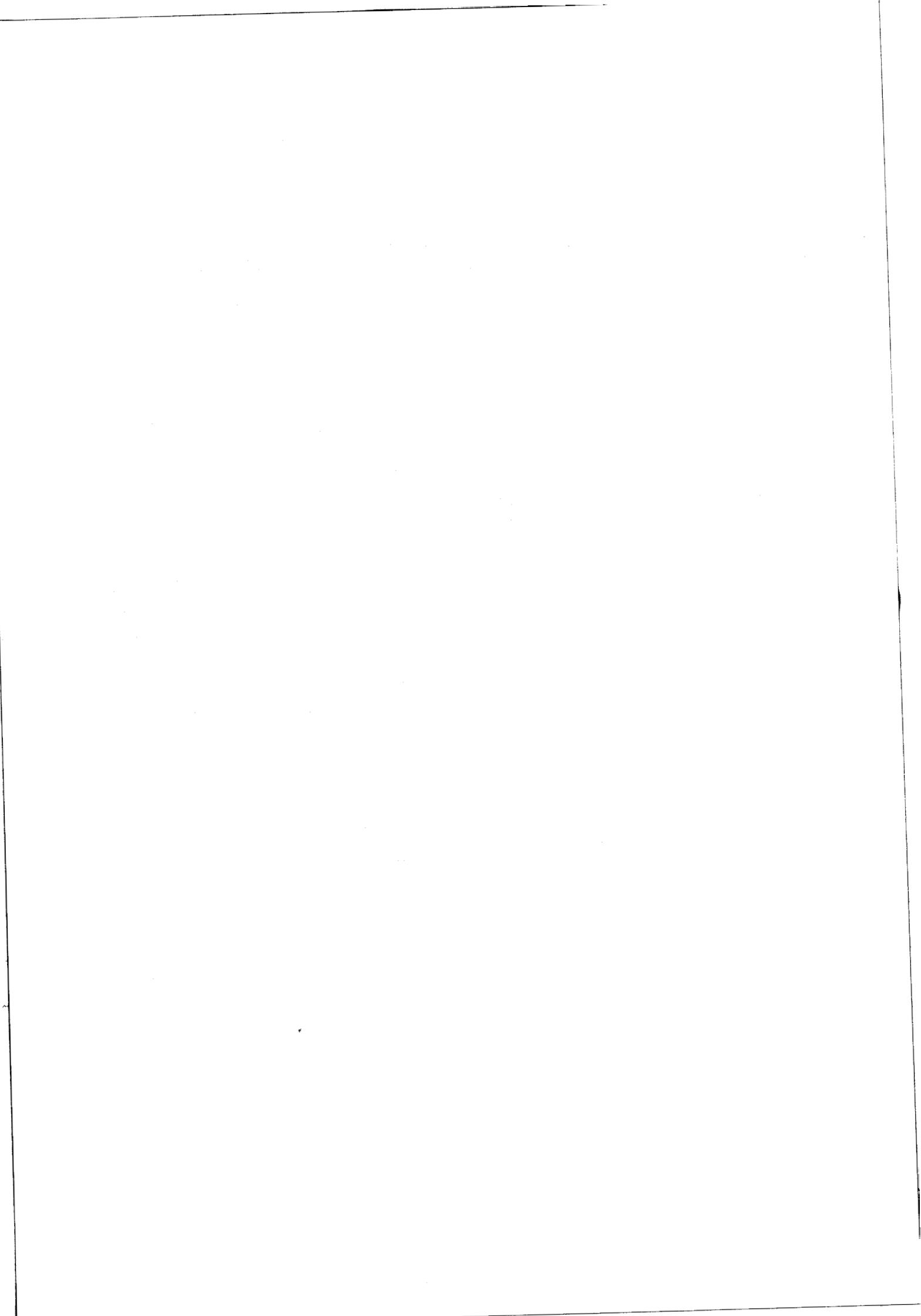
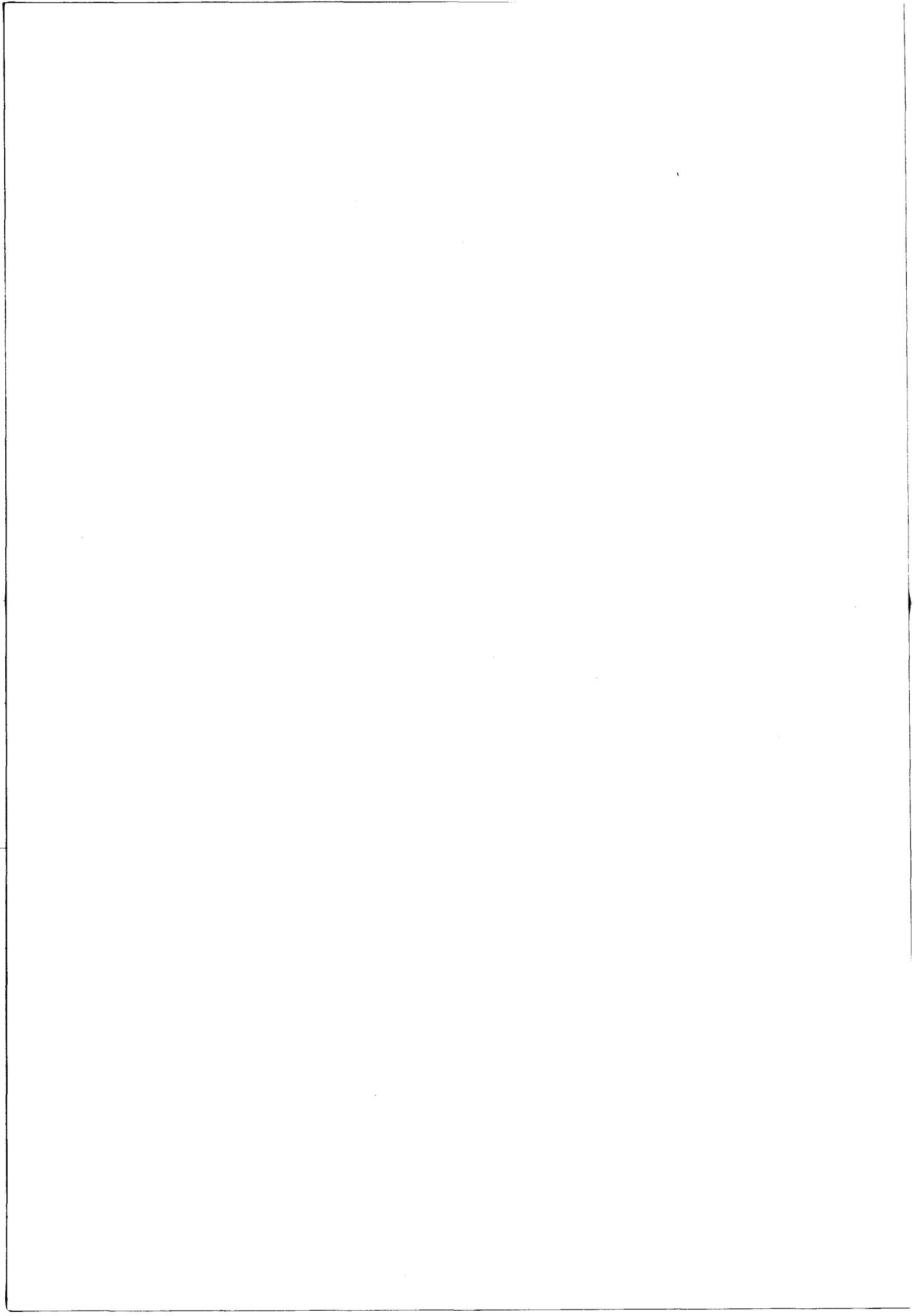


Figure 1 .- Situation géographique des forages étudiés.



- CHAPITRE I -

METHODES D'ETUDES



## I - ANALYSE PAR DIFFRACTION DES RAYONS X

Les sédiments prélevés le long des forages cités ci-dessus sont principalement étudiés du point de vue de la minéralogie de la fraction argileuse (fraction non calcaire inférieure à 2 microns) au moyen de la diffraction des rayons X.

Les échantillons étudiés au laboratoire de Marseille ont été préparés selon la méthode dite des agrégats orientés (Chamley, 1966). Ceux étudiés au laboratoire de Lille ont fait l'objet de préparation en pâtes orientées dans la mesure où la quantité de matière disponible était suffisante (Institut de Géologie de Strasbourg, 1978 ; Thiry, 1978). La préparation des échantillons est la même dans les deux cas (Chamley, 1966). Dans le cas des pâtes orientées, la suspension contenant les particules inférieures à 2 microns est centrifugée à 3 500 tours/minute pendant 40 minutes afin d'obtenir un culot de centrifugation, lequel est homogénéisé à la main avant d'être étalé sur une lame de verre rainurée. Deux lames sont ainsi préparées par échantillon : la première est passée sans traitement au diffractomètre à rayons X, puis saturée à l'éthylène-glycol pendant 12 heures avant d'être analysée à nouveau. La deuxième lame est chauffée à 490° C durant 2 heures dans un four à moufle puis analysée à son tour. Les trois diagrammes ainsi obtenus permettent d'estimer les proportions des différents minéraux argileux de manière semi-quantitative.

L'estimation des proportions des différents minéraux argileux entre eux se fait de la manière suivante. Elle est fondée sur l'examen du pic correspondant à la raie basale de chaque minéral phylliteux, examen tenant compte de la hauteur du pic et de sa surface. L'illite et la chlorite sont utilisées comme minéraux de référence. L'examen des pics de raie basale se fait de préférence sur le diagramme de la lame glycolée. Le diagramme correspondant à la lame chauffée permet essentiellement de séparer kaolinite et chlorite. L'estimation des quantités de minéraux gonflants se fait en comparant les diagrammes normaux et glycolés, de même que l'estimation des quantités de minéraux fibreux. En dehors des minéraux pris comme référence, illite et chlorite, on affecte aux autres minéraux argileux des coefficients tenant compte de la surface du pic et que l'on affecte à sa hauteur. C'est ainsi que la smectite, les minéraux interstratifiés seront augmentés d'un demi ou d'un entier selon l'étalement de leurs réflexions. La kaolinite sera diminuée de moitié, du fait de son excellente réponse aux rayons X. Les minéraux fibreux, attapulgite et sépiolite, seront systématiquement majorés, étant donnée leur réponse faible due à leur structure particulière.

Les estimations sont données de 5 en 5 %, leur somme pour l'ensemble des minéraux argileux étant ramenée à 100 %. Les minéraux associés aux minéraux argileux sont notés comme abondants, communs, rares ou en traces, l'analyse des échantillons en pâtes ou agrégats orientés ne permettant pas une bonne estimation des proportions de minéraux non phylliteux.

## II - AUTRES METHODES D'EXPLOITATION DES DIAGRAMMES DE RAYONS X

Un certain nombre de paramètres sont utilisés de manière non systématique, pour caractériser l'état ou l'abondance relative de certains minéraux argileux le long de la colonne sédimentaire. Cette opération a pour but d'établir des relations, si elles existent, entre la sédimentation argileuse et les différents phénomènes affectant l'ensemble des caractéristiques des dépôts sédimentaires.

Les différents paramètres utilisés ont été préconisés par Chamley (1969, 1972), Biscaye (1965). Ils sont résumés avec leurs principales caractéristiques dans le tableau n° 2 et sur un diagramme type (fig. 2).

Tableau n° 2 .-

PARAMETRE:	MESURE	
A	Cristallinité de l'illite	Largeur en $1/10 \theta$ de la réflexion de l'illite à 10 Å, mesurée à mi-hauteur au-dessus du bruit de fond stabilisé, sur l'essai glycolé.
B	Abondance relative de la chlorite	Rapport des hauteurs du pic à 4,7 Å de la chlorite et du pic à 5 Å de l'illite, mesurées au-dessus du bruit de fond stabilisé, sur l'essai normal.
C	Etat de la chlorite	Aspect de la réflexion à 4,7 Å de la chlorite : type 1 : aigue, type 2 : obtue, type 3 : rattachée à l'illite (5 Å). On a considéré que la structure est ordonnée (1), peu ordonnée (2), désordonnée (3).
D	Abondance relative du complexe gonflant	Rapport des hauteurs des pics à 18 Å et 10 Å mesurées au-dessus du bruit de fond stabilisé, sur l'essai glycolé.
E	Etat du complexe gonflant	Angle d'ouverture du pic à 18 Å mesuré sur l'essai glycolé.
F	Abondance relative de la kaolinite	Position de la réflexion à 3,5 Å sur l'essai normal : 3,57 Å : kaolinite abondante ; 3,57-3,53 Å (plateau) : kaolinite moyennement abondante ; 3,53 Å : kaolinite peu abondante.

Tableau 2 (suite) .-

PARAMETRE:	:	MESURE
:	:	
:	:	
Indice de: Etat du complexe gonflant	:	Rapport de la hauteur du pic à 18 Å et
Biscaye :	:	de la différence entre la hauteur du pic
:	:	et le minimum de bruit de fond aux petits
:	:	angles, mesurées au-dessus du bruit de
:	:	fond stabilisé, sur l'essai glycolé.
:	:	

### III - AUTRES METHODES

#### 1) Microscopie électronique à transmission

L'analyse de certains échantillons au microscope électronique à transmission a été effectuée sur un nombre restreint d'échantillons, ceci afin d'observer l'état des minéraux argileux et de confirmer ou d'infirmer la présence de minéraux fibreux dont l'existence était soupçonnée après analyse aux rayons X.

Le long de certains forages cette observation par microscopie électronique a été faite tout le long de la colonne sédimentaire et selon un maillage très lâche, afin de tenter de suivre l'évolution de l'état des différents minéraux observés.

Les échantillons sont préparés de la manière suivante (Chamley, 1971) :

- prélèvement de la fraction inférieure à 4 ou 8 microns de l'échantillon décalcifié ;
- dispersion de quelques gouttes de cette suspension dans une solution de butylamine tertiaire au 1/700 ;
- dépôt d'une goutte de la suspension diluée sur une grille de cuivre recouverte au préalable d'un film de collodion déposé par décantation ;
- évaporation.

On notera au passage que la préparation des échantillons nécessite une attention particulière, plus précisément l'absence totale de courants d'air, et un lieu de préparation et de séchage à l'abri des poussières.

#### 2) Géochimie

Les résultats géochimiques concernant l'Océan Atlantique Nord présentés dans cette étude ont été obtenus par P. Debrabant et son équipe au laboratoire de Sédimentologie et Géochimie de Lille. Ils sont utilisés ici pour compléter les informations données par la minéralogie au niveau de l'interprétation.

L'analyse chimique des échantillons a été obtenue par spectrophotométrie d'absorption atomique (Pinta, 1971) et deux paramètres simples sont retenus pour les caractériser.

- Paramètre  $Mn^*$

$$Mn^* = \log \left[ \frac{Mn \text{ échantillon}}{Mn \text{ shales}} / \frac{Fe \text{ échantillon}}{Fe \text{ shales}} \right]$$

Cet indice sert à caractériser des apports volcaniques ou hydrothermaux, une oxygénation importante ou un refroidissement du milieu océanique, un ralentissement de la sédimentation quand  $Mn^*$  est supérieur à 0.  $Mn^*$  inférieur à 0 définit un milieu de sédimentation réducteur ou une dilution du sédiment par des apports détritiques.

- Paramètre D

$$D = Al / (Al + Fe + Mn)$$

Cet indice permet d'apprécier l'intensité des apports détritiques. On considère qu'ils augmentent quand D augmente et inversement.

Les deux paramètres sont définis par rapport aux shales en raison de l'importance des apports détritiques dans l'Océan Atlantique (Debrabant et Foulon, 1979). Dans les shales on a :  $Mn^* = 0$  et  $D = 0,63$ .

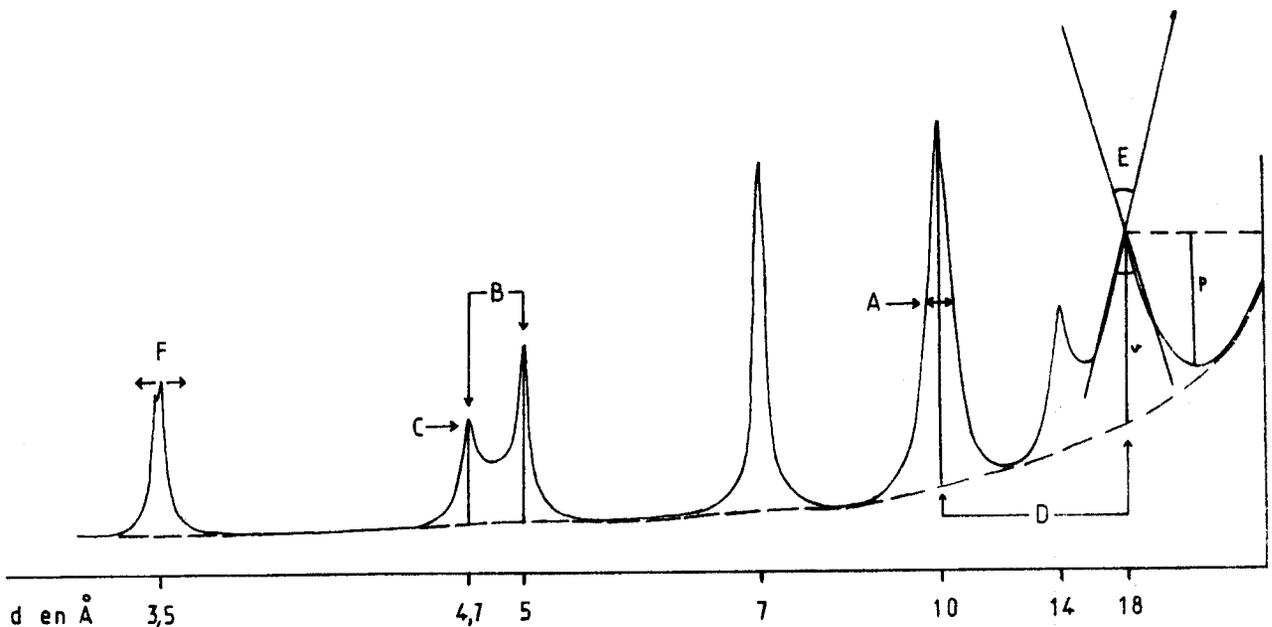
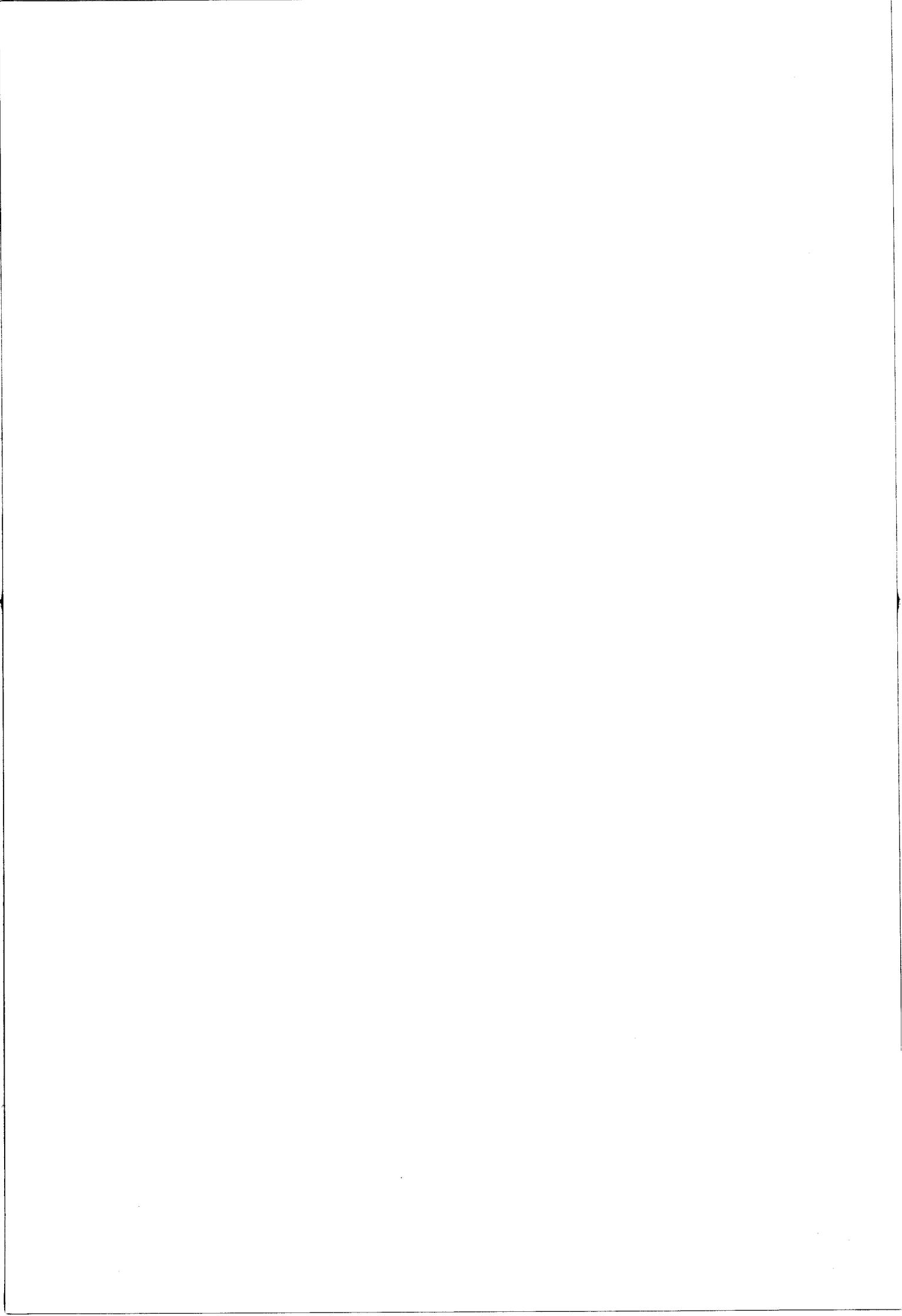


Figure 2 .- Diagramme type (glucolé) pour l'exploitation des diagrammes de minéraux argileux.

- CHAPITRE II -

GÉNÉRALITES



## I - HISTOIRE DE L'OCEAN ATLANTIQUE NORD

L'Océan Atlantique est un océan récent. Son histoire débute au Jurassique, il y a 165 millions d'années environ (Laughton, 1972 ; Sclater et Tapscott, 1979). L'écartement qui se produit entre l'Amérique du Nord et l'Afrique occidentale s'effectue le long d'une dorsale médio-océanique orientée Nord-Sud, dont la continuité est perturbée par de nombreuses fractures transversales. Cette ouverture a lieu entre le Jurassique moyen et le Crétacé inférieur. Au Jurassique moyen (Dogger), Pomerol (1975) parle de "Proto-atlantique" pour définir l'Atlantique Nord primitif qui constitue un trait d'union entre la mer des Caraïbes et la Mésogée, toutes deux au début de leur existence. Le vaste domaine continental Nord-Atlantique, dont l'unité avait été réalisée au Siluro-Dévonien par la surrection des chaînes calédonnienne et appalachienne, est le théâtre d'un volcanisme important et on observe les premiers cisaillements entre l'Europe du Nord et l'Amérique septentrionale. Au Crétacé inférieur, l'Espagne actuelle s'écarte de l'Europe du Nord, ouvrant ainsi le Golfe de Gascogne (Baie de Biscaye). Pendant que s'ébauche le futur Océan Atlantique Nord, les circulations d'eaux sont extrêmement réduites, leur écoulement ne pouvant s'effectuer vers le Nord où l'Europe restait soudée à l'Amérique du Nord, ni vers le Sud où s'étaient développés d'importants récifs coralliens et plates-formes carbonatées (Bernoulli, 1972) et où la séparation entre l'Afrique et l'Amérique du Sud n'était pas réalisée.

Durant le Crétacé, l'Océan Atlantique continue de s'ouvrir vers le Nord, sans toutefois rejoindre les mers arctiques. On assiste à la formation des bassins de Rockall et d'Islande, ainsi qu'au début de l'ouverture de la mer du Labrador. La Manche commence à s'ouvrir au Crétacé supérieur (Laughton, 1975 ; Thiede, 1979).

Au Paléocène, le Groënland se sépare du plateau de Rockall, le long d'un axe d'extension situé à l'Est du bassin islandais primitif et du Canada ; l'ouverture de la mer du Labrador se termine à cette époque (Laughton, 1972 ; Thiede, 1979 ; Sclater et Tapscott, 1979).

À l'Eocène, l'axe Ride de Reykjanes-Islande - Ride Jan Mayen - Spitzberg s'ouvre, prolongeant l'Océan Atlantique vers le Nord, tandis que le Groënland s'immobilise par rapport à l'Amérique du Nord. L'Europe du Nord se fragmente, donnant les îles Faroé et le plateau de Rockall (Laughton, 1972, Thiede, 1979).

Vers l'Eocène supérieur-Oligocène, l'ouverture de l'Océan Atlantique Nord marque une interruption, puis reprend au Miocène pour se poursuivre encore actuellement (Thiede, 1979).

## II - EVOLUTION DE LA CIRCULATION OCEANIQUE DANS L'OCEAN ATLANTIQUE NORD

Du bassin semi-clos du Jurassique à l'Océan actuel, les caractéristiques de la circulation des eaux profondes de l'Atlantique Nord se sont modifiées considérablement au cours du temps. L'existence de barrières et leur ouverture ou leur fermeture conditionnent les communications entre les différents bassins. Les modifications affectant ces barrières changent considérablement les caractères physico-chimiques et biologiques des eaux, et donc les conditions et la nature des dépôts sédimentaires dans les bassins océaniques.

Au début de son histoire, l'Atlantique Nord est restreint. Au niveau de l'Atlantique central, on remarque une affinité entre les faciès du Jurassique supérieur et ceux rencontrés sur les bords de la Téthys à l'Est (Bernoulli, 1972 ; de Graciansky, 1980). Par contre, on sait très peu de choses sur les relations entre Atlantique et Pacifique à l'Ouest, au niveau de l'actuelle Amérique centrale. Au Crétacé moyen, les eaux bien oxygénées de la Téthys sont remplacées dans l'Atlantique central par les eaux chaudes sursalées provenant de l'Atlantique Sud en voie de formation. Le peu de communication entre les différents bassins amène une stagnation partielle des eaux profondes favorisant la préservation de quantités importantes de matière organique à l'interface eau-sédiment et leur fossilisation, conduisant au faciès "black-shales" (Lancelot, 1980). Puis l'ouverture plus complète de l'Atlantique Sud permet aux eaux froides des régions antarctiques d'atteindre les bassins profonds de l'Atlantique Nord, interrompant le dépôt des black shales. Par contre, les eaux froides arctiques n'atteignent toujours pas les zones septentrionales de l'Atlantique.

A l'Eocène, l'Atlantique Nord reçoit des eaux de surface extrêmement riches en silice, arrivant du Pacifique dans la mer des Caraïbes par l'actuel isthme de Panama (Riech et von Rad, 1979). L'Atlantique central était encore en relation avec la Téthys. C'est tout à fait à la fin de l'Eocène que l'on trouve dans l'Atlantique extrême-Nord des signes de l'arrivée des eaux froides arctiques, suite à l'ouverture de la mer de Norvège, entre le Groënland et la Scandinavie (Thiede, 1979). Nous voyons donc s'installer à partir du Cénozoïque un type de circulation profonde dirigée selon un axe Nord-Sud, approvisionnant l'Atlantique Nord en eaux froides provenant des hautes latitudes. Parallèlement aux phénomènes généraux de circulation océanique profonde, il existe sur les marges océaniques où sont situés les forages étudiés ici, des phénomènes locaux de circulation, tels les courants de turbidités, qui dépendent essentiellement de la morphologie du fond océanique dans ces endroits. Ces phénomènes locaux seront étudiés à part, car ils conditionnent directement les types de dépôts rencontrés dans les différents sites, et il convient donc de les analyser parallèlement aux données sédimentologiques.

### III - EVOLUTION DE LA SEDIMENTATION SUR LES MARGES DE L'OCEAN ATLANTIQUE NORD

Depuis le Mésozoïque et l'ouverture de l'Atlantique Nord, on peut définir de nombreuses étapes caractérisant l'ensemble de la sédimentation dans ce jeune océan, témoins d'événements qui ont affecté l'ensemble du domaine Atlantique Nord.

On peut séparer ici ces caractéristiques en deux ordres :

- celles d'ordre lithologique, affectant l'ensemble de l'Atlantique Nord ;
- celles d'ordre minéralogique, plus particulièrement dans la fraction argileuse, ce qui est l'objet de cette étude.

Les différences existant dans la sédimentation des sites étudiés nécessitent que l'on considère les sédiments de l'Atlantique Nord dans chaque zone.

- A - Marge de l'Afrique occidentale.
- B - Marge Ibérique, Golfe de Gascogne.
- C - Marge Atlantique Nord-occidentale.
  1. Sud : Bahamas, Bermudes.
  2. Nord : Newfoundland (Terre-Neuve).

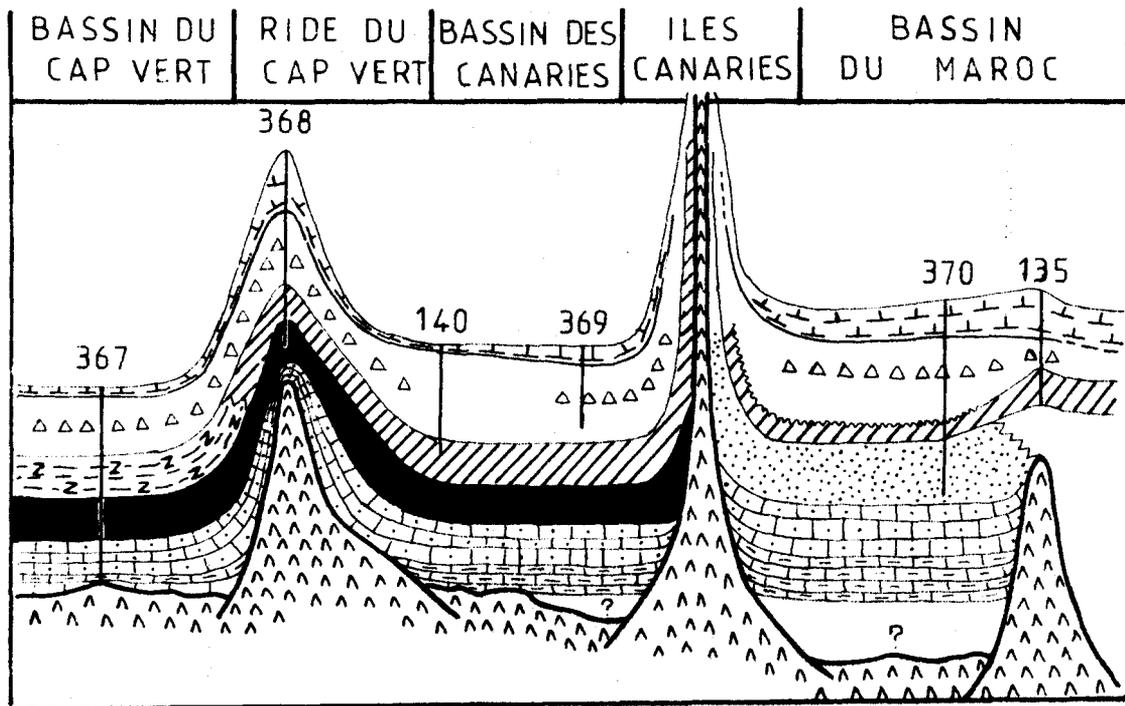
#### A) MARGE DE L'AFRIQUE OCCIDENTALE

Pour Seibold et Heinz (1974), la marge continentale ouest-africaine est très semblable à celle d'Amérique nord-orientale, à l'exception d'une activité volcanique plus importante au large de l'Afrique. Le plateau continental a une largeur extrêmement variable, du Cap Vert au Nord du Maroc. On distingue trois bassins principaux le long des côtes africaines occidentales : le bassin du Maroc au Nord des Iles Canaries, le bassin des Canaries au centre, le bassin du Cap Vert au Sud. Il paraît exister des différences importantes entre les trois bassins (Lancelot et Seibold, 1978). En particulier, l'influence terrigène se fait beaucoup plus sentir dans les dépôts sédimentaires les plus septentrionaux. La sédimentation semble avoir commencé au Sud (Site 367 D. S. D. P.) avant l'Oxfordien, où le calcaire repose directement sur des extensions de basalte océanique, mais où les données géophysiques laissent supposer des sédiments sous-jacents reposant sur le plancher basaltique (Lancelot et Seibold, 1978).

Jansa et al. (1977) donnent une représentation de l'ensemble des sédiments mésozoïques le long de la marge africaine occidentale. La sédimentation débute à peu près partout par des formations calcaires, plus ou moins argileuses, surmontées d'une formation crayeuse (fig. 3). Ce n'est qu'au Néocomien qu'apparaissent des différences importantes entre les bassins Nord et Sud. Au Sud, une zone de black-shales s'est déposée au sommet du Crétacé inférieur, alors qu'au Nord, le niveau crayeux est surmonté d'une formation argilo-gréseuse. Les différences se poursuivent au Crétacé supérieur, où existe une formation d'argiles zéolitiques au Sud des îles du Cap Vert, alors que le Mésozoïque se termine dans les deux autres bassins par des argilites vertes. Dans le bassin du Maroc, s'observe un hiatus entre les argilites aptio-albiennes et les sédiments cénozoïques, hiatus que l'on ne retrouve pas dans les séquences situées plus au Sud.

Pour Lancelot (1978), le Cénozoïque peut se subdiviser en deux zones sédimentaires (fig. 3), mais les faciès diffèrent du Sud au Nord le long de la marge Ouest-Africaine, jusqu'au Miocène supérieur où la sédimentation a tendance à s'uniformiser. Durant le Paléocène, l'Eocène et l'Oligocène, les fo-

rages du Leg 41 D. S. D. P. présentent une alternance de sédiments à tendance plutôt calcaire ou plutôt argilo-silteuse. Le fait commun à ces divers faciès est l'omniprésence de formation siliceuse, cherts ou/et porcellanite, au niveau, principalement, de l'Eocène inférieur et moyen. Le sommet des séries sédimentaires de la marge ouest-africaine se compose de boues carbonatées, dans tous les sites forés le long de cette marge lors du Leg 41 (Lancelot, 1978).



**Figure 3** .- Successions lithologiques sur la marge africaine de l'Océan Atlantique Nord. (D'après Lancelot, 1978).

#### B) MARGE IBERIQUE, GOLFE DE GASCOGNE

1) La sédimentation de la marge Ouest de l'Espagne a été essentiellement étudiée au niveau du Plateau de Galice, où a été foré le site 398 du Leg 47b D. S. D. P.. Sibuet et Ryan (1979) situent l'édification de la marge continentale ibérique durant une phase de rifting ayant eu lieu entre le Permien et le Lias. Les premiers sédiments se déposent dans un bassin semi-clos, très étroit (environ 100 km de large), durant le Trias et le Lias, et ils sont sans doute de type évaporitique. Les données sur les premiers sédiments de la marge ibérique sont essentiellement d'ordre géophysique, mais il a tout de même été prélevé au niveau du "Vigo Seamount" des fragments de calcaires d'âge jurassique terminal.

Pour Montadert et al. (1979), la marge continentale Ouest de l'Espagne présente toutes les caractéristiques d'une marge inactive. Durant la période initiale d'ouverture de l'Atlantique Nord, elle se présente sous la forme de horsts et grabbens. Tandis que d'épaisses séries sédimentaires se déposent dans les grabbens, les horsts reçoivent une sédimentation calcaire réduite. Le Groupe Galice (1979) sépare la marge ibérique en deux zones distinctes, situées de part et d'autre du 41<sup>e</sup> parallèle. Une reconstitution de la couverture sédimentaire est proposée à partir de nombreux échantillons provenant des monts sous-marins Vigo, Porto et Galice. Les sédiments mésozoïques les plus anciens sont les calcaires bioclastiques d'âge jurassique supérieur à Crétacé inférieur. Le Crétacé supérieur est marqué par une sédimentation plus marneuse.

Le Cénozoïque est représenté par des sédiments de type pélagique, sur l'ensemble de la marge. Le forage 398 du Leg 47b D. S. D. P. ne permet pas de reconstituer toute l'histoire sédimentologique de la marge ibérique, dont l'histoire tectonique est compliquée. Si des corrélations semblent possibles avec la marge d'Afrique occidentale, elles se limitent aux niveaux dont le faciès résulte d'événements ayant affecté l'ensemble du domaine nord-atlantique, par exemple la présence de sédiments de type "black-shales" au Crétacé. Mais d'autre part, la situation particulière du forage, sur le flanc du Mont Vigo, a engendré un type de sédimentation qui est plus le reflet de la position géographique du site que de la sédimentation sur l'ensemble de la marge.

2) L'histoire sédimentaire du Golfe de Gascogne débute avec son ouverture, au Crétacé inférieur. Il consiste en une plaine abyssale comportant de nombreuses collines abyssales. Cette plaine abyssale est bordée de plateaux continentaux, très larges au Nord et à l'Est, étroits au Sud. Vigneaux (1974) divise le Golfe de Gascogne en quatre ensembles :

- Ensemble Armoricaïn,
- Ensemble Aquitain,
- Ensemble Espagnol,
- Ensemble Abyssal.

Nous nous intéressons ici plus particulièrement à l'ensemble armoricaïn et à l'ensemble abyssal, où se situent les forages analysés dans cette étude (Sites 400 et 401, 118 et 119) (fig. 1).

a) L'ensemble armoricain

Cette zone est considérée comme une marge continentale stable (Montadert et al., 1974), et la limite du plateau continental actuel correspond à la frontière du remplissage par progradation des sédiments tertiaires dans le Golfe de Gascogne.

Au Crétacé supérieur, on observe le passage d'une sédimentation néritique à une sédimentation purement pélagique (Pastouret et al., 1974 ; Auffret et Pastouret, 1979), durant la transgression cénomaniennne. Les apports terrigènes sont peu marqués à cette époque. Les dépôts du Crétacé supérieur sont des craies à nannofossiles plus ou moins marneuses. Un des événements principaux de la sédimentation dans cette région est un hiatus rencontré à la base du Crétacé supérieur, et semblant correspondre à un phénomène majeur d'ouverture de l'Océan Atlantique. Durant le Paléocène, les proportions d'éléments terrigènes augmentent, ainsi que les vitesses de sédimentation. On peut aussi observer une légère accélération de la circulation de fond (Auffret et Pastouret, 1978).

Les changements les plus importants dans la sédimentation de la marge nord du Golfe de Gascogne se produisent du sommet du Paléocène à l'Oligocène, avec l'instauration d'un régime de circulation profonde beaucoup plus actif, accompagné d'une augmentation de la productivité d'organismes siliceux. La sédimentation terrigène augmente aussi légèrement à l'Eocène, sans doute en relation avec les événements tectoniques qui ont affecté la zone pyrénéenne à cette époque (Auffret et Pastouret, 1978).

A partir du Miocène, les apports terrigènes et la production biologique s'accroissent considérablement, corrélativement aux phases orogéniques alpines et à un refroidissement climatique important. Les sédiments déposés sont des craies et des marnes à nannofossiles, et c'est à cette même époque que l'on observe la progradation d'un talus continental au Nord du bassin aquitain. Au Pliocène, les taux de sédimentation terrigène et biogène augmentent encore, induisant des dépôts importants de boues à nannofossiles plus ou moins marneuses. Les alternances de boues sans marnes et de boues marneuses peuvent être une conséquence des oscillations du climat qui passe de périodes froides et sèches (boues à nannofossiles) à des périodes tempérées humides (boues marneuses à nannofossiles) (Auffret et Pastouret, 1979). Le Pléistocène est représenté par des boues pélagiques carbonatées, parfois marneuses, déposées sous un régime de courants de fonds importants. Les courants de turbidité semblent avoir joué un rôle mineur dans la sédimentation de la marge nord du Golfe de Gascogne, au profit de

la prépondérance des courants de fonds, à partir de l'installation d'un Océan Atlantique stratifié (Auffret et Pastouret, 1979).

#### b) L'ensemble abyssal

Les sédiments dragués sur le fond de la plaine abyssale du Golfe de Gascogne fournissent peu de données sur l'histoire sédimentologique de cette zone. Seuls les deux forages exécutés par le Glomar Challenger lors du Leg XII dans la région du Cantabria Seamount (sites 118 et 119) permettent de déterminer quels furent localement les principaux modes de sédimentation dans la plaine abyssale. La différence de profondeur des deux sites fait que, malgré leur proximité, la sédimentation y a pris des formes différentes selon les époques (Laughton, Berggren et al., 1972).

Les sédiments les plus anciens forés contiennent des éléments crétacés : il s'agit de boues à coccolithes remaniées dans des sédiments turbiditiques paléocènes. Au Paléocène, une épaisse séquence de turbidites s'accumule au site 119, alors qu'au site 118 le basalte affleure. Le Paléocène supérieur et l'Eocène inférieur sont constitués d'assises rouges pélagiques, dont le dépôt est suivi d'une phase d'absence de sédimentation qui se poursuit jusqu'au Miocène au site 118. Sur le Cantabria Seamount (site 119), la sédimentation reprend dès l'Oligocène avec le dépôt de carbonates d'eau peu profondes, suivis de dépôts argileux contenant de nombreux nannofossiles. Les dépôts de turbidites à cet endroit existent à l'Oligocène et un peu au Miocène ; mais la surrection du Cantabria Seamount à l'Eocène supérieur, par rapport à l'ensemble de la plaine abyssale, fait qu'ils y sont très rares, et que seuls les éléments les plus distaux charriés par les courants de turbidité peuvent s'y déposer. Le site 118, plus représentatif de l'ensemble de la plaine abyssale, est caractérisé au Miocène moyen et supérieur par une phase de dépôts très lents, et peut-être d'érosion (Laughton, Berggren et al., 1972).

La sédimentation Plio-Pléistocène dans la plaine abyssale se présente sous la forme de turbidites plus ou moins grossières au site 118, et de boues et d'argiles silteuses, parfois à nannofossiles, au site 119.

#### c) LE BASSIN NORD-AMERICAIN

Les sédiments les plus anciens prélevés dans le bassin nord-américain par les sondages du D. S. D. P. datent de l'Oxfordien. Il s'agit de calcaires argileux rouges ou verts déposés en environnement bathyal profond et oxydant.

Cette sédimentation calcaire pélagique se poursuit jusqu'au Crétacé inférieur avec des calcaires gris. Localement, on trouve dans ces sédiments quelques débris bioclastiques et terrigènes, près de la marge continentale. La plupart des sédiments remaniés dans cette séquence correspondent au dépôt de turbidites fines (Jansa et al., 1979). La faible proportion de sédiments terrigènes dans ces dépôts peut témoigner de faibles précipitations et de reliefs peu accusés sur le continent voisin, ou d'une morphologie en amont favorisant le piégeage des éléments détritiques.

Graduellement, du Jurassique supérieur au Crétacé inférieur, la proportion d'éléments terrigènes augmente sur le plateau continental américain ; mais l'écho n'en apparaît sur la sédimentation profonde du bassin qu'au milieu du Crétacé inférieur (Barrémien). Durant le Crétacé moyen, la circulation océanique profonde n'existe pratiquement pas et les sédiments déposés présentent tous des caractères de milieux confinés.

Au Turonien, l'oxygénation des eaux profondes est à nouveau importante.

La faible profondeur de la C. C. D. (niveau de compensation des carbonates) défavorise le dépôt des sédiments carbonatés (Tucholke and Mountain, 1979). Pendant ce temps, l'influence terrigène s'accroît sur le plateau continental, et les sédiments du plateau recouvrent les récifs barrières qui s'étaient développés, formant une ride continentale le long du continent nord-américain.

A la fin du Crétacé (Maastrichtien), un abaissement rapide et bref de la C. C. D. permet le dépôt d'une couche de craie marneuse à travers l'ensemble du bassin. Sur le plateau continental, cette craie alterne avec des sédiments essentiellement terrigènes.

Durant le Paléocène et l'Eocène, les turbidites forment la majeure partie des sédiments du Bassin, s'étendant de plus en plus au large. Les organismes siliceux biogéniques se déposent aussi en grande quantités, et ceci jusqu'à la fin de l'Oligocène. Près du continent, durant l'Eocène, se déposent des argiles pélagiques et des sédiments carbonatés (Tucholke and Mountain, 1979). A la fin de l'Eocène, au Sud du bassin, on observe la surrection de la ride des Bermudes, et l'apparition de manifestations volcaniques. Ces phénomènes isolent les Bermudes de l'influence des turbidites terrigènes, mais sont à l'origine du dépôt local de turbidites volcanoclastiques.



- L'héritage, qui est le phénomène principal. Les minéraux argileux sont alors issus directement du continent par érosion, ou des produits d'altération du continent, ou des néoformations de la pédogenèse.

- Les transformations peuvent être ténues, ou majeures et menant alors à de nouvelles associations minérales.

- Les néoformations, dans des conditions particulières de chimisme.

- Les diagenèses, nuançant simplement le capital accumulé par héritage, ou amenant des transformations et néoformations.

Un des faits marquant des associations de minéraux argileux dans les sédiments de l'Océan Atlantique Nord est l'indépendance qui existe entre les proportions des différents minéraux et la profondeur à laquelle ils sont prélevés. Une autre caractéristique importante est l'indépendance existant entre la répartition des assemblages argileux et la lithologie le long des différentes colonnes sédimentaires des forages étudiés. On remarque aussi pour les périodes récentes, une correspondance assez étroite entre la répartition latitudinale des différents types de minéraux argileux dans les sédiments océaniques et la répartition à terre des argiles des sols et des zones d'altérations (Pedro, 1968 ; Chamley, 1979). Déjà mis en évidence lors d'études précédentes (Chamley, 1979, Chamley et al., 1978), ces trois phénomènes jouent en faveur d'une origine essentiellement détritique des argiles de l'Océan Atlantique Nord. D'autres mécanismes ont régi le dépôt des argiles dans un certain nombre de niveaux des forages étudiés ici. Il s'agit principalement de mécanismes de dégradation in situ des basaltes océaniques, dont les produits donnent un assemblage argileux essentiellement à base de smectite, et parfois de sépiolite (Chamley, 1979). On peut alors parler de minéraux néoformés en milieu océanique ou en milieu subaérien. Cette néoformation est confirmée par les analyses géochimiques des éléments majeurs et en traces (Chamley et al., 1978) et l'analyse des terres rares (Chamley et Bonnot, sous presse) mais reste extrêmement localisée (Chamley et Courtois, 1978).

Les phénomènes d'héritages étant les mécanismes majeurs régissant le dépôt des argiles des sédiments océaniques de l'Atlantique Nord, on peut alors les utiliser pour tenter d'avoir une idée des conditions régnant lors de leur formation, de leur érosion et de leur dépôt.

Les figures 4, 5 et 6, d'après Chamley (1979), illustrent les mécanismes d'érosion des différents minéraux argileux. Les assemblages qui en résultent

tent sont représentatifs des événements tectoniques ou climatiques ayant affecté les continents et marges continentales.

- Les périodes de stabilité tectonique sous climat chaud (Crétacé, Paléogène), se traduisent au niveau des minéraux argileux par la présence de smectites d'origine pédogénique formées dans la partie aval des bassins versants. La kaolinite est formée dans la partie amont, bien drainée, des bassins versants, mais n'arrive que peu ou pas en mer (fig. 4 et 5). On peut remarquer qu'une part importante des smectites de l'Océan Atlantique déjà étudiées, sont des montmorillonites de type beidellite (Giblin, 1979), qui paraissent typiques de l'évolution des minéraux argileux lors de la pédogenèse (Milot, 1964).

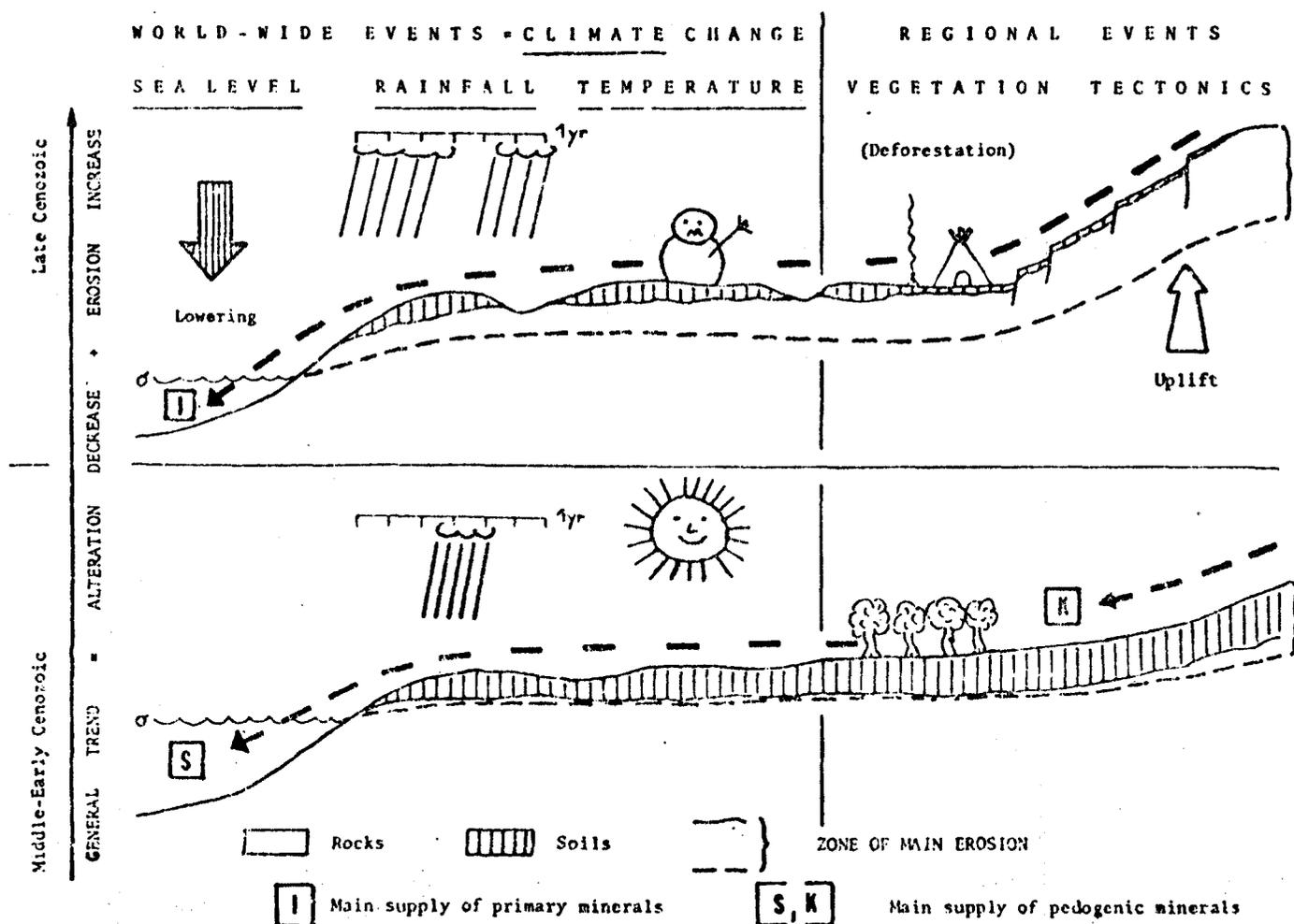


Figure 4 .- Evolution schématique des apports détritiques dans l'Océan Atlantique depuis le milieu du Paléogène. (D'après Chamley, 1979).

- Les périodes d'instabilité tectonique et/ou de climat froid ou aride, sont marquées par un mélange de minéraux primaires issus des roches cristallines (illite et chlorite), de smectites pédogéniques et de kaolinite quand

l'érosion active affecte la partie amont des bassins versants (fig. 4). D'une manière générale, l'instabilité tectonique se manifeste par une diversification et une plus grande variabilité quantitative des espèces minérales terrigènes.

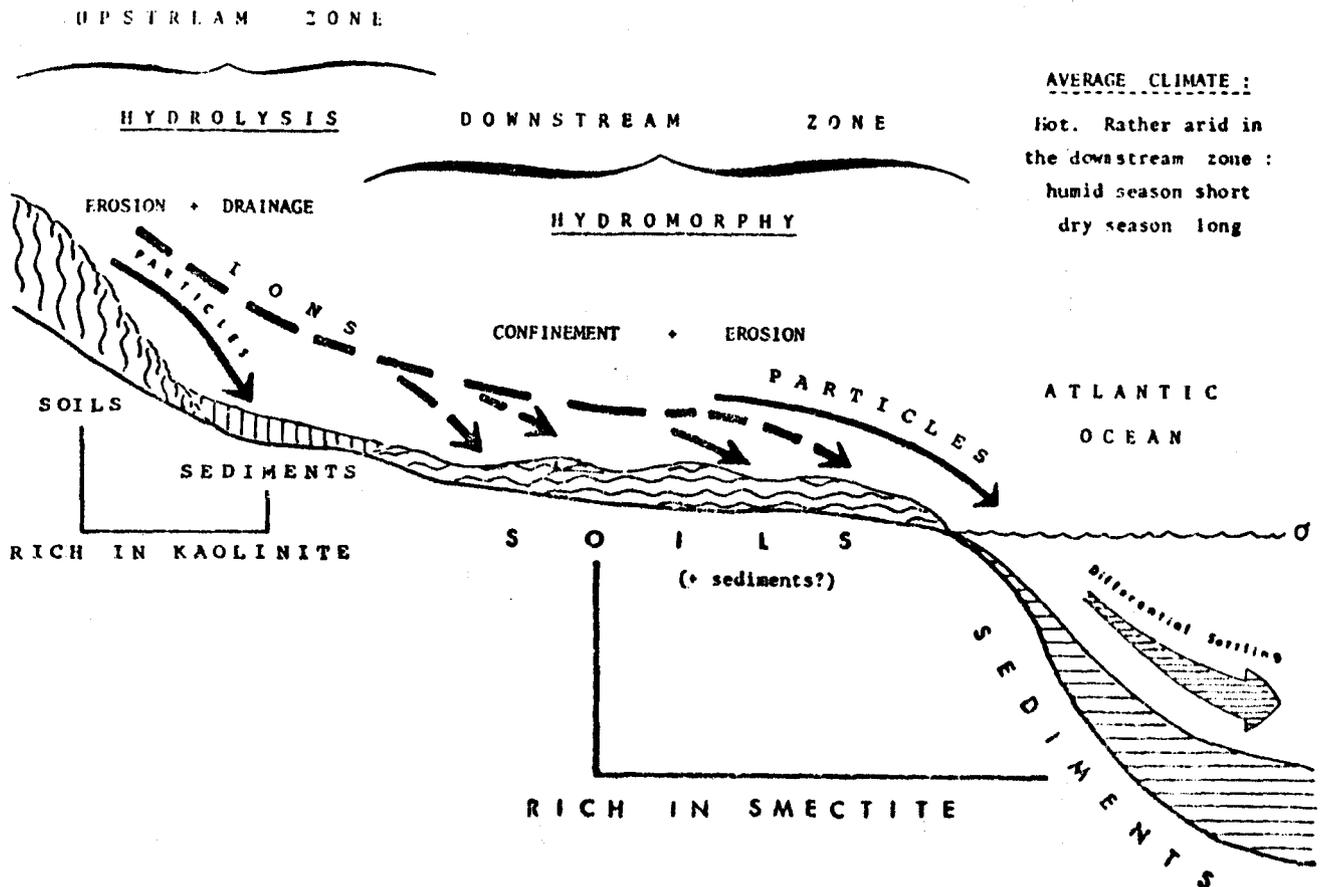


Figure 5 .- Origine possible des smectites des sédiments crétacés et paléogènes de l'Océan Atlantique. (D'après Chamley, 1979).

Les périodes de formation et de remaniement des argiles fibreuses correspondent à l'existence de bassins péri-marins confinés (Chamley, 1979), soumis à de fortes évaporations sous climat chaud à humidité contrastée (Millot, 1964), souvent sous régime transgressif (fig. 6). Malgré leur réputation de fragilité, les minéraux fibreux sont susceptibles de remaniements importants, comme en témoigne le fait que l'on ait pu en rencontrer dans des sédiments de type turbiditique (Chamley, 1979) et dans d'autres formations typiquement détritiques (Froget et Chamley, 1977). L'association fréquente de minéraux fibreux avec des minéraux primaires reflète une reprise importante de l'érosion active des marges, affectant aussi bien les bassins péri-marins des marges continentales que les roches des socles.

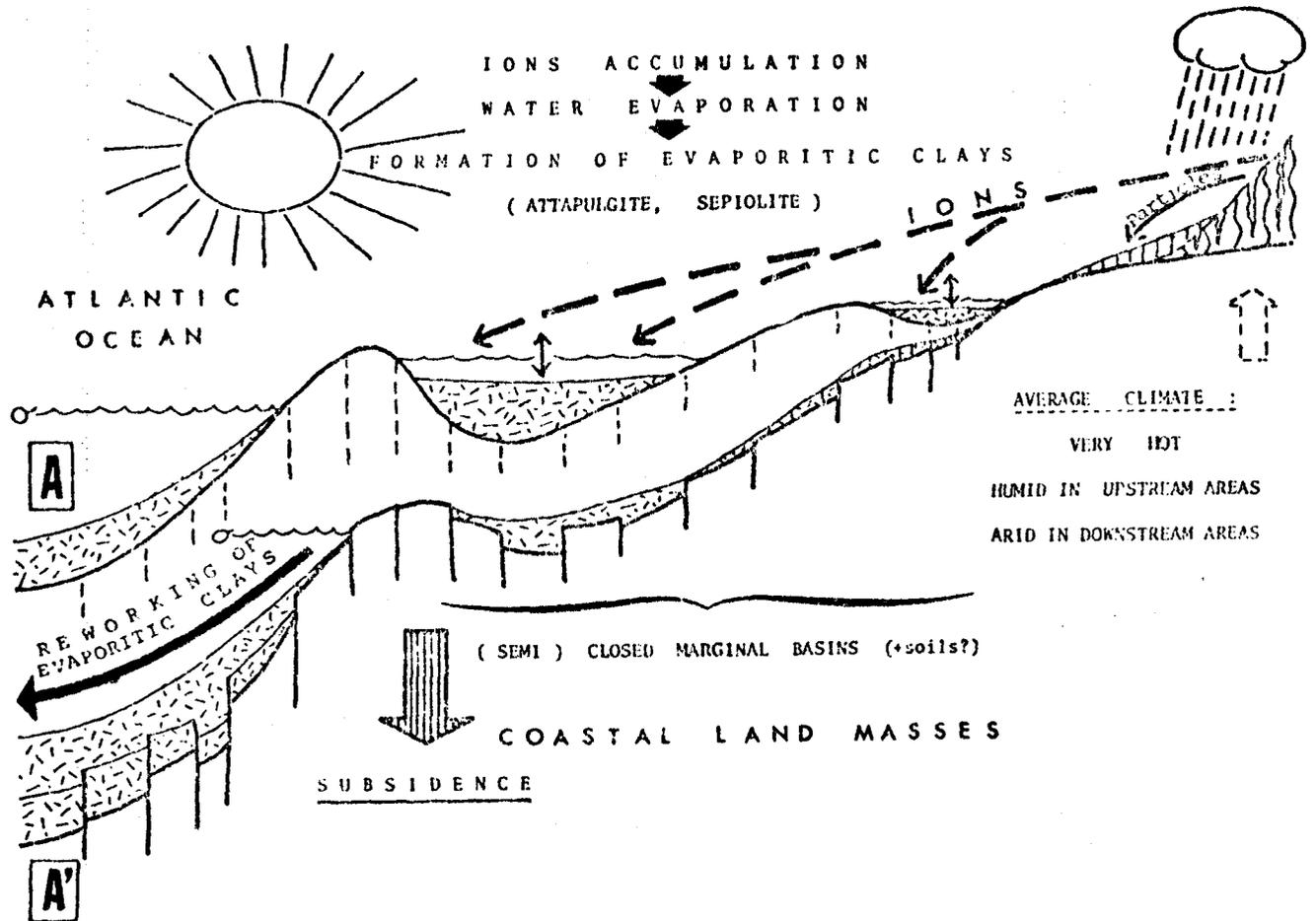


Figure 6 .- Interprétation de la formation et du remaniement des argiles évaporitiques. (D'après Chamley, 1979).

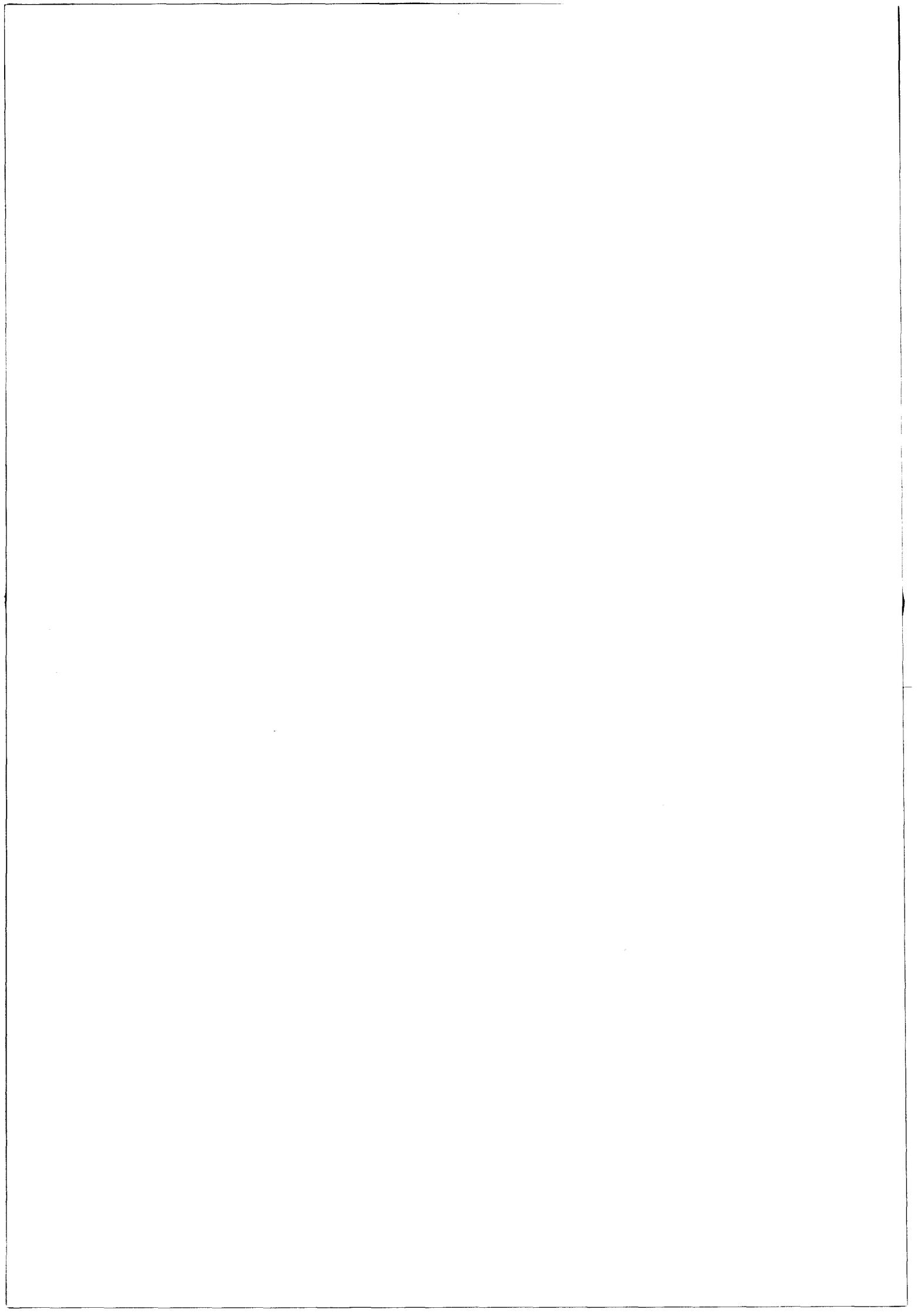
La présence de minéraux interstratifiés irréguliers est la plupart du temps concomitante de celle des minéraux primaires, illite et chlorite. Ces minéraux interstratifiés, dits d'altération ménagée (Millot, 1964), sont présents dans tous les niveaux des colonnes sédimentaires étudiées et à toutes les profondeurs, ce qui indique que la diagenèse d'enfouissement se fait très peu sentir sur les assemblages argileux en général (Chamley, 1979), car ces minéraux ne sont à peu près stables que dans des conditions de basse température et basse pression (Millot, 1964). Les minéraux interstratifiés irréguliers, associés aux minéraux primaires et parfois à la kaolinite ou aux minéraux fibreux, reflètent, par leur présence dans les sédiments, l'érosion des marges continentales, déstabilisées ou soumises à des climats peu hydrolysants (tempérés en moyenne).

L'influence locale de la diagenèse se fait parfois sentir par l'existence de minéraux non argileux associés, comme l'opale C. T., les zéolites du groupe de la clinoptilolite, parfois la pyrite.

Le volcanisme n'a aucune influence générale sur les assemblages argileux des sédiments de l'Océan Atlantique Nord. Les études géochimiques ont montré que l'influence de la ride médio-atlantique se fait sentir sur des distances modérées (Chamley et al., 1980) durant une période de temps assez restreinte après l'ouverture de l'Océan. Cette influence ne se traduit pas au niveau de la minéralogie des assemblages argileux, mais est marquée par les variations des teneurs de certains éléments métalliques dans les sédiments. Une influence volcanique se traduit par la domination du fer si elle est proche, et par celle du manganèse si elle est plus lointaine ou hydrothermale, ces deux dominations se traduisent au niveau de l'indice  $Mn^*$  (cf. ch. I, p. 10). Dans les deux cas, l'indice de détritisme D est très faible ( $D \ll 0,6$ ) (Debrabant et Foulon, 1979).

L'étude comparée des sites 105 et 367 D. S. D. F. (Bassins du Cap Hatteras et du Cap Vert ; Chamley et al., 1980) montre que les assemblages argileux sont indépendants de l'époque de dépôt, et que les niveaux où l'influence volcanique se fait sentir peuvent contenir des assemblages où les minéraux primaires dominant (Debrabant et Foulon, 1979). Par contre, à l'interface basalte-sédiment au site 105, on a pu noter un assemblage argileux, typique de l'altération du basalte, composé uniquement de smectite et de sépiolite, dans un niveau peu épais. Comme les niveaux immédiatement sus-jacents contiennent les minéraux typiques d'un héritage, on peut considérer que l'influence volcanique sur les argiles des sédiments océaniques est faible et ne s'exerce que dans des cas bien particuliers.

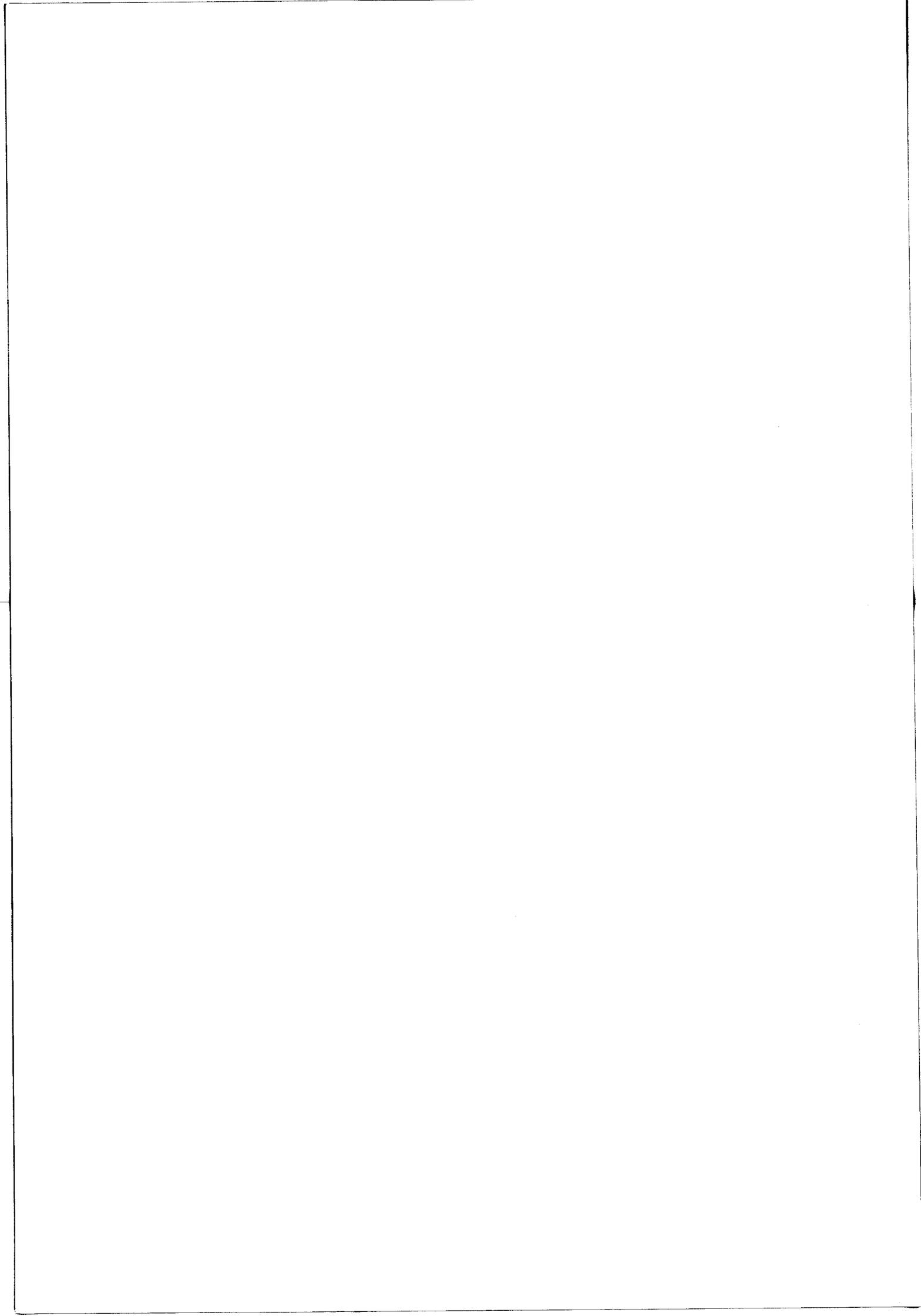
Puisque l'ensemble des faits observés précédemment est favorable à l'hypothèse d'une origine essentiellement détritique des minéraux argileux des sédiments de l'Océan Atlantique Nord, ces minéraux et les divers assemblages qu'ils constituent, peuvent tenir lieu de témoins des conditions régnant sur les continents proches du bassin océanique lors du dépôt. Les renseignements obtenus sont d'ordre climatique, tectonique et paléogéographique. Il faut cependant faire la part entre les assemblages minéralogiques témoins d'événements ayant affecté l'ensemble du domaine Nord-Atlantique et des assemblages reflétant des phénomènes locaux dus à des événements tectoniques ou à des conditions particulières de morphologie, de conditions de dépôt et de courantologie. Ce n'est qu'en effectuant des corrélations entre les divers événements minéralogiques des différents forages que l'on peut faire la part de l'importance d'un phénomène donné inscrit dans la minéralogie argileuse. C'est ce type de démarche que l'on va tenter de suivre dans le présent travail.



- CHAPITRE III -

DESCRIPTION DE LA MINÉRALOGIE ARGILEUSE DANS LES FORAGES DE

L'ATLANTIQUE NORD-OUEST : SITES 111, 112, 98, 101, 105.



LES SITES 111 ET 112 DU LEG XII DU NAVIRE OCEANOGRAPHIQUE "GLOMAR CHALLENGER",  
D'AVRIL A JUIN 1970, AU LARGE DE TERRE-NEUVE ET EN MER DU LABRADOR.

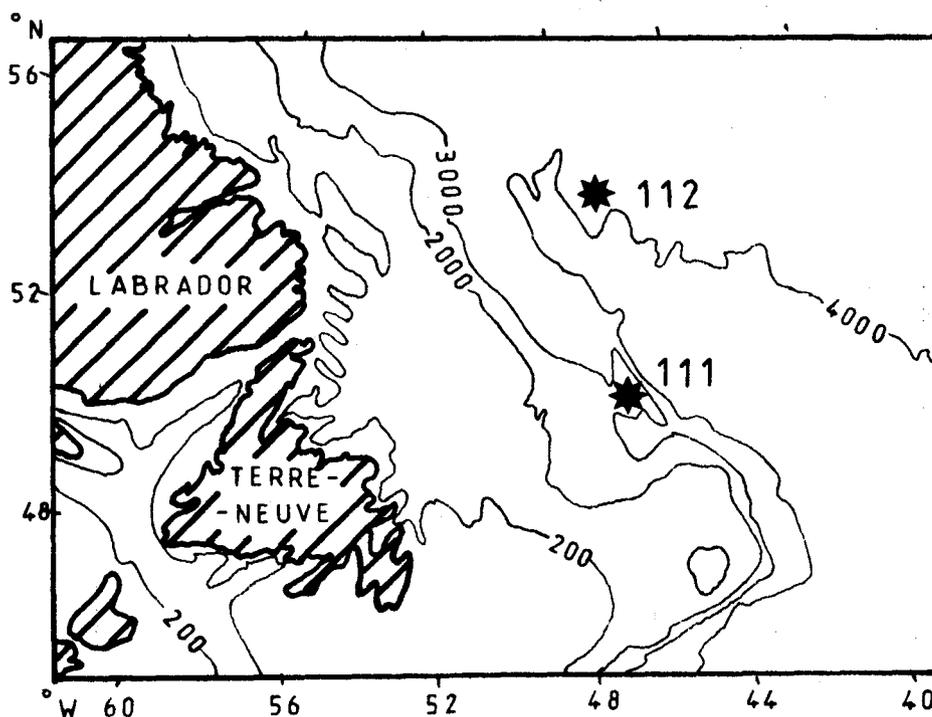


Figure 7 .- Situation géographique des sites 111 et 112 du D. S. D. P.

SITE 111 (fig. 7)

Le site 111 a été foré à l'Est de Terre-Neuve (Newfoundland), sur l'Orphan Knoll est un bombement situé à la limite du talus continental et bordé au Nord-Est par la plaine abyssale de la mer du Labrador ( $50^{\circ}25.57'N - 46^{\circ}22.05'W$ ). Deux forages (111 et 111A) ont été exécutés sous 1 797 mètres d'eau ; la pénétration maximale dans le sédiment a été de 250 mètres. Le forage 111 a été terminé dans des sédiments d'âge Jurassique (Bajocien). La série sédimentaire forée n'est pas très complète et il existe de nombreuses lacunes sédimentaires :

- entre le Jurassique supérieur et le Crétacé moyen (Albien) ;
- entre le Crétacé moyen et le Crétacé supérieur (Maastrichtien) ;
- entre le Crétacé supérieur et l'Eocène inférieur ;
- entre l'Eocène inférieur et l'Eocène supérieur ;
- entre l'Eocène supérieur et le Miocène.

On a pu définir le long de cette série les unités lithologiques suivantes :

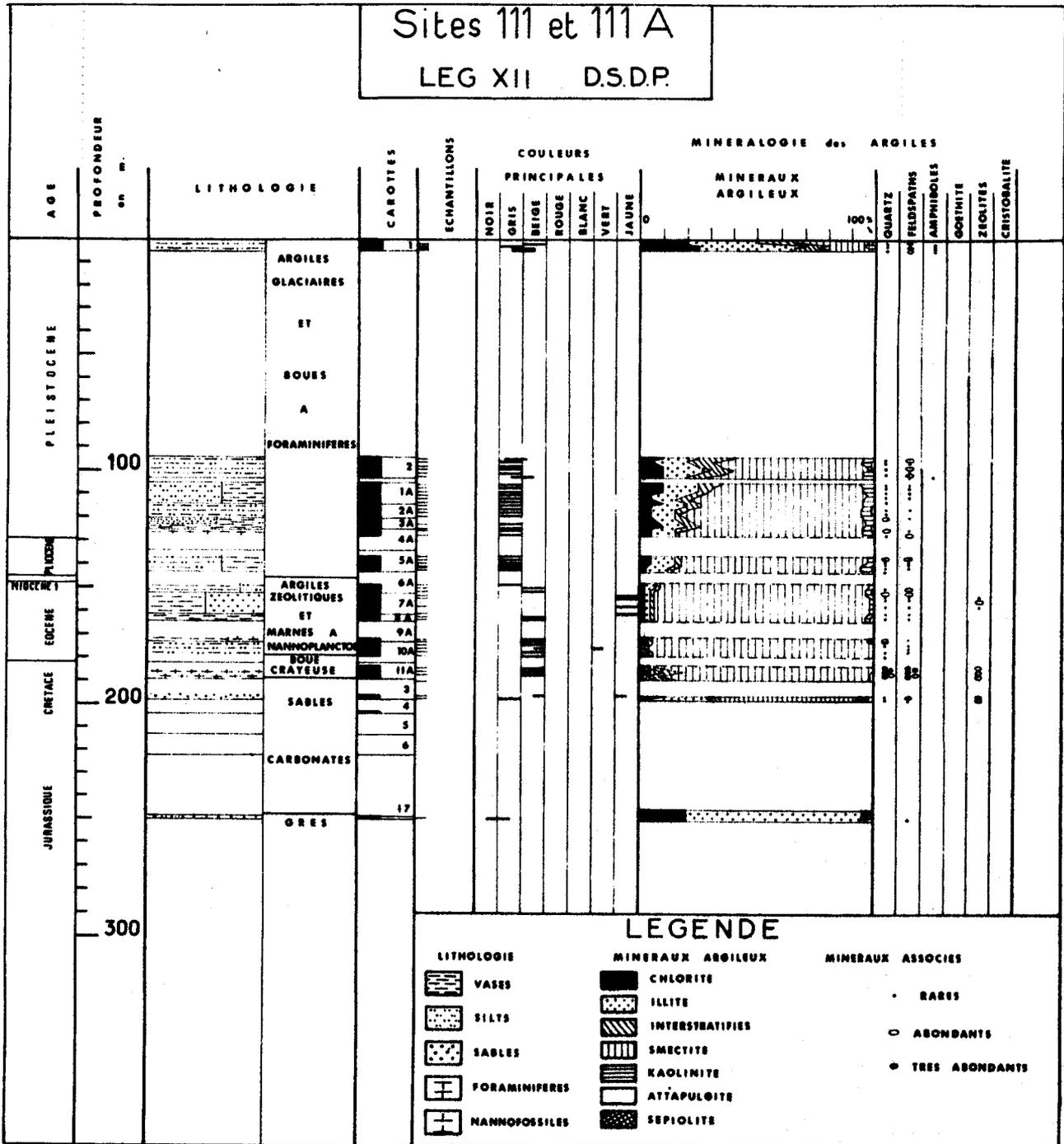
- Boues argileuses "glaciaires" alternant avec les boues à Foraminifères, du Pléistocène et du Pliocène (0-146 m. Carottes 1, 2, 1A à 5A).
- Marnes à nannoplancton et argiles "zéolitiques", du Miocène et de l'Eocène (146-179 m. Carottes 6A à 10A).
- Boues crayeuses, de l'Eocène et du Crétacé supérieur (179-189 m Carotte 11A).
- Sables carbonatés, calcarénites, calcaires coquilliers, du Crétacé (189-249 m. Carottes 11A, 3 à 6).
- Grès grossiers, du Jurassique (249-250 m. Carotte 7).

Ces unités lithologiques ont été déduites des commentaires des Initial Reports du Leg XII du D. S. D. P. (Laughton, Berggren et al., 1972). 54 échantillons ont été prélevés le long de la colonne sédimentaire, selon une répartition uniforme et l'analyse de la fraction argileuse a été effectuée par diffraction des rayons X.

#### RESULTATS (fig. 8)

- Jurassique (Bajocien). Les grès, grossiers à la base deviennent fins et argilo-silteux vers le sommet. Une discordance angulaire les sépare de la formation suivante. La fraction argileuse se compose essentiellement d'illite (70 %) et de chlorite (20 %), ainsi que de traces d'interstratifiés irréguliers et de kaolinite. On remarque que les minéraux associés dans la fraction fine consistent essentiellement en des feldspaths, et que le quartz en est pratiquement absent.

- Crétacé. Les sables carbonatés et calcarénites se présentent sous la forme d'un conglomérat enrobé d'une boue crayeuse fine. La smectite forme la majeure partie de la fraction argileuse (50 %). Elle est encore accompagnée de quantités notables d'illite et de chlorite. On note des traces d'interstratifiés irréguliers, de kaolinite et d'attapulgitite. Les minéraux associés sont surtout les feldspaths et les zéolites (clinoptilolite), ainsi qu'un peu de quartz.



BUS  
LITE

Figure 8 .- Assemblage minéralogique de la fraction argileuse des sédiments du site 111.

- Crétacé supérieur : Dans les boues crayeuses, la smectite domine dans la fraction fine. On trouve les minéraux argileux primaires (chlorite, illite, interstratifiés irréguliers) dans des proportions de 5 à 10 % de la fraction argileuse, avec des fluctuations. Les minéraux associés sont le quartz, les feldspaths et les zéolites, tous relativement abondants.

- Eocène et Miocène. Les marnes à nannoplancton et les argiles zéolitiques sont ici des sédiments très fins, pratiquement exempts de fraction grossière. Ils sont surmontés d'un mince niveau de sables glauconieux qui indiquerait une période de dépôts extrêmement lents. Le minéral argileux principal est la smectite (90 %). L'illite, la chlorite et les interstratifiés irréguliers sont toujours présents, ainsi que la kaolinite. On trouve l'attapulгите à l'état de traces de façon intermittente (carottes 6A et 8A). Les minéraux associés sont surtout le quartz et les feldspaths, ainsi que les zéolites (clinoptilolite) en moindre proportion.

- Pliocène et Pléistocène : Les argiles glaciaires et boues à foraminifères présentent une augmentation importante de la fraction argileuse. Dans les boues, la fraction sableuse est uniquement composée de foraminifères le plus souvent brisés. On note tout au long de cette formation, depuis le Pliocène, une diminution de la proportion de smectite, qui devient moins bien cristallisée, au profit des minéraux primaires : illite surtout, chlorite et interstratifiés irréguliers. Au sommet du Pléistocène, ces minéraux représentent 70 à 80 % de la fraction argileuse. La kaolinite demeure toujours présente (5 %). On trouve aussi des traces d'attapulгите à certains niveaux. Les minéraux associés sont les feldspaths et un peu de quartz.

#### COMMENTAIRES ET DISCUSSION

Le site 111, malgré les nombreuses lacunes sédimentaires existant, nous montre clairement l'évolution des caractéristiques de la fraction argileuse des sédiments forés depuis le Jurassique. La diversité des minéraux rencontrés, leur permanence tout au long de la colonne stratigraphique, indépendamment de la lithologie ou de la profondeur, nous montrent la prépondérance de la sédimentation argileuse d'origine détritique, en cet endroit, depuis le Jurassique moyen.

En effet, au Jurassique moyen (Bajocien), les sédiments les plus anciens forés, qui sont sans doute proches du plancher océanique basaltique (Laughton, Berggren et al., 1972), ne contiennent aucune trace de smectite.

Par contre, ce sont des minéraux provenant de l'érosion de roches cristallines ou de très vieilles roches sédimentaires qui constituent la phase argileuse du sédiment. Nous avons là un témoin de l'influence terrigène sur les débuts de la sédimentation océanique sur la marge ouest de l'Atlantique Nord. Nous devons cependant noter qu'au Jurassique, le site 111 n'occupait pas une position aussi occidentale qu'aujourd'hui (figure 9), mais était équidistant de l'Amérique du Nord et de l'Europe occidentale et situé au Sud de l'actuel plateau de Rockall. Hacquebard, Bloxam et Kelling (1972) (in Laughton, Berggren et al., 1972) ont étudié les particules charbonneuses des sédiments d'âge Bajocien forés au site 111. Ces particules seraient des anthracites à haute teneur en carbone, d'âge Paléozoïque. L'absence de charbons semblables à l'Est du continent américain suggère que ces particules ont une origine plus orientale. L'étude du Germanium qu'elles contiennent montrent une parenté certaine avec les anthracites du Pays de Galles. Cela nous permet de penser que les matériaux argileux détritiques contenus dans ces sédiments et déposés en même temps que ces particules ont la même origine géographique.

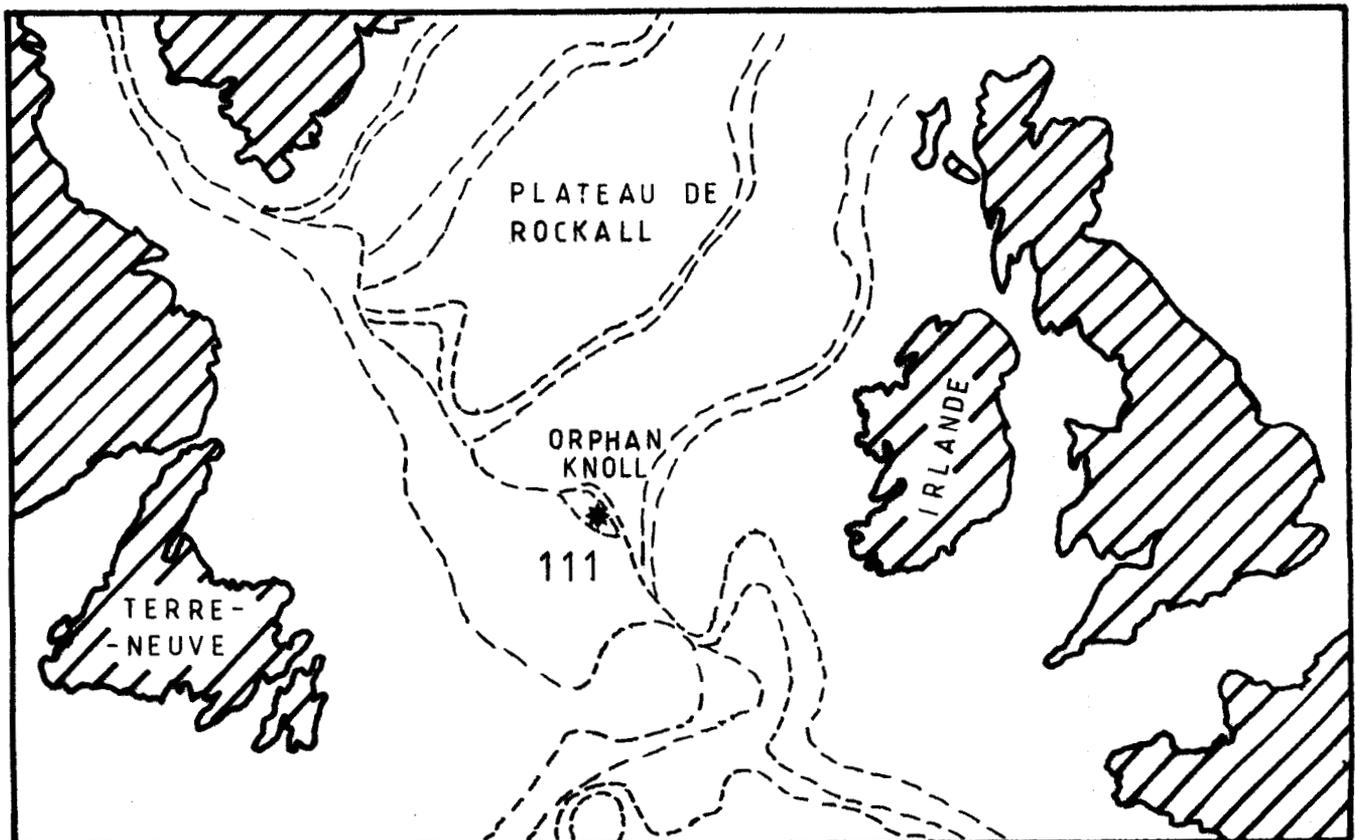


Figure 9 .- Situation du site 111 au Jurassique supérieur. (D'après Laughton, 1972).

Le Crétacé supérieur et l'Eocène sont marqués par l'abondance de smectite bien cristallisée (fig. ), dont les proportions sont indépendantes de la nature lithologique du sédiment foré. La présence de ce minéral dans les sédiments semble résulter de l'érosion de sols formés sur le continent à la faveur d'un climat chaud et humide, dans un paysage aux reliefs peu marqués (Milot, 1964). Seule la présence de zéolites dans les minéraux associés témoigne d'une certaine influence de la diagenèse précoce. Il existe au Crétacé supérieur deux périodes où les quantités de minéraux primaires augmentent légèrement, traduisant ainsi une érosion continentale plus active. Ces événements sont semblables à ceux rencontrés au Crétacé supérieur dans les forages du Leg XI, bien que les quantités de minéraux primaires rencontrés à cette époque au site 111 soient inférieures à celles trouvées plus au Sud (sites 98 et 100).

De l'Eocène supérieur au Pléistocène, l'augmentation régulière des quantités de minéraux argileux primaires au détriment de la smectite reflète les refroidissements continentaux liés aux glaciations tertiaires et quaternaires, favorables à l'érosion mécanique. Cependant, la cristallinité de la smectite au Pléistocène supérieur est mauvaise et très différente de celle de la smectite des sédiments crétacés où l'influence détritique se fait le plus sentir.

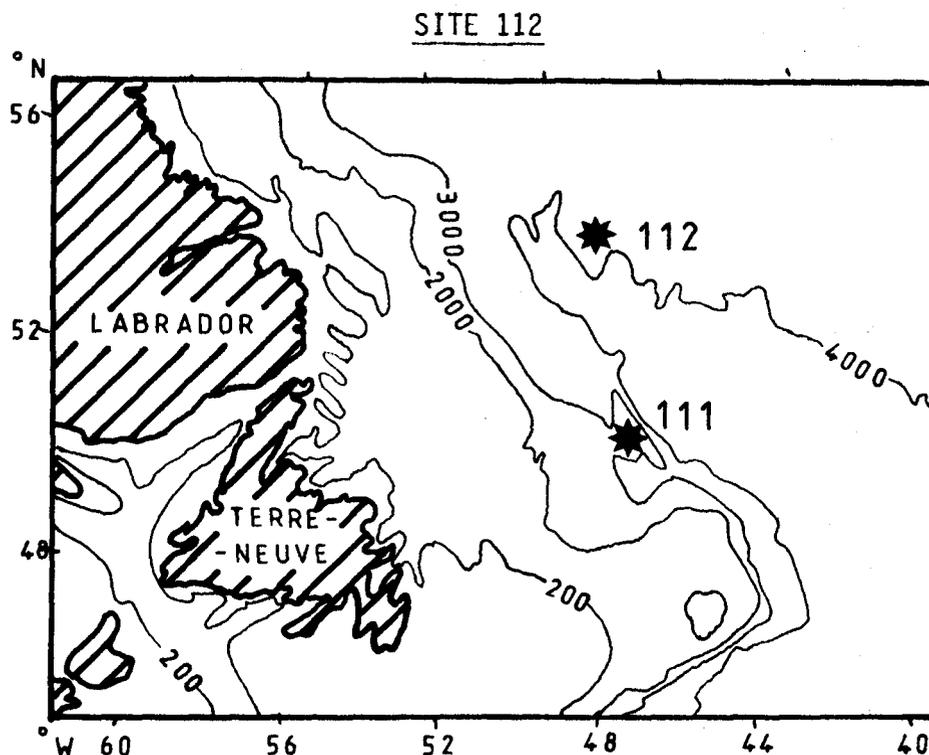


Figure 10 .- Situation géographique du site 112 du D. S. D. P.

Le site 112 a été foré au Sud de la Mer du Labrador et au Nord du site 111 décrit précédemment ( $54^{\circ}01.00'N - 46^{\circ}36.24'W$ ). Il comprend deux forages, 112 et 112A, exécutés sous 3 657 m d'eau. La pénétration maximale a été de 664 m. Les sédiments les plus anciens atteints par le forage 112 sont datés de l'Eocène inférieur, mais le forage se termine dans du basalte non daté surmonté d'argiles rouges probablement Eocène inférieur ou Paléocène. Le carottage a été effectué de manière très discontinue, mais permet cependant d'avoir une image régulière de la série sédimentaire. On ne remarque pas, contrairement au site 111, de lacune sédimentaire importante.

Le site 112 se trouve à la limite de la zone de dépôts par courants de turbidité. On ne trouve donc pas ce type de sédiments tout au long de la colonne sédimentaire (Davies et Laughton, 1972). Exception faite du basalte, on a pu définir cinq unités lithologiques différentes.

- Argiles silteuses terrigènes à galets et graviers glaciaires, alternant avec des argiles silteuses hémipélagiques à nanfossiles, du Pliocène et Pléistocène (carottes 1, 2, 1A à 4A : 0 à 109 m).

- Boue argileuse et marnes à Foraminifères et coccolithes, du Pliocène (carotte 5A ; 115-124 m).

- Boues et marnes grises silteuses à sableuses, pélagiques, à nanofossiles et foraminifères, du Miocène et de l'Oligocène (carottes 3 à 11 ; 150 à 333 m).

- Argiles et silts gris à nanofossiles, bioturbés, de l'Oligocène et de l'Eocène (carottes 12 à 15 ; 384 à 587 m).

- Argiles rouges comportant deux niveaux palagonitiques (carottes 12 à 15 ; 652 à 659 m). L'âge présumé de cette formation est le Paléocène.

L'étude de la sédimentation argileuse au site 112 est basée sur 55 échantillons prélevés régulièrement tout le long de la colonne sédimentaire. L'analyse par diffraction des rayons X a donné les résultats suivants :

#### RESULTATS (fig. 11 et 11 bis)

- La fraction argileuse est très homogène du Paléocène (?) à l'Oligocène inférieur. Elle est dominée par la smectite qui représente 90 à 95 % des particules fines. On relève des traces de kaolinite à l'Eocène inférieur. L'illite, les interstratifiés irréguliers et l'attapulгите sont présents en traces de l'Eocène inférieur à l'Oligocène inférieur. La lithologie ne présente pas de variation importante durant cette période et la composition de la fraction argileuse est elle aussi extrêmement constante. Les minéraux associés aux argiles sont principalement les feldspaths et surtout le quartz. L'opale C. T. apparaît en traces à l'Eocène supérieur et à l'Oligocène inférieur (carottes 12 et 13).

- A l'Oligocène moyen (carotte 11), l'illite augmente par rapport à la smectite et la chlorite apparaît. La smectite représente encore 85 à 95 % de la fraction argileuse. La kaolinite réapparaît en traces et l'attapulгите est présente de temps en temps en faible quantité. Les minéraux associés, quartz et feldspaths, ne sont plus aussi abondants. On note la présence de clinoptilolite en traces dans les boues siliceuses de l'Oligocène supérieur. Jusqu'au Miocène inférieur, la composition de la fraction argileuse varie peu. Simplement, les quantités d'illite et d'interstratifiés irréguliers atteignent localement 10 % de la quantité d'argiles.

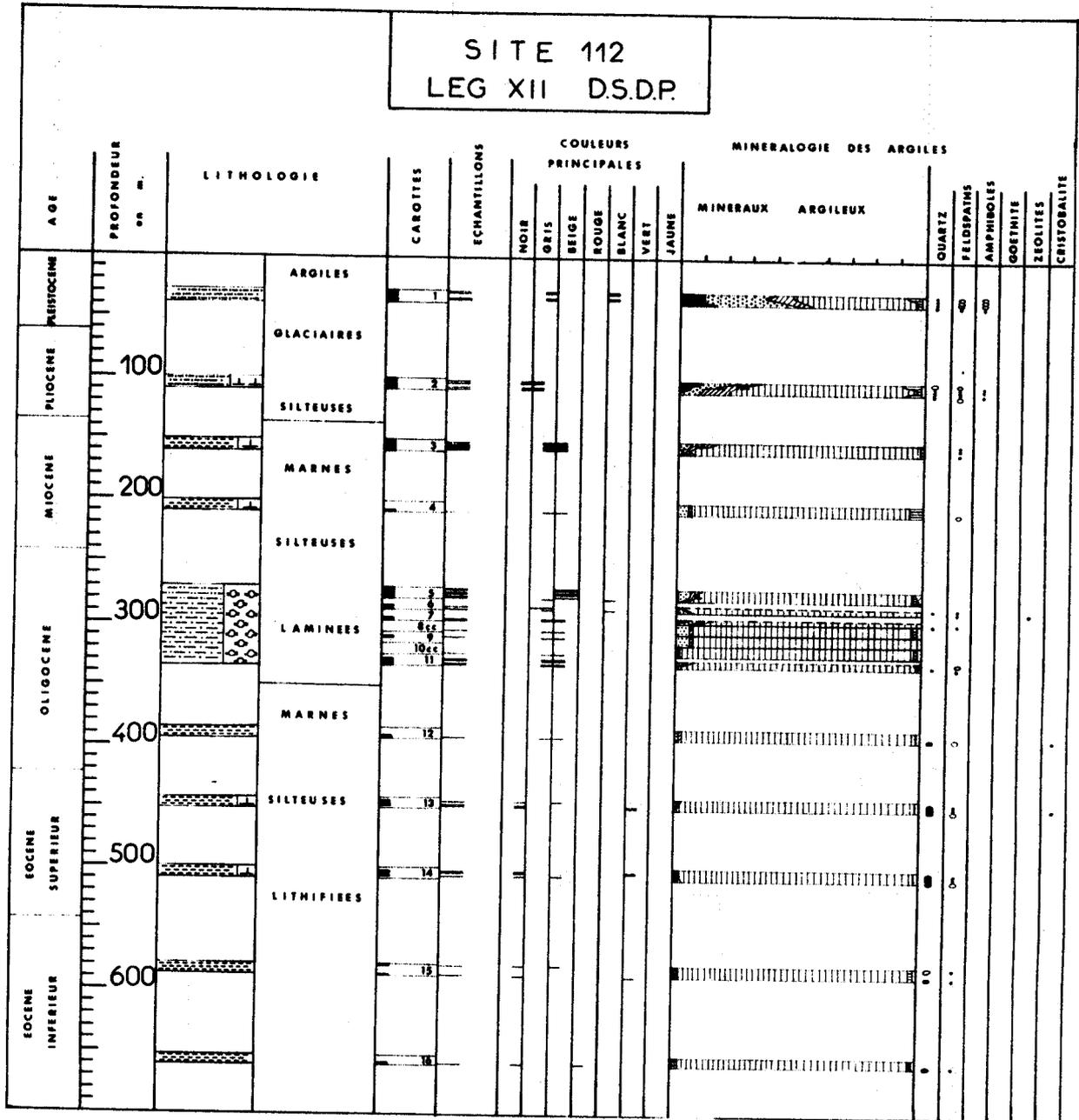


Figure 11 .- Site 112 - Minéralogie de la fraction sédimentaire argileuse.



- Au Miocène supérieur (carotte 3), l'augmentation des minéraux argileux primaires (illite, chlorite et interstratifiés irréguliers) se poursuit. La smectite domine encore largement la fraction argileuse, mais vers le haut de la carotte, elle ne présente plus que 80 % des argiles. Les minéraux associés sont limités aux feldspaths.

- Du Pliocène au Pléistocène, la quantité de smectite va en diminuant vers le sommet de la série, au profit surtout de l'illite et de la chlorite. Parallèlement, on note l'augmentation des quantités de minéraux associés, quartz et feldspaths et l'apparition des amphiboles. Au Pléistocène supérieur, les minéraux primaires représentent 50 % de la fraction argileuse.

### COMMENTAIRES

Le cortège argileux des sédiments du site 112 est dominé par les smectites, dont la quantité ne diminue de façon notable qu'à partir du Mio-Pliocène.

Comme dans le cas du site 111, le fait marquant de la succession minéralogique est l'augmentation régulière durant le Néogène des quantités de minéraux primaires et d'altération ménagée, signe des refroidissements mondiaux cénozoïques et d'une augmentation de l'érosion par rapport à l'altération.

Les minéraux typiques d'une diagenèse précoce, zéolites et opale C. T., n'apparaissent qu'en faibles quantités à l'Oligocène. Ce fait et la relative indépendance existant entre la minéralogie et la série lithologique favorisent l'hypothèse d'une origine détritique des smectites. La cristallinité des smectites (indice E) est bonne durant le Paléogène et le Miocène et se dégrade à partir du sommet du Pliocène. Dans le cas de l'hypothèse d'une origine détritique de ces minéraux, les smectites bien cristallisées correspondent à des minéraux formés dans des sols de bas fonds, mal drainés, sous climat semi-aride (Millot, 1964), les smectites du Plio-Pléistocène correspondant plutôt à des minéraux d'altération en milieu bien drainé, sous climat tempéré humide.

On peut constater que tout au long du forage du site 112, les smectites sont en quantités plus importantes que dans les autres forages de la marge Ouest-Atlantique.

On peut trouver à cela plusieurs origines :

- Un plus grand éloignement des sources de minéraux détritiques primaires, le forage étant situé au milieu de la plaine abyssale de la mer du Labrador : la smectite est en effet fréquemment favorisée dans les dépôts du large par le mécanisme de la sédimentation différentielle.

- Le bouclier canadien a sans doute fourni une grande partie des éléments terrigènes déposés au site 112. Or, les auteurs estiment que cette région a été le théâtre d'un volcanisme important, au Paléozoïque (Stockwell et al., 1979). L'altération de ces grandes épaisseurs de roches volcaniques a pu donner des smectites en quantités importantes (Millot, 1964).

- L'installation de grands courants de fonds a favorisé le dépôt d'apports septentrionaux (Davies et Laughton, 1972). Ces apports contiennent actuellement de fortes proportions de smectites (Zimmerman, 1975) et on peut penser qu'il en est de même depuis une période de temps assez longue. Ces smectites seraient essentiellement d'origine volcanique et proviendraient, selon Zimmerman, des bassins d'Islande, du plateau de Rockall et de la zone de Reykjanes.

LES SITES 98, 100, 101 ET 105 DU LEG XI DU NAVIRE OCEANOGRAPHIQUE "GLOMAR CHALLENGER" ONT ETE FORES D'AVRIL A JUIN 1970, SUR LA MARGE ET DANS LE BASSIN NORD-AMERICAIN.

SITE 98 (fig. n° 12)

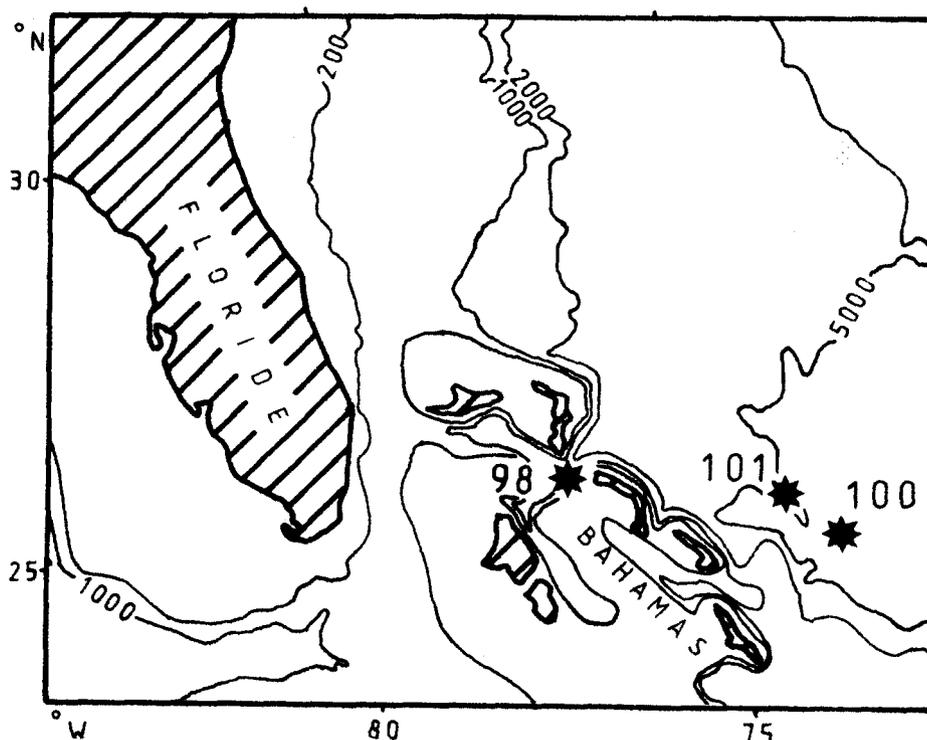


Figure 12 .- Situation géographique du site 98.

Le site 98 a été foré par 2 769 m de profondeur dans le Nord-Est du "Providence-Channel", situé au sein du plateau des Bahamas, au Nord-Est de l'île Andros (25°22.95'N - 77°18.68'N). La pénétration a été de 357 m et la série forée s'étend du Santonien au Pléistocène sans avoir recoupé de roche volcanique. On peut diviser cette série en trois unités lithologiques distinctes :

- Des calcaires durs, alternant vers le haut avec des boues à foraminifères et nannofossiles, d'âge santonien et campanien (carottes 13 à 15 ; 272 à 357 m).

- Des craies et boues à nannofossiles et foraminifères, du Paléocène et de l'Eocène (carottes 7 à 12 ; 167 à 241 m).

- Des boues à foraminifères et nannofossiles, de l'Oligocène au Pléistocène (carottes 1 à 6 ; 0 à 102 m).

### RESULTATS (fig. 13)

Seule la partie supérieure des calcaires durs crétacés a livré suffisamment d'argile pour effectuer l'analyse diffractométrique. L'assemblage argileux est dominé par la smectite, accompagnée d'illite et d'un peu de sépiolite et de chlorite. Les craies et boues à nannofossiles et foraminifères du Paléocène et de l'Eocène contiennent essentiellement de la smectite (80 %) et de l'illite (5 à 10 %). On relève aussi des traces d'attapulгите dans les sédiments de l'Eocène et un épisode important à attapulгите dans la partie supérieure de ces sédiments. La kaolinite est présente en faible quantité. Du Crétacé à l'Eocène, les minéraux non argileux associés sont les feldspaths et les zéolites, ainsi que localement l'opale C. T.

De l'Oligocène (?) au Pléistocène, l'illite et la chlorite augmentent régulièrement, accompagnés de minéraux interstratifiés irréguliers, en traces. La kaolinite est présente en faibles quantités (5 à 10 %). L'attapulгите est ubiquiste alors que la sépiolite n'apparaît qu'épisodiquement. Toutes deux ne sont présentes qu'en traces. Parmi les minéraux non argileux associés, les feldspaths sont constants et augmentent au sommet de la série. Le quartz apparaît au Miocène, ainsi que la pyrite. Les amphiboles et la goethite sont présentes au Plio-Pléistocène.

### COMMENTAIRES

La fraction argileuse des sédiments du site 98 est dominée par les smectites, accompagnées de minéraux primaires, de kaolinite, localement d'un peu de minéraux fibreux, jusqu'au sommet du Paléogène. A partir du Miocène, les minéraux primaires et d'altération ménagée augmentent jusqu'à l'actuel.

Le mélange d'illite et de smectites au Crétacé supérieur témoigne d'apports détritiques importants à cette époque, traduisant ainsi une certaine instabilité de la marge nord-américaine. Puis les smectites deviennent le minéral dominant, reflétant probablement le développement de sols sur le continent proche à la faveur des climats chauds et à humidité contrastée. La présence d'attapulгите détritique à l'Eocène, déjà observée dans les forages de la marge Est, atteste de la présence de bassins péri-marins semi-clos, où elle a pu se former par phénomène évaporitique.

**SITE 98 DSDP, Leg II**

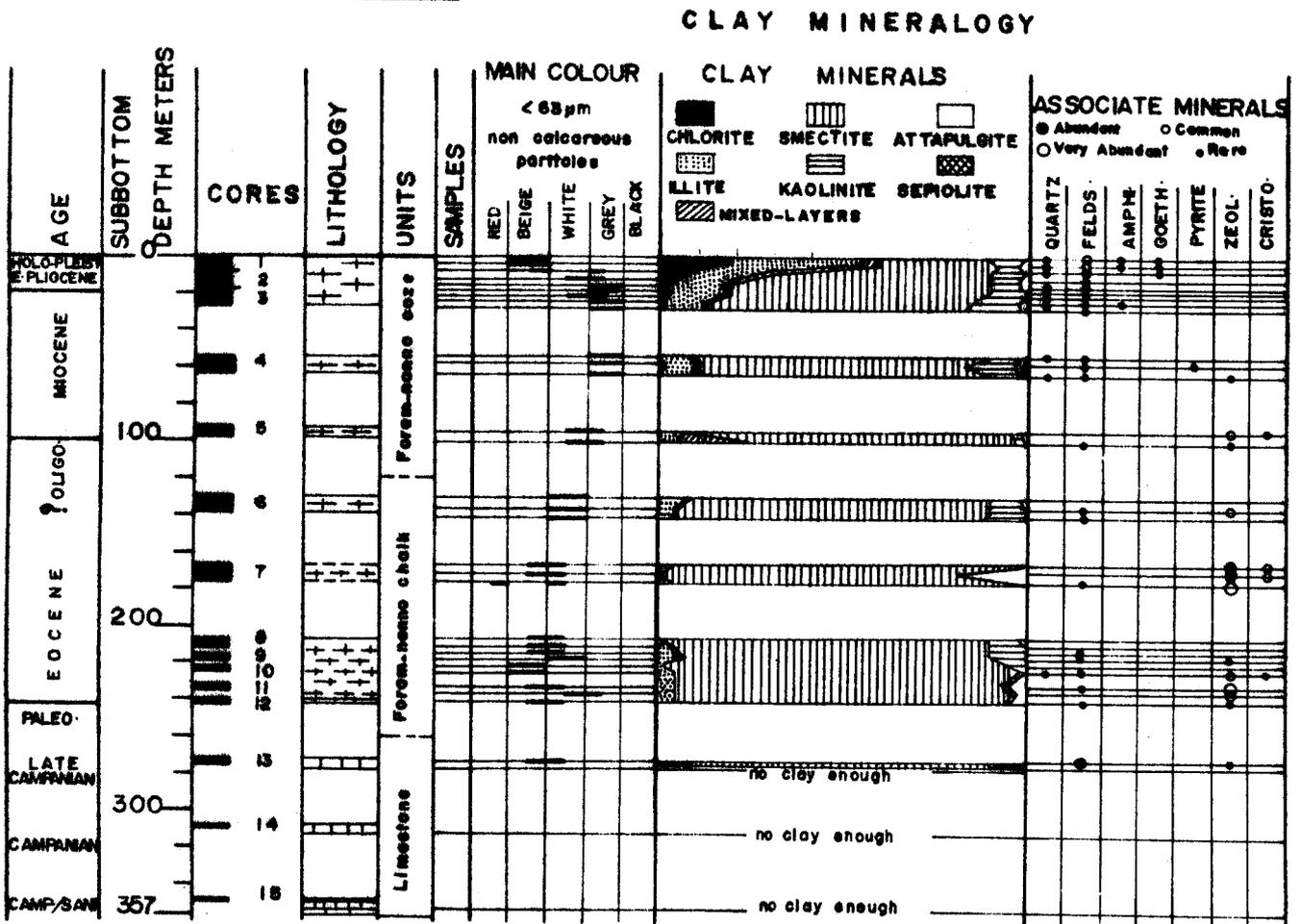


Figure 13 .- Leg II - Site 98 - Minéralogie de la fraction sédimentaire argileuse.



Dès l'Oligocène et la base du Miocène, les grands refroidissements mondiaux sont marqués par la nette augmentation des minéraux primaires et d'altération ménagée, illite, chlorite et interstratifiés irréguliers. Cette tendance est encore mieux marquée au Plio-Pléistocène, de même que dans les autres forages de l'Atlantique Nord, soulignant ainsi l'instauration du régime glaciaire-interglaciaire du Quaternaire, favorable aux phénomènes d'érosion mécanique accrue.

## SITES 100 ET 101

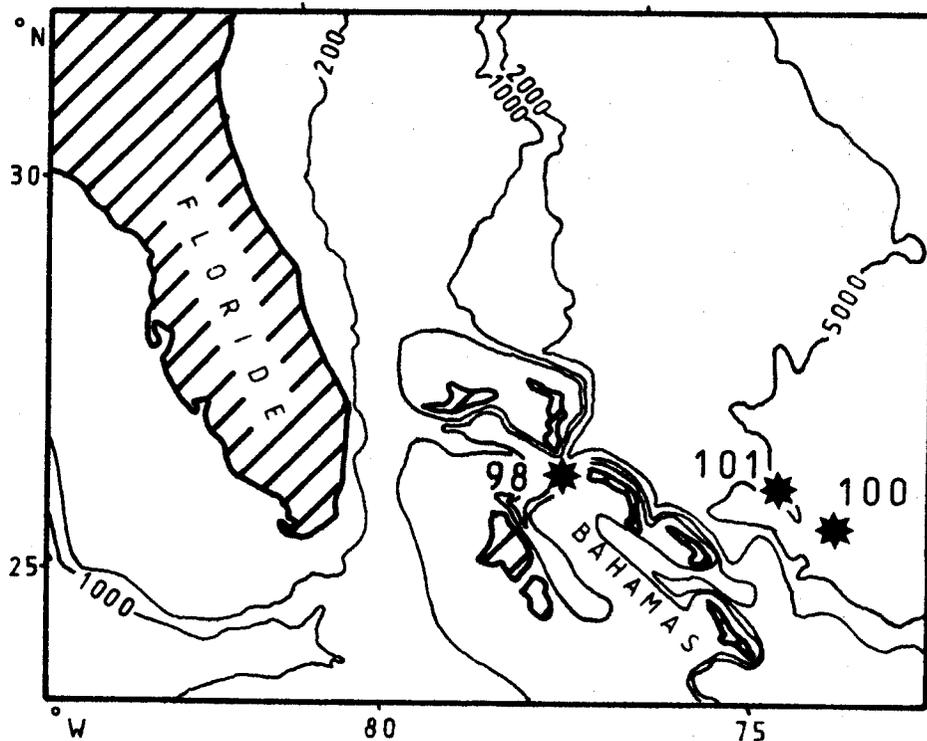


Figure 14 .- Situation géographique des sites 100 et 101 du D. S. D. P.

Localisés dans la même région que le site 98, les sites 100 et 101 ont été forés à l'Est des Bahamas respectivement sous 5 325 et 4 868 m d'eau. Le site 100 recouvre des sédiments d'âge callovien à tithonique. La pénétration maximale a été de 331 m. Le forage du site 101 s'est terminé dans des sédiments d'âge néocomien, à 691 m sous la surface sédimentaire (Site 100 :  $24^{\circ}41.28'N - 73^{\circ}47.95'W$  ; Site 101 :  $25^{\circ}11.93'N - 74^{\circ}26.31'W$ ). Les deux forages permettent d'observer une série stratigraphique s'étendant du Jurassique supérieur au Cénozoïque supérieur et reposant sur le substratum basalitique. Cependant la séquence sédimentaire forée présente un hiatus important entre le Crétacé inférieur et le Miocène supérieur.

Le forage du site 100 a atteint le basalte, qui est surmonté de calcaire dur d'âge callovien à oxfordien. Le calcaire est lui-même surmonté d'un niveau de calcaire crayeux, rouge, argileux qui s'étend du Callovo-Oxfordien au Tithonique. Au site 101, le Néocomien est représenté par des calcaires laminés. Ensuite, du Barrémien à l'Albien, se trouvent des argilites noirâtres à grises (faciès black-shales), ainsi que des boues hémipélagiques grises. Celles-ci se poursuivent au Mio-Pliocène, intercalées de lits plus silteux.

## RESULTATS (fig. 15)

La fraction argileuse des calcaires durs callovo-oxfordiens, intercalés avec le basalte océanique, se compose uniquement de smectite, remarquablement bien cristallisée. La fraction minérale non argileuse associée se compose uniquement de quartz. Dans les calcaires jurassiques sus-jacents (site 100, carottes 10 à 7), l'illite et la chlorite ainsi que l'attapulgite dominent la fraction argileuse. Elles sont accompagnées de minéraux interstratifiés irréguliers et de smectite, moins bien cristallisée que précédemment. La kaolinite apparaît par endroits en traces. Les minéraux associés sont le quartz et les feldspaths, en quantité moyenne.

Au Jurassique supérieur et au Crétacé inférieur (Tithonique à Valanginien), la smectite domine à nouveau la fraction argileuse. Elle est accompagnée d'illite et de minéraux interstratifiés irréguliers, ainsi que de traces de chlorite. L'attapulgite n'existe plus, si ce n'est en traces sur les micrographies.

Les calcaires et black-shales du Crétacé inférieur (Néocomien-Albien) sont dominés par la smectite accompagnée de traces d'illite et parfois de minéraux interstratifiés irréguliers. Un niveau, au Barrémien (carotte A6), est dominé par l'illite et les interstratifiés, ainsi que par la chlorite et la kaolinite. Les minéraux associés sont le quartz et les feldspaths, plus rares. La pyrite apparaît en faibles quantités au Barrémien.

Après le hiatus Crétacé supérieur à Miocène supérieur, la quantité de smectite diminue dans la fraction argileuse des sédiments, et ceci jusqu'au sommet de la série. Toutefois, les quantités de minéraux primaires (illite, chlorite, minéraux interstratifiés irréguliers) n'excèdent pas 30 % de la fraction argileuse. La kaolinite est toujours présente (10 %) ainsi que l'attapulgite en traces. La sépiolite apparaît parfois en quantité faible. Les minéraux associés sont le quartz et les feldspaths ubiquistes et les amphiboles au Pliocène.

## COMMENTAIRES

L'abondance et la cristallinité exceptionnelle de la smectite contenue dans les calcaires jurassiques surmontant le basalte, de même que les études chimiques (Debrabant, comm. orale), ne laissent aucun doute quant à son origine qui est liée à l'altération sous-marine de matériel volcanique.



Dans les niveaux immédiatement sus-jacents, la cristallinité de la smectite diminue et les quantités de minéraux primaires et de minéraux fibreux augmentent. L'attapulгите se présente en microscopie électronique à transmission sous un aspect trapu et cassé, qui amène à penser qu'elle est d'origine détritique. Sa présence, associée à l'illite et aux minéraux interstratifiés irréguliers, reflète une période d'instabilité des marges et d'érosion mécanique active sur le continent proche, liée aux premières phases d'ouverture de l'Océan Atlantique Nord-Ouest.

A partir du Jurassique supérieur et durant la majeure partie du Crétacé, la smectite moyennement à bien cristallisée domine la fraction argileuse, comme dans l'ensemble des forages de l'Océan Atlantique. Elle est sans doute principalement issue de l'érosion de sols formés sur le continent à la faveur de climats chauds à humidité contrastée (Millot, 1964).

Au Barrémien, l'existence d'un épisode à minéraux primaires dominants reflète une activation de l'érosion mécanique, probablement liée à une phase d'élargissement de l'Océan et à une accélération de la subsidence de la marge.

Du Miocène à l'Actuel, l'assemblage argileux dans les sédiments du site 101 est semblable à celui rencontré jusqu'ici à cette période sur les marges atlantiques. Les minéraux primaires augmentent vers le haut de la série, au détriment de la smectite, témoignant des refroidissements mondiaux cénozoïques.

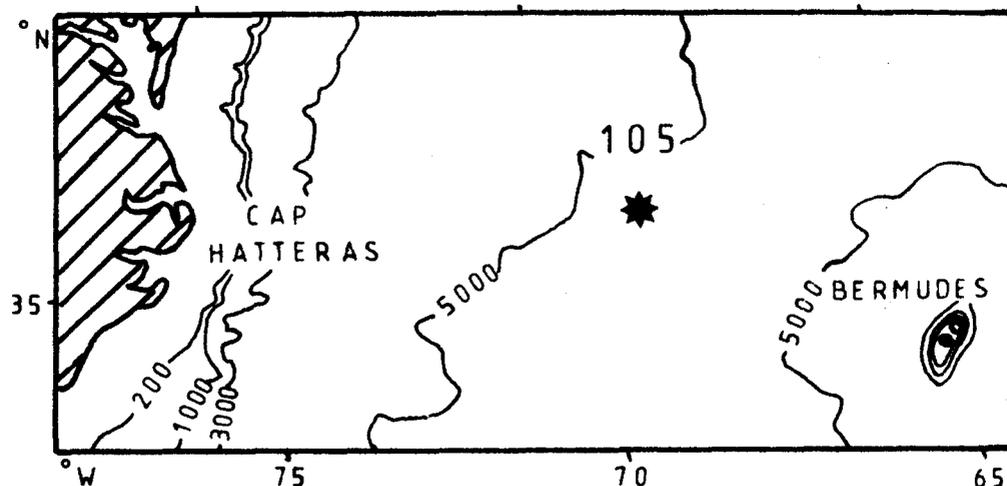
SITE 105

Figure 16 .- Situation géographique du site 105 du D. S. D. P.

Le site 105 a été foré dans les collines sous-marines de la ride inférieure du Cap Hatteras ( $34^{\circ}53.72'N - 69^{\circ}10.40'W$ ) sous 5 231 m d'eau. La pénétration totale dans le sédiment a été de 633 m et le forage a atteint des basaltes d'âge jurassique. La série sédimentaire traversée, qui s'étend de l'Oxfordien-Kimméridgien à l'Actuel, se décompose selon les unités lithologiques suivantes :

- Basaltes, calcaires et calcaires argileux intercalés, de l'Oxfordien au Kimmeridgien (carottes 41-43 ; 624-633 m).

- Calcaires argileux rouges, du Kimmeridgien au Tithonique (carottes 34 à 40 ; 567-624 m).

- Calcaires argileux gris sombres et clairs, en alternance, du Tithonique au Néocomien (carottes 33 à 17 ; 403-567 m).

- Argiles noires ou vert sombre, du Néocomien au Cénomanién (carottes 16 à 10 ; 304-392 m).

- Boues varicolores, imprécisément datées mais supposées d'âge crétaé terminal à Eocène (carottes 9 à 4 ; 184 à 295 m).

- Boues hémipélagiques grises à verdâtres, du Miocène au Pléistocène-Holocène (carottes 3 à 1 ; 0-100 m).

### RESULTATS (fig. 17)

Les basaltes, calcaires et calcaires argileux intercalés de l'Oxfordien-Kimmeridgien contiennent, dans leur fraction argileuse décalcifiée, uniquement de la smectite très bien cristallisée, à l'exception de l'échantillon le plus profond (43-1-100) qui a livré une quantité importante de sépiolite (60 %) associée à la smectite.

Dans les calcaires rouges surmontant cette première formation, la smectite, mal cristallisée, est supplantée par l'illite et les minéraux interstratifiés irréguliers, accompagnés d'un peu de chlorite et localement de traces d'attapulгите. Vers le haut de cette série, la smectite, mieux cristallisée, redevient prépondérante. Les minéraux non argileux associés sont le quartz et les feldspaths, ainsi que les amphiboles en traces dans un échantillon.

La smectite demeure très abondante (80-90 %) dans les calcaires gris du Jurassique supérieur-Crétacé inférieur. L'illite, ubiquiste, est rare et la kaolinite apparaît localement en traces. Le quartz est beaucoup plus abondant que dans les séries précédentes et il est accompagné de rares feldspaths et parfois de pyrite, zéolites et cristobalite. Vers le haut, l'illite augmente localement accompagnée par endroits de traces de chlorite.

Le faciès "black-shales" du Crétacé inférieur et moyen (Albo-Aptien et Cénomaniens) est dominé par la smectite, avec un peu d'illite et d'attapulгите. Les minéraux associés comprennent des feldspaths communs, de la pyrite et des zéolites rares, ainsi que de la cristobalite locale et en quantités variables.

Dans les boues varicolores d'âge supposé crétacé terminal-éocène la smectite, toujours abondante, est accompagnée d'illite, de chlorite et de minéraux interstratifiés dans des proportions plus importantes. La kaolinite réapparaît (15-20 %). Au sommet de cette formation, l'attapulгите représente jusqu'à 30 % de la fraction argileuse, au détriment des minéraux primaires qui ne subsistent qu'à l'état de traces. Le quartz et les feldspaths sont toujours présents mais rares ; ils sont parfois accompagnés de goëthite, relativement abondante à la base de la formation et localement de traces de pyrite.

SITE 105 D.S.D.P, Leg XI

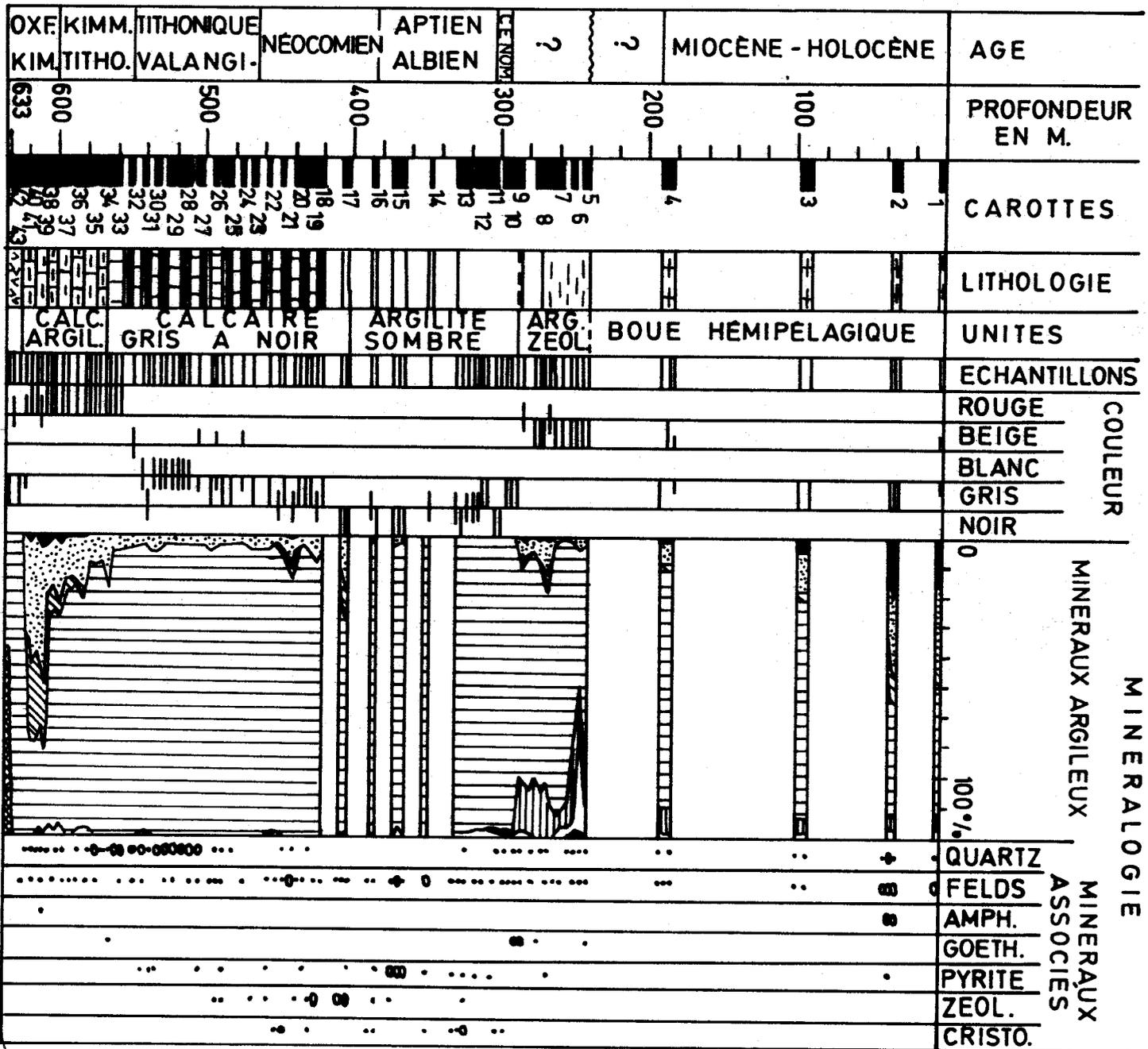


Figure 17. - Site 105 - Leg XI - Minéralogie de la fraction argileuse sédimentaire.

BUS  
LITE

La série des boues hémipélagiques cénozoïques et quaternaires est marquée par l'augmentation régulière de l'illite et de la chlorite, ainsi que de minéraux interstratifiés irréguliers. La kaolinite est ubiquiste (5 %), de même que l'attapulгите (traces). Les minéraux non argileux associés sont le quartz et les feldspaths, en quantités croissantes vers le haut de la série, ainsi que les amphiboles dans la partie tout à fait supérieure.

#### COMMENTAIRES

A la base du site 105, le basalte a livré un assemblage de smectite et de sépiolite, dont l'origine est certainement volcano-hydrothermale, comme le laissent supposer la cristallinité exceptionnelle de la smectite et l'état remarquablement frais de la sépiolite qui se présente en fibres longues et fines au microscope électronique. L'étude comparée de la minéralogie et des terres rares confirme l'origine volcanique des smectites à ce niveau (Chamley et Bonnot-Courtois, sous presse).

Juste au-dessus du basalte, l'assemblage argileux est dominé par l'illite et les minéraux interstratifiés accompagnés d'un peu de chlorite et d'attapulгите. Cette association est du même type que celle rencontrée au site 101 à la même époque. Il s'agit donc d'un écho probable des réactions tectoniques de la marge américaine aux mouvements d'ouverture de l'Océan Atlantique Nord.

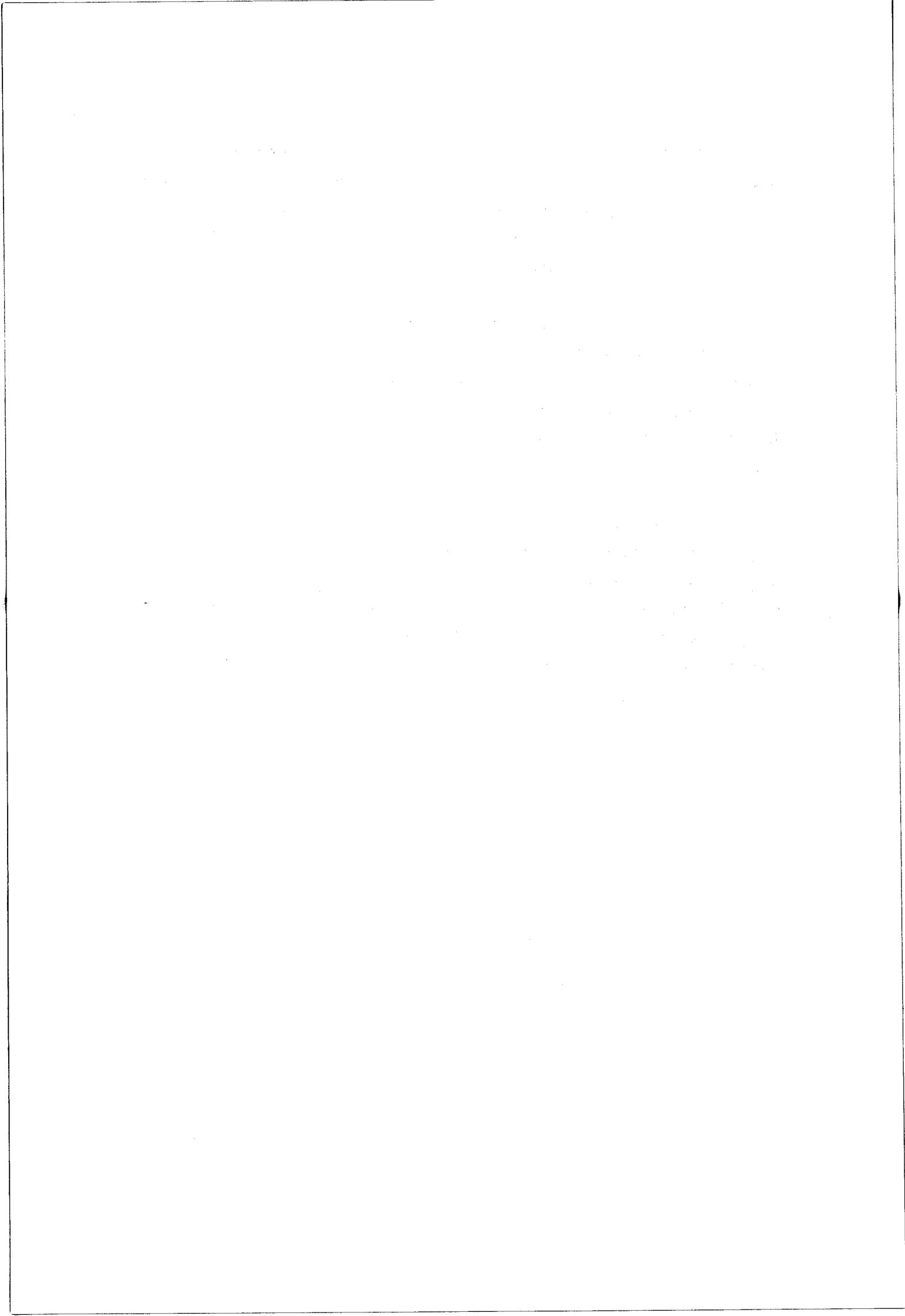
L'absence de grandes quantités d'attapulгите dans ce niveau nous amène à penser que l'existence ou non de minéraux fibreux dans les sédiments est étroitement liée aux caractères géographiques et morphologiques du lieu de dépôt et des marges continentales voisines et en particulier à l'existence de bassins péri-marins peu déclives, propices au développement de ces minéraux et susceptibles d'être envahis périodiquement par la mer.

La minéralogie des argiles du Jurassique supérieur et du Néocomien est à nouveau semblable à celles des autres forages de la marge Ouest de l'Océan Atlantique. La présence de smectite détritique, moyennement et bien cristallisée, en grandes quantités atteste du développement probable de sols sur le continent américain, à la faveur de climats chauds à humidité contrastée. L'analyse des terres rares (Chamley et Bonnot-Courtois, sous presse) tend à confirmer l'origine détritique de la smectite, de même que l'absence de relation entre ce minéral et la lithologie ou la présence de minéraux associés tels que les zéolites et la cristobalite.

Au Crétacé moyen et supérieur, mal daté dans la série du site 105, les venues de minéraux primaires et de kaolinite, observées aussi en Atlantique Nord-Oriental (site 369) et en Mer du Labrador (site 111) à la même époque, semblent être un phénomène commun à l'ensemble de l'Atlantique Nord et résulter d'une phase d'ouverture importante de l'océan et d'une subsidence plus active des marges (Chamley et Robert, 1979).

Le passage à argiles fibreuses qui surmonte cette formation, non daté, est très semblable à ceux rencontrés au Paléocène dans le Golfe de Gascogne (site 119) et à l'Eocène sur le plateau des Bahamas (site 98). C'est le témoignage en haute mer de l'érosion des bassins péri-marins favorables à la formation d'argiles fibreuses et largement établis au Paléogène (Chamley et al., sous presse).

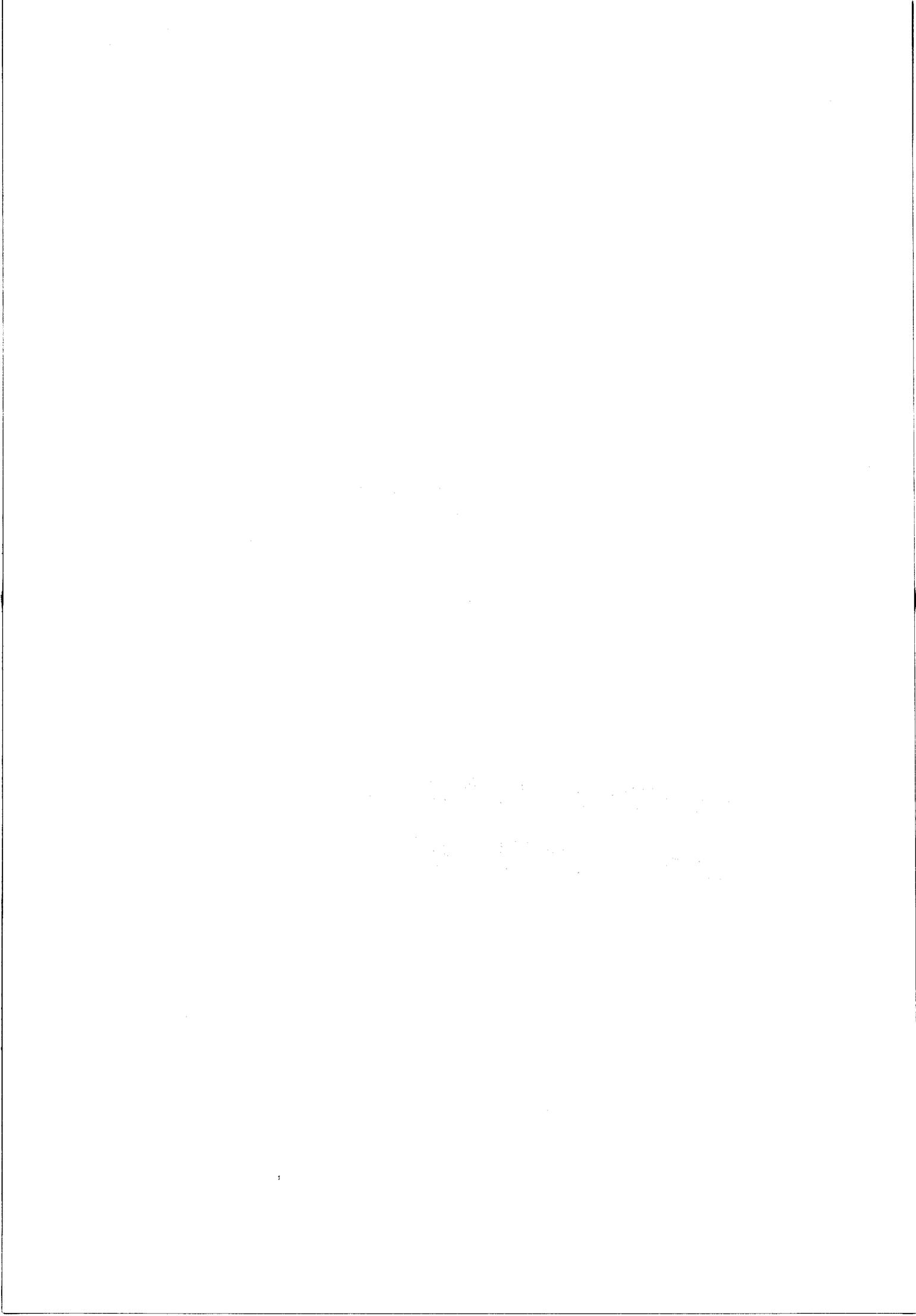
A partir du Miocène, les grands refroidissements mondiaux sont marqués par des apports croissants dans les sédiments de minéraux primaires ou d'altération ménagée, phénomène d'origine climatique et courantologique déjà observé dans le reste de l'Atlantique Nord. Les données géochimiques montrent aussi l'accentuation du caractère détritique des sédiments (Chamley et al., sous presse) vers le sommet de la série.



- CHAPITRE IV -

DESCRIPTION DE LA MINÉRALOGIE DES FORAGES DE L'ATLANTIQUE

NORD-EST : SITES 118, 119, 369.



LES SITES 118 ET 119 DU LEG XII D. S. D. P. ONT ETE FORES D'AVRIL A JUIN 1970 DANS LA PLAINE ABYSSALE DU GOLFE DE GASCOGNE.

LE SITE 369 DU LEG XLI D. S. D. P. A ETE FORE EN MARS 1975 AU LARGE DU CAP BOJADOR, SUR LA MARGE OCCIDENTALE DU CONTINENT AFRICAIN.

SITE 118 (fig. 18)

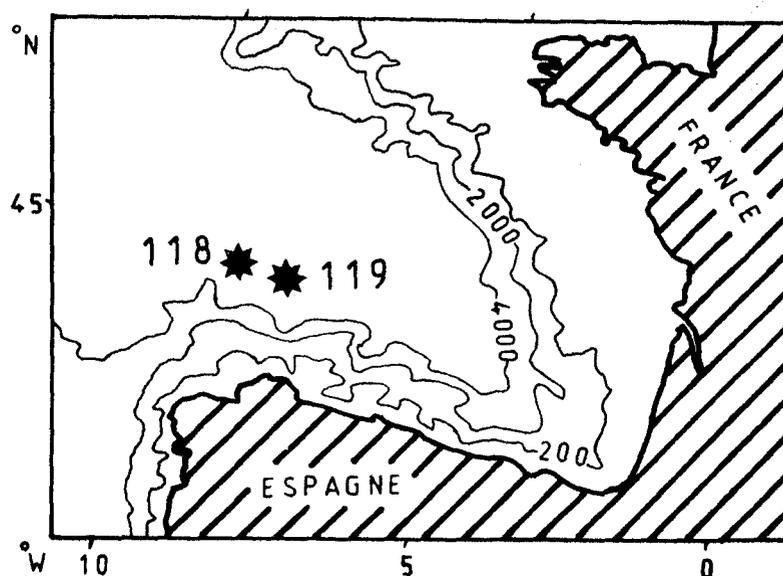


Figure 18 .- Situation géographique du site 118 du D. S. D. P.

Le site 118 a été foré dans la plaine abyssale du Golfe de Gascogne, à l'Ouest du "Cantabria Seamount" ( $45^{\circ}02.65'N - 9^{\circ}00.63'W$ ), sous 4 901 m d'eau. La pénétration dans le sédiment a été de 761 m et le forage s'est arrêté dans du basalte daté du Paléocène. Le carottage a été effectué de manière très discontinue tout au long de la série, sauf pour le Paléocène et l'Eocène, à la base du forage. Une importante lacune sédimentaire existe au niveau de l'Eocène supérieur et de l'Oligocène. On peut reconnaître deux ensembles lithologiques différents, si l'on excepte les basaltes forés au bas de la série (Laughton et al., 1972).

- Argiles rouges altérées, du Paléocène et de l'Eocène (carottes 12 à 18 ; 687 à 750 m). Ces argiles contiennent quelques radiolaires, dans le

bas de la formation et de nombreux nannofossiles vers le haut (carotte 12 à 14). De plus, elles contiennent de nombreuses traces de bioturbations.

- Boues et turbidites, du Miocène, du Pliocène et du Pléistocène (carottes 1 à 12 ; 0 à 687 m).

Les turbidites consistent en succession d'argiles silteuses alternant avec des argiles à coccolithes. Elles contiennent parfois des niveaux sableux à foraminifères, très calcaires, ou des niveaux sableux entièrement détritiques (Laughton, Berggren, 1972).

Les études sur la fraction argileuse des sédiments du site 118 ont porté sur 31 échantillons répartis tout au long de la série, avec toutefois un maillage plus serré au niveau de l'Eocène et du Paléocène.

#### RESULTATS (fig. 19)

- Le basalte foré et prélevé au site 118 (carottes 20 et 21) n'a pas montré l'existence de minéraux argileux dans la fraction inférieure à deux microns, après broyage. Cela témoigne de l'état de fraîcheur remarquable de la roche à ce niveau.

- Les argiles rouges paléocènes et éocènes contiennent, dans leur fraction fine, 50 à 60 % de smectite bien cristallisée. L'illite est toujours présente (10 à 15 %), ainsi que la kaolinite (5 à 10 %) et les minéraux interstratifiés en traces. Nous trouvons aussi l'attapulгите en traces, de manière épisodique (carottes 14, 15, 17). La chlорite apparaît en traces au sommet du Paléocène et devient ubiquiste. C'est à l'Eocène que l'on note les plus importantes variations dans les quantités d'illite accompagnant la smectite. On retrouve au même niveau des variations importantes des pourcentages de kaolinite, qui vont dans le même sens que celles concernant l'illite.

Les minéraux non argileux associés sont essentiellement le quartz, commun à abondant et parfois les feldspaths en faibles quantités.

- La fraction argileuse des boues et turbidites est dominée durant tout le Miocène par la smectite (50 à 70 %). Les autres espèces rencontrées au Paléocène et à l'Eocène sont toujours présentes en quantité comparable, à l'exception de l'attapulгите, qui n'est présente qu'au Miocène supérieur et en très faible quantité. Au Miocène terminal, on note une augmentation importante



de la quantité de minéraux primaires (illite surtout, chlorite et interstratifiés irréguliers), ainsi que de kaolinite. Nous retrouvons le phénomène de correspondance entre les proportions de ces deux types de minéraux déjà observé au Paléocène et à l'Eocène.

Au Pliocène, représenté ici par la seule carotte 4 l'illite et les interstratifiés irréguliers représentent, avec la chlorite en traces, la majeure partie de la fraction argileuse. La smectite est toujours présente mais en moindre proportion que précédemment (30 à 40 %). La kaolinite a augmenté jusqu'à atteindre 15 % des minéraux argileux.

Au Pléistocène, la tendance à la diminution des quantités de smectite, au profit des minéraux primaires, se confirme. Au sommet de la formation, la smectite ne représente plus que 20 % de la fraction argileuse. La kaolinite est toujours présente en faible proportion (10 %).

Les minéraux non argileux associés, du Miocène au Pléistocène, sont représentés à peu près uniquement par le quartz, commun à abondant. La présence de feldspaths paraît liée aux brusques augmentations des quantités de minéraux argileux primaires.

#### COMMENTAIRES

La séquence minéralogique du site 118, parallèlement à des caractères communs à l'ensemble des forages de l'Océan Atlantique, telle l'augmentation des minéraux primaires vers le sommet des séries forées, présente aussi des différences essentielles. La principale est la plus grande diversité minéralogique qui apparaît au profit des minéraux primaires et de la kaolinite et au détriment des smectites, tout le long du forage. Une autre différence importante est l'absence quasi totale de minéraux fibreux en quantités décelables par diffractométrie X, par rapport au site 119, où ces minéraux sont très bien représentés. Ces caractères suggèrent pour le site 118 une influence continentale très marquée et plus constante que sur le Cantabria Seamount, voisin, où a été foré le site 119.

Les minéraux primaires sont encore plus abondants à partir du Miocène inférieur. Leur abondance croissante reflète les refroidissements mondiaux du Cénozoïque supérieur, comme dans les autres forages de l'Atlantique Nord.

## SITE 119 (fig. 20)

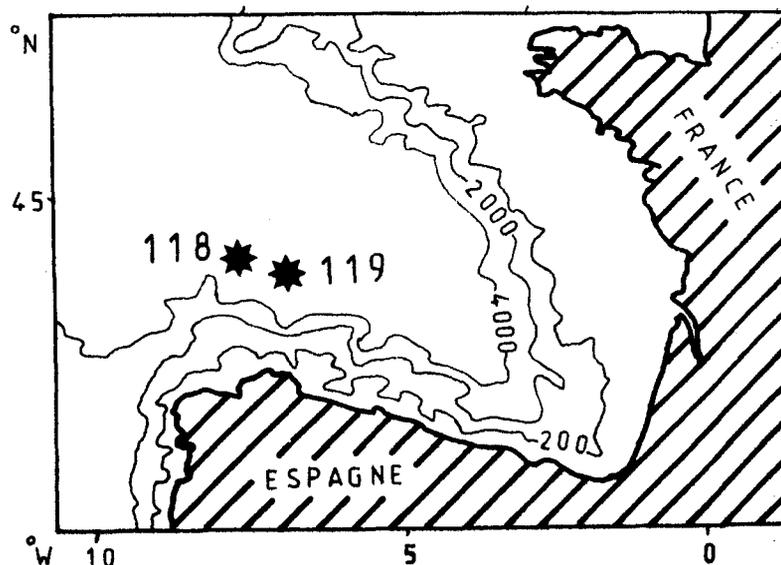


Figure 20 .- Situation géographique du site 119 du D. S. D. P.

Le site 119 est situé dans le sud du Golfe de Gascogne (Baie de Biscaye ;  $45^{\circ}01.90'N - 07^{\circ}58.49'W$ ), sur le "Cantabria Seamount". Il a été foré sous 4 447 m d'eau et la pénétration maximale est de 711 m. Les sédiments les plus anciens forés sont d'âge paléocène. La série sédimentaire est relativement complète en cet endroit, excepté un hiatus d'environ 10 millions d'années à la limite Eocène supérieur-Oligocène. Le carottage y a été effectué de manière assez continue, particulièrement pour la période allant du Paléocène supérieur au Miocène inférieur. On peut reconnaître dans ce forage deux ensembles lithologiques principaux, séparés par le hiatus intra-paléogène.

- Boues silteuses à nombreux nannofossiles calcaires, de l'Oligocène au Pléistocène (carottes 1 à 18 ; 0 à 356 m). Les quantités d'éléments détritiques augmentent régulièrement du bas vers le haut de cet ensemble.

- Argiles rouges à grises et turbidites calcaréo-silteuses, du Paléocène à l'Eocène moyen (carottes 19 à 40 ; 356 à 711 m). Les turbidites, qui déterminent une sédimentation rapide, expliquent l'épaisseur de la formation paléocène. Les argilites sont développées essentiellement dans l'Eocène.

Les échantillons de ce forage destinés à l'analyse de la fraction ar-

gileuse sont au nombre de 94 et répartis régulièrement le long des carottes prélevées sur ce site.

### RESULTATS (fig. 21)

- Les argiles rouges et turbidites du Paléocène à l'Eocène présentent, pour une lithologie relativement homogène, une grande variété dans la minéralogie de la fraction argileuse du sédiment.

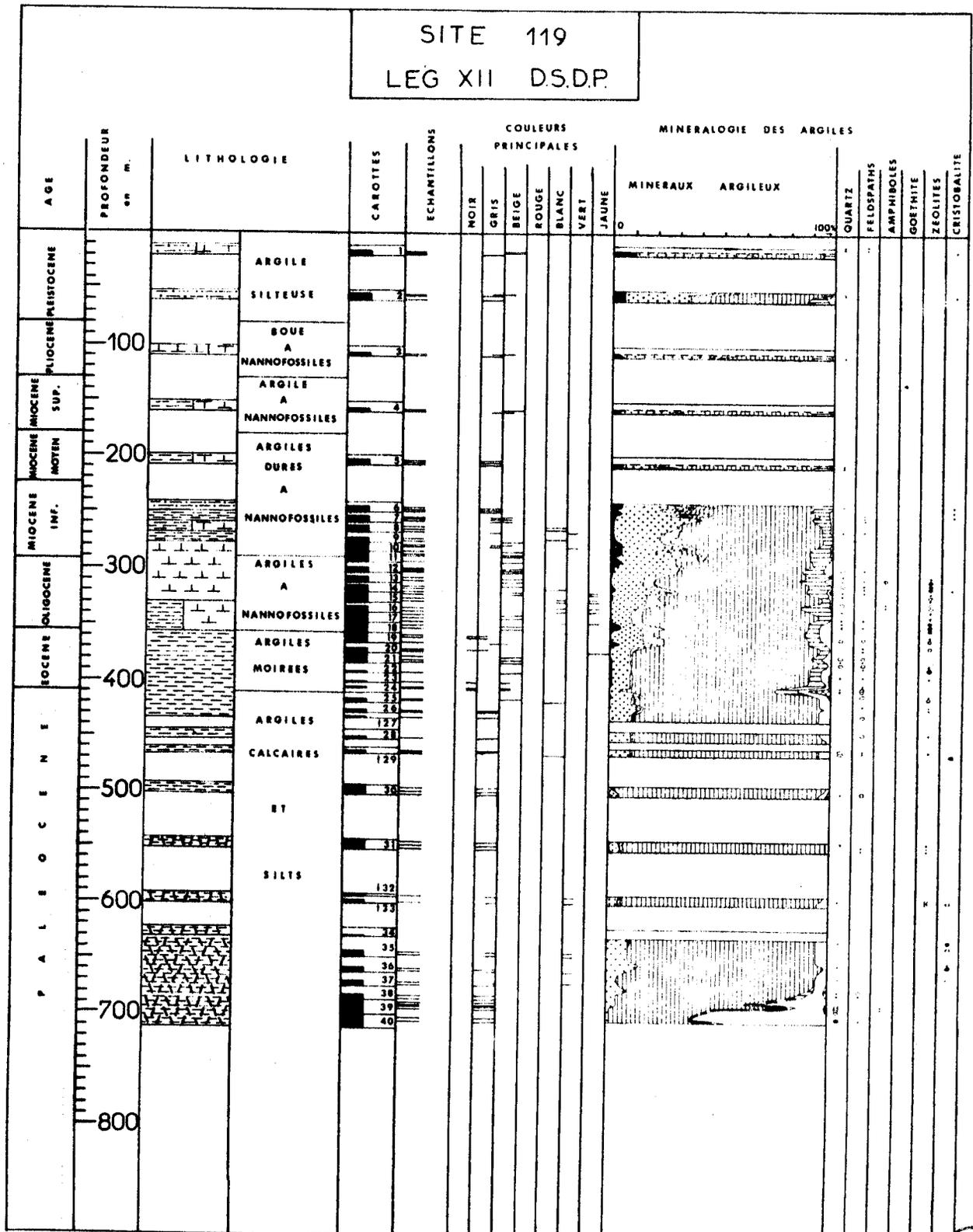
La smectite domine tout au long de cette série et représente le plus souvent environ 90 % de la fraction argileuse. Cependant, nous trouvons vers le bas (carottes 37 à 40) un niveau où l'attapulгите est présente en quantités exceptionnelles (jusqu'à 60 % de la fraction argileuse). Elle est accompagnée de smectite bien cristallisée et de traces d'illite et de kaolinite. Les minéraux associés à ce niveau sont essentiellement le quartz et un peu de feldspaths.

Au-dessus, se situe un niveau (carottes 32 à 36) où la smectite domine (80 % de la fraction argileuse), accompagnée d'attapulгите et d'une quantité notable d'illite (5 à 10 %). Ce niveau contient passablement d'opale C. T., des traces de quartz et de zéolites (clinoptilolite).

Les carottes 30 et 31 contiennent dans leur fraction argileuse 95 % de smectite accompagnée de traces d'illite, d'attapulгите et d'interstratifiés irréguliers. On note quelques traces de zéolites.

Au Paléocène supérieur, les quantités d'illite augmentent pour atteindre 10 % de la fraction argileuse. L'attapulгите est toujours présente (traces - 5 %). On trouve aussi quelques traces épisodiques de minéraux interstratifiés irréguliers. Les principaux minéraux associés demeurent le quartz et les feldspaths, en faibles quantités et des traces de zéolites et d'opale C. T.

- L'Eocène correspond à l'apparition de la chlorite, en traces et à la réapparition de la kaolinite (5 %) qui avait disparu à la fin de l'épisode à attapulгите dominante du Paléocène (Pow-Foong Fan et Zemmels, 1972). A la base de l'Eocène (carotte 24) se trouve un niveau contenant 5 % de sépiolite et des traces d'attapulгите. A ce niveau correspond une diminution de la quantité d'illite qui reste présente en traces. Les autres minéraux de la formation Eocène sont la smectite, qui représente au moins 70 % de la fraction argileuse, les interstratifiés irréguliers en traces et l'illite en quantités proches de



BUS LILLE

Figure 21 .- Site 119 - Leg XII - Minéralogie de la fraction argileuse sédimentaire.

10 %. Les minéraux non argileux associés sont toujours les feldspaths, les zéolites (clinoptilolite) et des traces de quartz.

- De l'Oligocène au sommet du Pléistocène, on voit s'accroître régulièrement les quantités de minéraux primaires tels l'illite, la chlorite et les minéraux interstratifiés irréguliers, aux dépens de la smectite dont la cristallinité diminue en montant dans la série. L'attapulгите devient épisodique et la sépiolite a complètement disparu. Les augmentations les plus importantes des quantités d'illite se produisent à l'Oligocène, puis au Miocène supérieur et au Pléistocène supérieur. Le maillage très lâche des carottes, du Miocène moyen au Pléistocène ne permet pas de dire s'il existe ou non d'autres épisodes importants d'augmentation des quantités de minéraux primaires.

Les minéraux non argileux associés ne suivent pas l'évolution décrite ci-dessus. En effet, à l'Oligocène nous trouvons des quantités importantes de zéolites, du quartz et des feldspaths le plus souvent en traces, de même que des amphiboles. A partir du Miocène moyen, le quartz et les feldspaths ne sont plus présents qu'épisodiquement et en traces, accompagnés de temps en temps d'un peu d'opale C. T.

#### COMMENTAIRES

Le site 119 présente plusieurs caractères communs à l'ensemble des forages de l'Atlantique Nord mais aussi des différences importantes. Comme dans les autres forages du leg XII D. S. D. P. étudiés ici, l'augmentation des quantités de minéraux primaires du bas vers le haut de la série est la règle, avec des épisodes marqués à l'Oligocène et au Miocène inférieur, reflétant les débuts des grands refroidissements cénozoïques. La smectite reste malgré tout le minéral dominant jusqu'au Pliocène, atteignant parfois 90 % de la fraction argileuse : elle reflète, au moins partiellement, l'existence de climats chauds à humidité contrastée, favorables au développement de sols mal drainés dans les régions continentales peu accidentées et proches des côtes. Ce témoignage du règne de tels climats est renforcé par la présence à l'Eocène d'attapulгите en quantités notables. L'absence de diagenèse argileuse liée à l'enfouissement ou aux conditions de sédimentation est soulignée par la diversité des espèces minérales rencontrées et par l'indépendance existant entre la minéralogie des argiles et la lithologie.

Cependant, certains traits de la minéralogie du forage 119 lui sont propres et pourraient être liés à la situation géographique du site au sommet

du Cantabria Seamount.

L'histoire du Cantabria Seamount est en effet différente de celle de l'ensemble de la plaine abyssale du golfe de Gascogne. Les sédiments présents avant la discontinuité Eocène moyen/Oligocène sont des turbidites et des argiles rouges pélagiques, déposées sous la limite de compensation des carbonates (Laughton, Berggren et al., 1972). Cette formation est surmontée d'argiles hémipélagiques à nannofossiles. La succession de ces deux formations indique une surrection du Cantabria Seamount et la discontinuité correspond probablement à une surface d'érosion due à cette surrection et à une période d'émersion. L'étude des mouvements tectoniques qui ont affecté la Baie de Biscaye et le Bassin Aquitain a montré qu'ils s'étaient produits aux mêmes moments. Suite à ces mouvements, la plaine abyssale recevait des flots de turbidites, consistant essentiellement en matériaux accumulés sur les pentes de talus continentaux et remaniés à cette occasion. Après sa surrection, le Cantabria Seamount a été à l'abri des grandes venues détritiques et, comme on l'a signalé plus haut (partie I), n'a plus recueilli que les parties les plus distales des masses turbides. Ces conditions de sédimentation particulières peuvent expliquer le développement relativement restreint des minéraux primaires au Cénozoïque supérieur, le sommet du dôme de Cantabria étant protégé des apports terrigènes les plus grossiers, sur des marges continentales proches. Par contre cette situation privilégie les apports et dépôts de particules circulant en pleine eau, plus riches en minéraux fins du groupe des smectites et provenant en partie de sources plus lointaines.

Une autre particularité de la minéralogie du site 119 est la présence au Paléocène d'un épisode à attapulгите dominante dans les turbidites marnocalcaires de la base du forage (carottes 38 à 40). Un tel événement minéralogique n'est pas connu à cette époque dans les sédiments de l'Atlantique Nord, mais rappelle ce qui est observé à d'autres époques sur les marges Est et Ouest de l'Océan Atlantique.

L'abondance du minéral fibreux dans des argiles et silts calcaires indique sa formation à proximité du lieu de dépôt, en milieu confiné alcalin (Millot, 1964) et son remaniement en milieu océanique ouvert. Le caractère local de cet événement minéralogique suggère que le minéral a pu se former sur le Cantabria Seamount lui-même, aux reliefs peu marqués, partiellement émergé et bordés de dépressions propices à la naissance d'argiles évaporitiques (Latouche, 1971).

La kaolinite, dans le forage, est présente au Paléocène et disparaît en même temps que les quantités très importantes d'attapulгите. Elle réapparaît à l'Eocène, au début de l'augmentation des minéraux primaires et à une période où la sépiolite est présente en quantités notables dans les sédiments.

Au site 118, la kaolinite est présente durant toute la série sédimentaire. Sa disparition sur le Cantabria Seamount au Paléocène moyen et supérieur et Eocène inférieur peut donc résulter de conditions morphologiques particulières, qui semblent avoir régi les dépôts importants de minéraux fibreux.

La présence de zones peu déclives, favorables à la genèse d'attapulгите, peut avoir provoqué le piégeage des éléments provenant de zones situées plus en amont. Mais l'absence de kaolinite peut aussi provenir de l'instabilité de la région considérée, qui empêche l'établissement d'un système de drainage cohérent et l'arrivée en mer des minéraux formés dans les parties amont des bassins versants.

## SITE 369 (fig. 22)

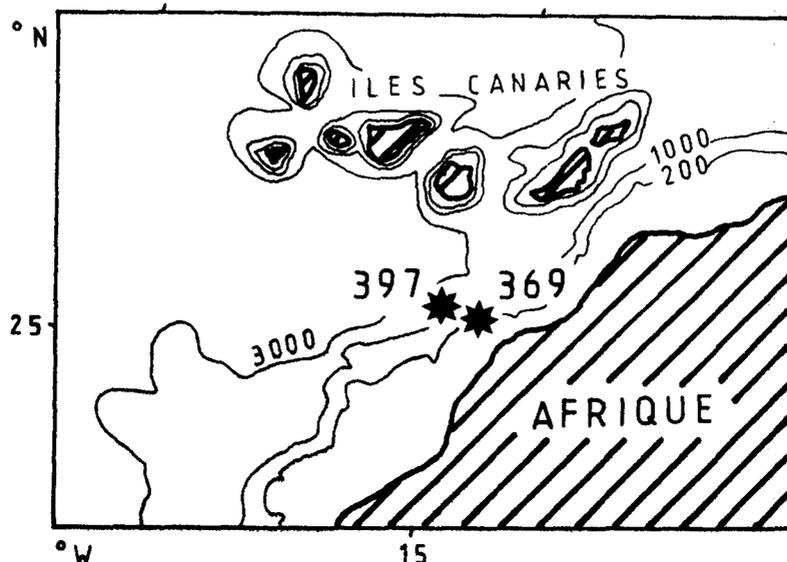


Figure 22 .- Situation géographique du site 369 du D. S. D. P.

Le site 369 a été foré lors du Leg 41 du Deep Sea Drilling Project par le navire océanographique Glomar Challenger en 1975. Il est situé sur la marge continentale du Cap Bojador, au large de l'Afrique occidentale ( $26^{\circ}35.5'N - 14^{\circ}59.92'W$ ). Le forage s'est effectué sous 1 760 m d'eau et la pénétration maximale a été de 488,5 m. Les sédiments les plus anciens ayant été atteints sont datés de l'Aptien (Lancelot, Seibold et al., 1978). Le carottage a été effectué en continu pratiquement tout au long du forage, ce qui permet d'avoir une vision précise de tous les niveaux traversés. L'étude de la fraction argileuse des sédiments de ce site porte sur 175 échantillons répartis régulièrement tout au long de la série. On reconnaît deux lacunes sédimentaires importantes entre l'Albien et le Santonien, puis entre le Maastrichtien et l'Eocène. Le reste de la série est complet et recouvre tout le Cénozoïque à l'exception du Paléocène et de l'Eocène inférieur. Les auteurs des Initial Reports du Leg 41 (Lancelot, Seibold et al., 1978) ont déterminé trois unités lithologiques sur cette série sédimentaire. Ces unités sont reprises ici succinctement pour définir le contexte lithologique dans lequel vont s'inscrire les analyses de la fraction argileuse des sédiments. Les unités sont décrites ici dans l'ordre de dépôt des sédiments.

- Craie et marnes silteuses à nannofossiles, de l'Aptien supérieur

et de l'Albien (carottes 41 à 47A ; 422 à 488,5 m). C'est une formation sombre, fortement bioturbée, contenant beaucoup de matière organique. On y rencontre fréquemment de la barytine et de la pyrite.

- La deuxième unité se décompose en deux formations distinctes :

a) Craie argileuse, du Santonien au Maastrichtien inférieur (carottes 38A et 40A ; 395,5 à 422 m). Cette formation peu indurée est fortement bioturbée.

b) Craie argileuse à nannofossiles et calcaires, du Maastrichtien inférieur à l'Eocène moyen (carottes 33A à 37A ; 346 à 393,5 m). Toute la formation, contenant des traces de bioturbation, comporte de petits lits de cherts et de nodules de porcellanite.

- Tout le reste de la série sédimentaire, de l'Eocène supérieur à l'Oligocène, forme une troisième unité elle aussi décomposée en deux formations :

a) Marnes siliceuses à nannofossiles, de l'Eocène moyen au Miocène inférieur (carottes 10A à 33A ; 127,5 à 346 m). Cette formation est comme les précédentes fortement bioturbée, mais très riche en radiolaires et diatomées. Les foraminifères y sont rares.

b) Marnes à nannofossiles, du Miocène inférieur au Pléistocène (carottes 1 à 9A ; 0 à 127,5 m). Cet ensemble très bioturbé contient de nombreuses esquilles de verre volcanique et de fines lentilles silteuses.

#### RESULTATS (fig. 23)

Les craies et marnes silteuses à nannofossiles de l'Albien-Aptien, ainsi que les craies argileuses et une partie des marnes du Santonien au Maastrichtien sont caractérisées par la présence d'attapulгите en quantité importante, accompagnée d'illite, de smectite et parfois de chlorite et de minéraux interstratifiés irréguliers, surtout à l'Aptien supérieur. Cet assemblage de minéraux argileux est accompagné de quartz. La kaolinite est toujours présente en très faible quantité. La sépiolite est présente dans la craie argileuse du Santonien au Maastrichtien inférieur. Les proportions des différents minéraux argileux, et notamment des argiles fibreuses, varient indépendamment de la lithologie.

SITE 369 - D.S.D.P.

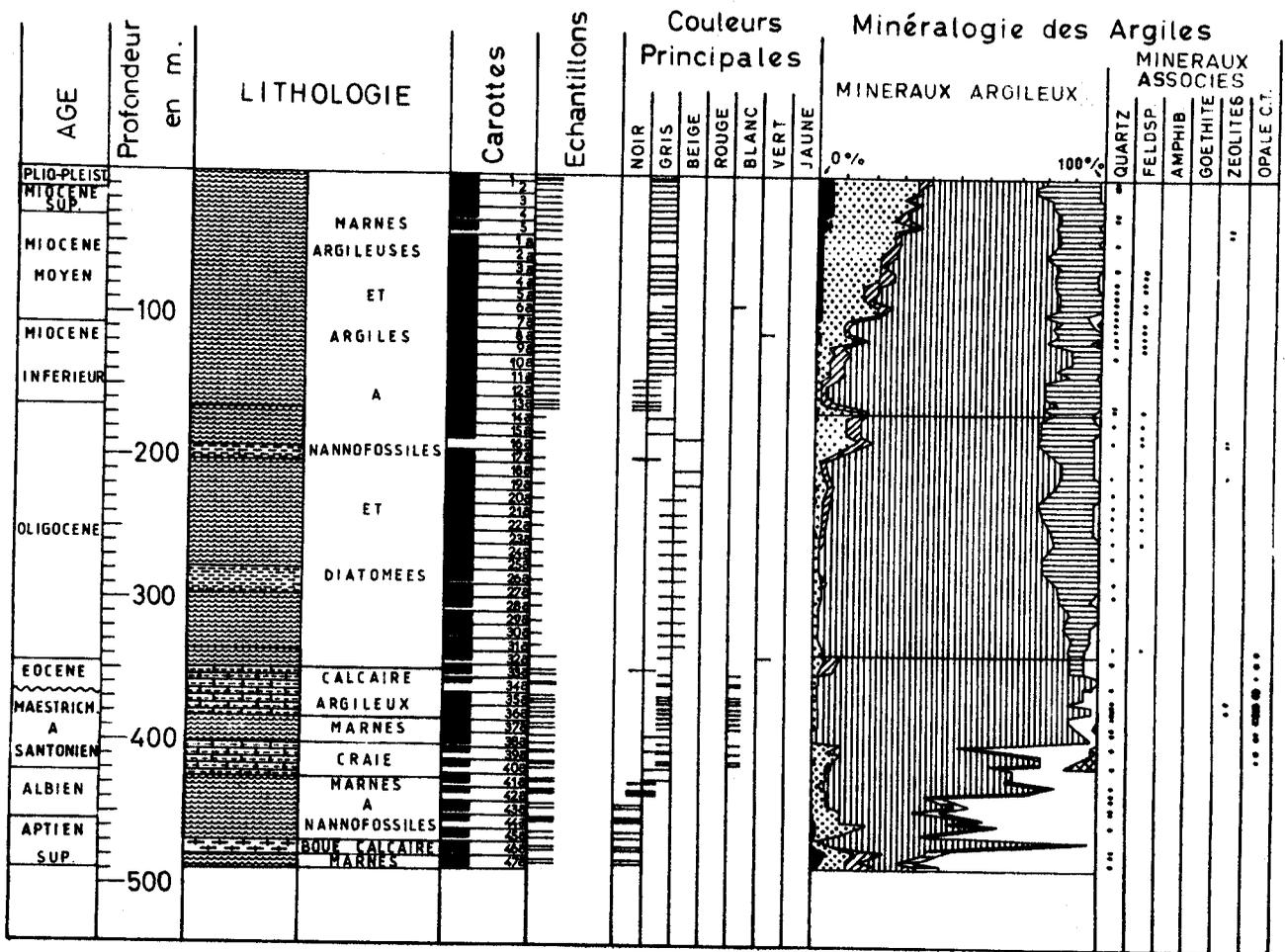


Figure 23 .- Site 369 - Leg XLI - Minéralogie de la fraction argileuse sédimentaire.

Les marnes, calcaires et craies argileux du Maastrichtien inférieur à l'Eocène sont dominés par la présence de la smectite, bien cristallisée, qui représente environ 90 à 100 % des minéraux argileux. L'illite est toujours présente en traces et elle est accompagnée de minéraux interstratifiés dans la partie tout à fait supérieure de l'Eocène. L'attapulгите est elle aussi presque toujours présente, en proportions ne dépassant pas 5 %, elle est parfois accompagnée de sépiolite en trace. La kaolinite, qui avait disparu au Santonien, réapparaît au sommet de l'Eocène, en même temps que les minéraux interstratifiés. Les minéraux non argileux associés sont le quartz et surtout l'opale C. T., dont la présence correspond à un niveau de cherts et porcellanite caractéristique sur toute la bordure africaine (Lancelot, Seibold et al., 1978). Les zéolites apparaissent à la limite Maastrichtien-Eocène, en faibles quantités.

#### COMMENTAIRES

L'abondance des minéraux fibreux au Crétacé moyen, développés sur une longue période de temps, rappelle ce qui a été observé sur la marge Est-Atlantique au Jurassique supérieur, ou dans le Golfe de Gascogne au Paléocène. Les fibres se présentent au microscope électronique sous une forme courte et trapue et sont associées, dans la fraction argileuse, avec des minéraux typiques des apports détritiques importants. Cela indique que l'attapulгите est elle aussi certainement détritique et remaniée depuis les bordures du continent africain où elle a pu se former dans des bassins semi-clos peu profonds à la faveur de climats chauds et à humidité contrastée.

Du Crétacé supérieur à l'Eocène supérieur, l'importance de la smectite bien cristallisée dans la fraction argileuse, traduit une période de relative stabilité, ou tout du moins la possibilité de formation de sols relativement évolués dans les plaines continentales adjacentes à la marge atlantique. La plupart des forages nord-atlantiques à cette époque présente le même phénomène. La smectite est accompagnée d'un peu d'attapulгите, de kaolinite, d'illite et de minéraux interstratifiés irréguliers au sommet de l'Eocène. Les minéraux associés non argileux sont le quartz et surtout l'opale C. T., ainsi que quelques traces de zéolites (clinoptilolite). Cet assemblage traduit essentiellement, semble-t-il, le remaniement de smectite pédologique formée dans les plaines continentales proches de la marge atlantique. Il faut noter l'absence d'épisode à attapulгите ou/et sépiolite, souvent rencontré à cette époque dans les sédiments des marges atlantiques et probablement due à une lacune allant du sommet du Maastrichtien à l'Eocène.

La minéralogie argileuse, à l'Oligocène, continue à être dominée par la smectite, accompagnée d'illite, de kaolinite et d'un peu de chlorite, de minéraux interstratifiés irréguliers, d'attapulгите. Ces différents minéraux subissent des fluctuations d'amplitude modérée, surtout l'illite et la kaolinite, qui augmentent le plus souvent de manière parallèle. Chamley et Diester-Haas (1980) déterminent à partir de la fraction fine des sédiments oligocènes quatre zones minéralogiques correspondant à quatre types d'environnement qui sont les suivants du bas vers le haut :

- Zone I (carottes 31 à 26) : période de climat chaud et aride et de stabilité tectonique. De petites régressions, marquées par de petites fluctuations des minéraux primaires et de la kaolinite, favorisent temporairement l'érosion continentale.

- Zone II (carottes 26 à 24) : période de climat continental assez humide et de stabilité tectonique.

- Zone III (carottes 24-17) : période à alternance de phases transgressives et régressives, traduites par les variations de minéraux primaires et de kaolinite, avec un climat progressivement plus aride.

- Zone IV (carottes 16 à 14) : période d'activité tectonique probable, induisant un rajeunissement des reliefs continentaux et une forte régression des domaines immergés et émergés. Cela se traduit dans la minéralogie des argiles par une forte augmentation des minéraux primaires (surtout illite) et une nouvelle fluctuation assez importante de la kaolinite.

Durant tout l'Oligocène, l'attapulгите est présente de manière sporadique, en faible quantité. Cela correspond à ce qui a déjà été observé dans les différents sites de la marge orientale de l'Atlantique Nord.

Du Miocène au Pléistocène, la smectite tend à diminuer dans le sédiment, au profit de l'illite, de la chlorite et des minéraux interstratifiés. Les quantités de kaolinite et d'attapulгите, tout en subissant de légères fluctuations, restent à peu près constantes. On peut noter toutefois au sommet du Miocène inférieur un très court épisode à attapulгите et sépiolite. Au sommet de la série, la smectite ne représente plus que 40 % de la fraction argileuse. La kaolinite ubiquiste atteste la permanence d'une érosion notable et d'un climat chaud assez hydrolysant sur le domaine africain adjacent. Mais l'augmentation constante, du bas vers le haut de la série, des minéraux primaires, reflète, même sous ces basses latitudes, les grands refroidissements mondiaux du Cénozoïque.

Les sites 367, 398, 400 et 401 ont déjà fait l'objet de publications concernant la minéralogie et géochimie de leur fraction argileuse.

Site 367 : Chamley, Debrabant, Foulon et Leroy, 1980.

Site 397 : Chamley et Giroud d'Argoud, 1979.

Site 398 : Chamley, Debrabant, Foulon, Giroud d'Argoud, Latouche, Maillet, Maillot et Sommer, 1979.

Sites 400 et 401 : Debrabant, Chamley, Foulon et Maillot, 1979.

Les schémas de représentation de la minéralogie de la fraction argileuse de ces différents sites sont tirés des publications citées ci-dessus et sont donnés à titre de référence pour la discussion qui suivra.



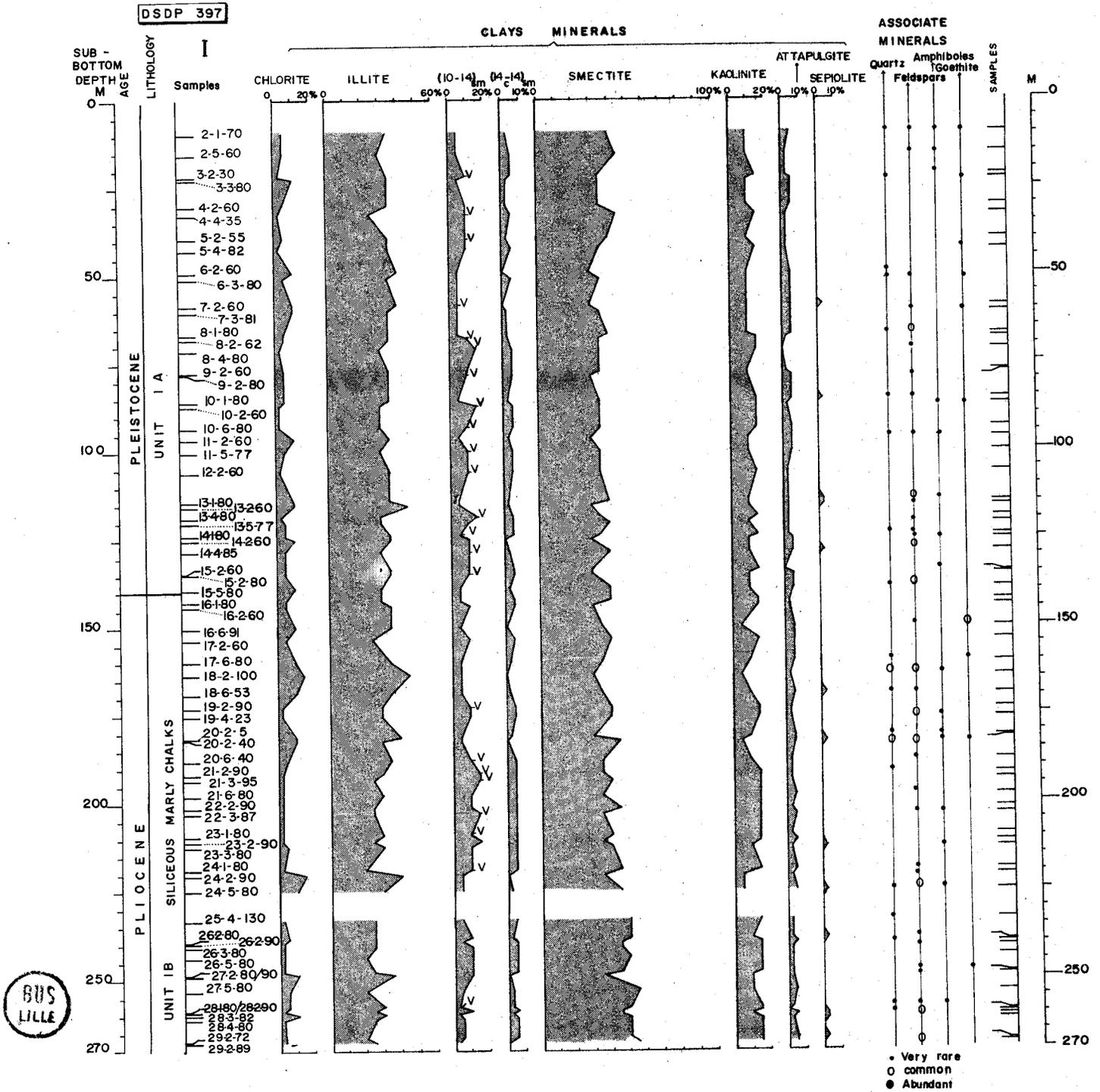


Figure 25 .- Site 397 - Leg 47a - Minéralogie de la fraction argileuse sédimentaire.

DSDP 397

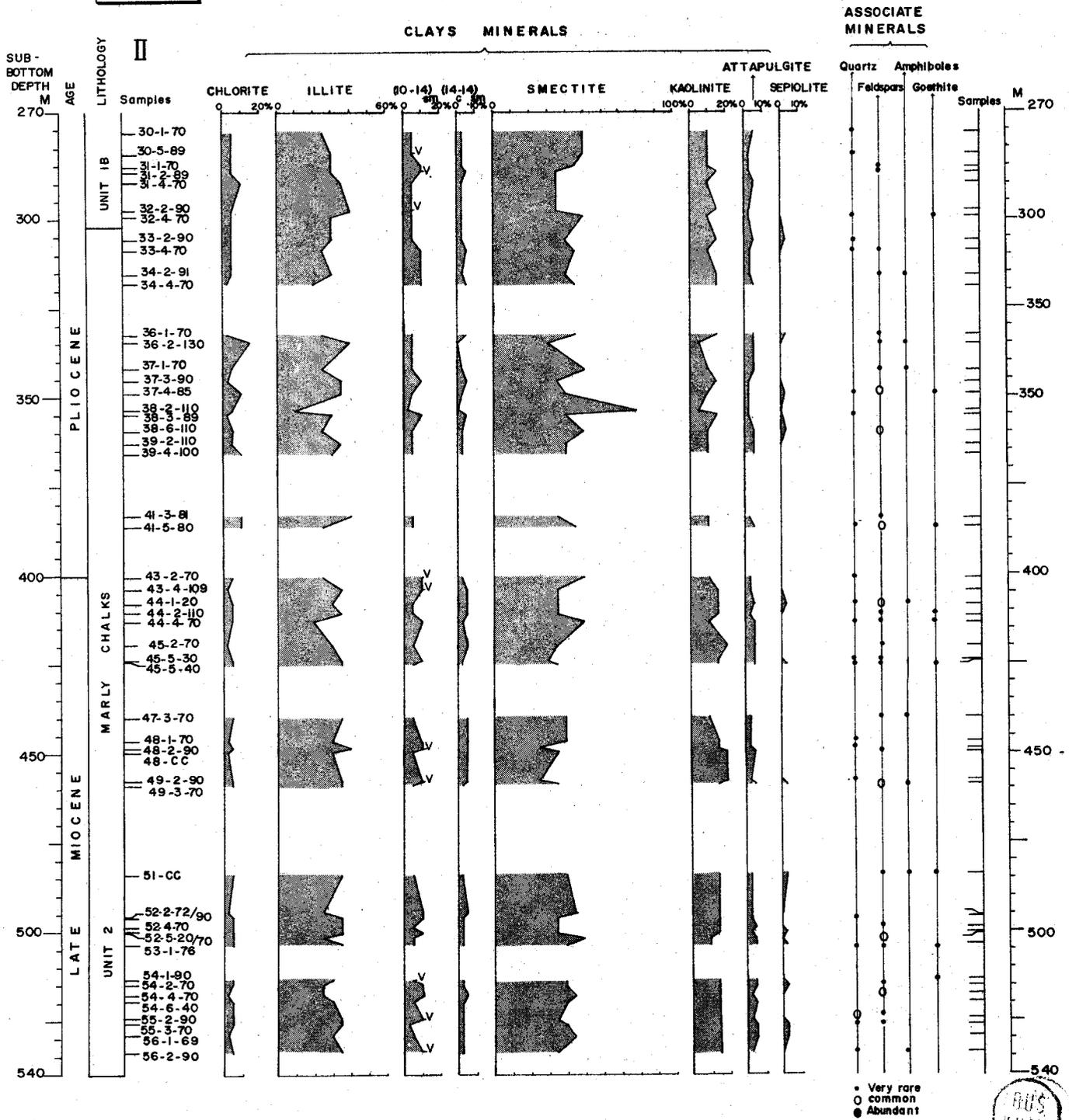
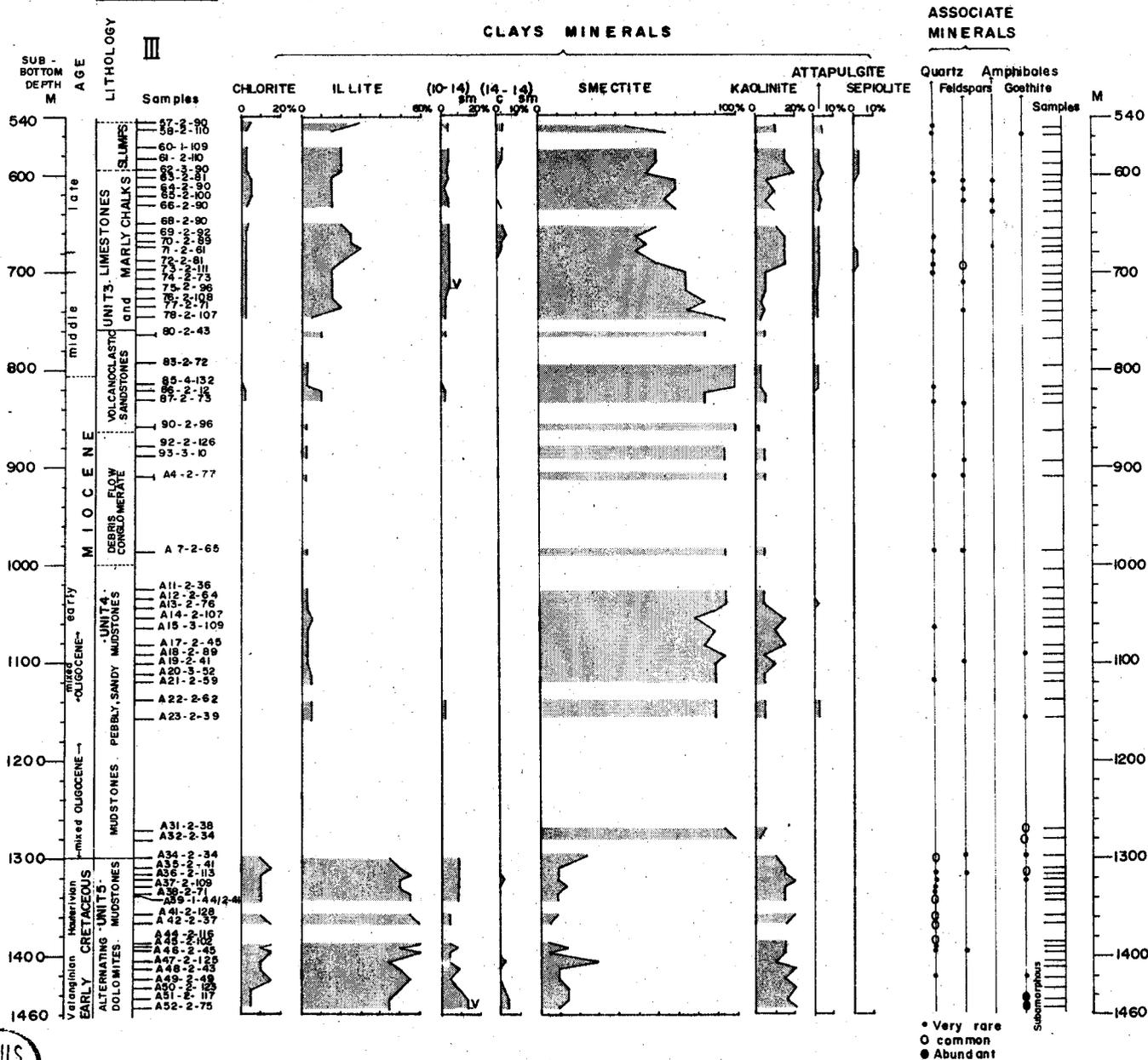


Figure 25 bis .- Site 397 - Leg 47a - Minéralogie de la fraction argileuse sédimentaire.

DSDP 397



BUS LILLE

Figure 25 ter .- Site 397 - Leg 47a - Minéralogie de la fraction argileuse sédimentaire.

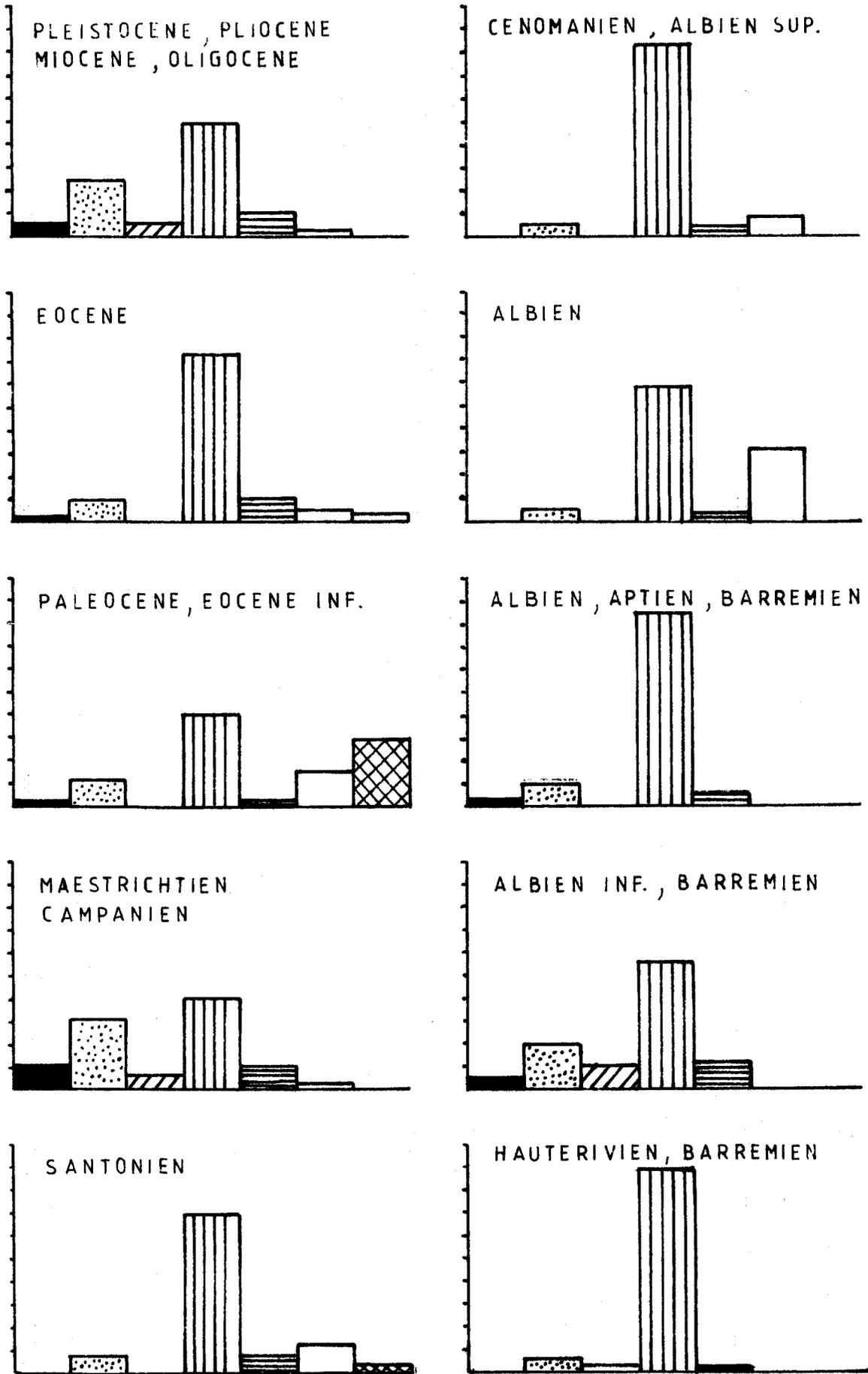


Figure 26 .- Site 398 - Leg 47b - Minéralogie de la fraction argileuse sédimentaire.

IPOD Leg 48

SITES 399 - 400

N BISCAY

Depth 4399 m

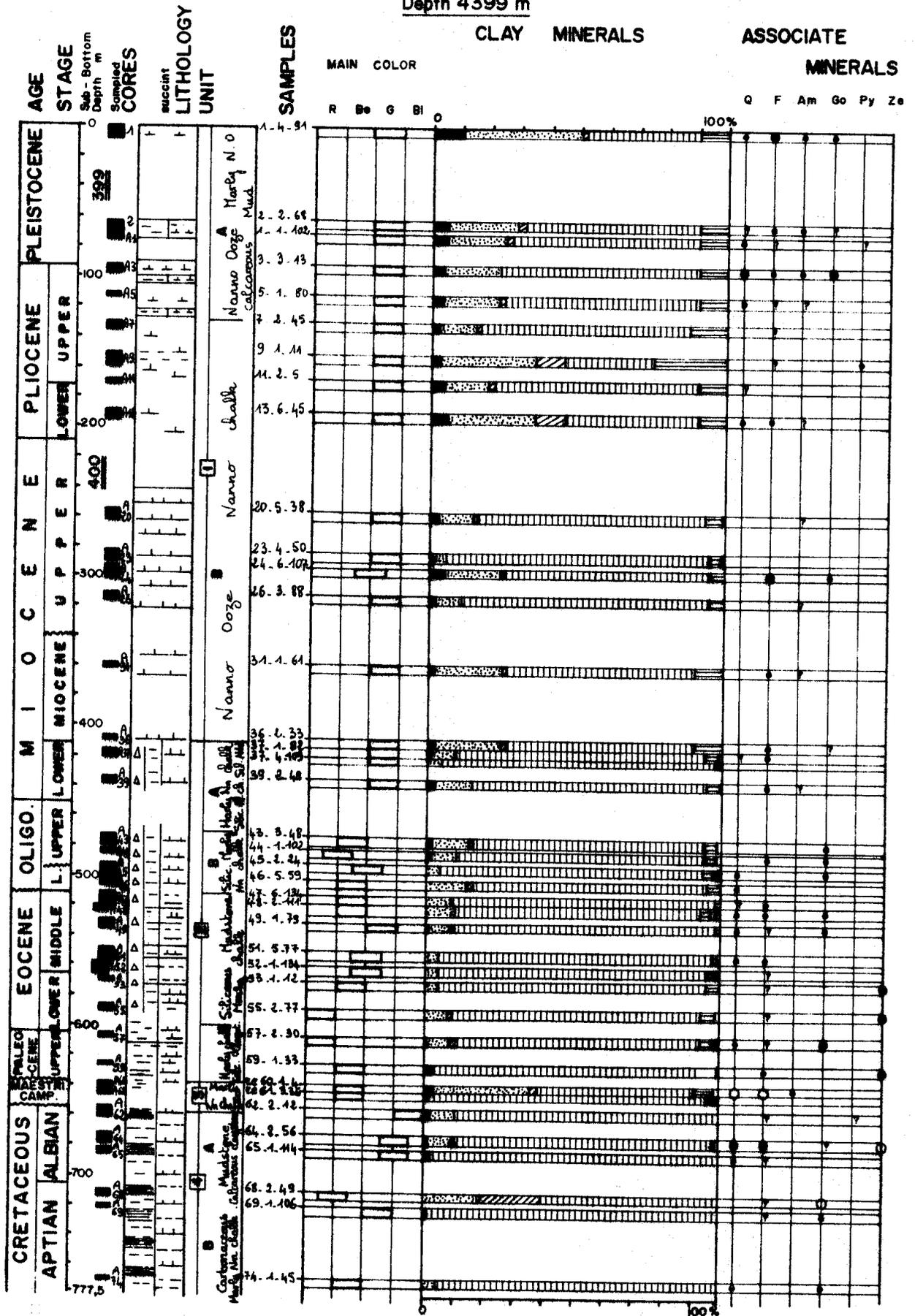


Figure 27 .- Sites 399 - 400 - Leg 48 - Minéralogie de la fraction argileuse sédimentaire.



### CONCLUSION AUX CHAPITRES III ET IV

*L'étude détaillée de la minéralogie de la fraction argileuse des sédiments de l'Océan Atlantique Nord, replacée dans un contexte géologique et lithologique nous amène à constater plusieurs phénomènes :*

*- Les assemblages de minéraux argileux sont très divers et varient indépendamment de la profondeur d'enfouissement du sédiment et de la nature lithologique.*

*- La plus grande partie des minéraux argileux rencontrés paraît d'origine détritique comme le montre l'étude couplée de la minéralogie et de la géochimie. En effet, on rencontre à tous les niveaux les minéraux typiques des socles anciens, de l'altération et de la pédogenèse. Cette variété d'origine continentale paraît concerner la plupart des minéraux, y compris les smectites. Dans le cas du site 105, l'augmentation des teneurs en smectites s'accompagne d'une diminution de l'influence volcanique du rift, mesurée par la géochimie.*

*- Les minéraux fibreux, typiquement nés en milieu confiné sous forte évaporation (Trauth, 1977 ; Weaver et Beck, 1977), ont été trouvés dans de nombreux niveaux, souvent profondément enfouis. Ils sont couramment associés à des minéraux primaires (illite et chlorite) et ont pu être déterminés dans des sédiments typiquement détritiques et remarqués tels des turbidites (site 119).*

*Ainsi l'héritage apparaît comme un facteur essentiel de la sédimentation argileuse dans l'Océan Atlantique Nord. Les principaux événements ayant affecté le domaine nord-atlantique ont donc pu s'inscrire dans les différents assemblages argileux rencontrés.*

- CHAPITRE V -

DISCUSSION



LES FIGURES 29 ET 30 DONNENT UNE REPRESENTATION DES SUCCESSIONS D'ASSEMBLAGES DE MINERAUX ARGILEUX DANS LES PRINCIPAUX FORAGES ETUDIES.

Ces successions sont ici représentées selon une échelle chronologique, ceci afin de faciliter les corrélations entre les différents forages. Seuls les forages étudiés en détail dans les chapitres III et IV sont représentés de cette manière.

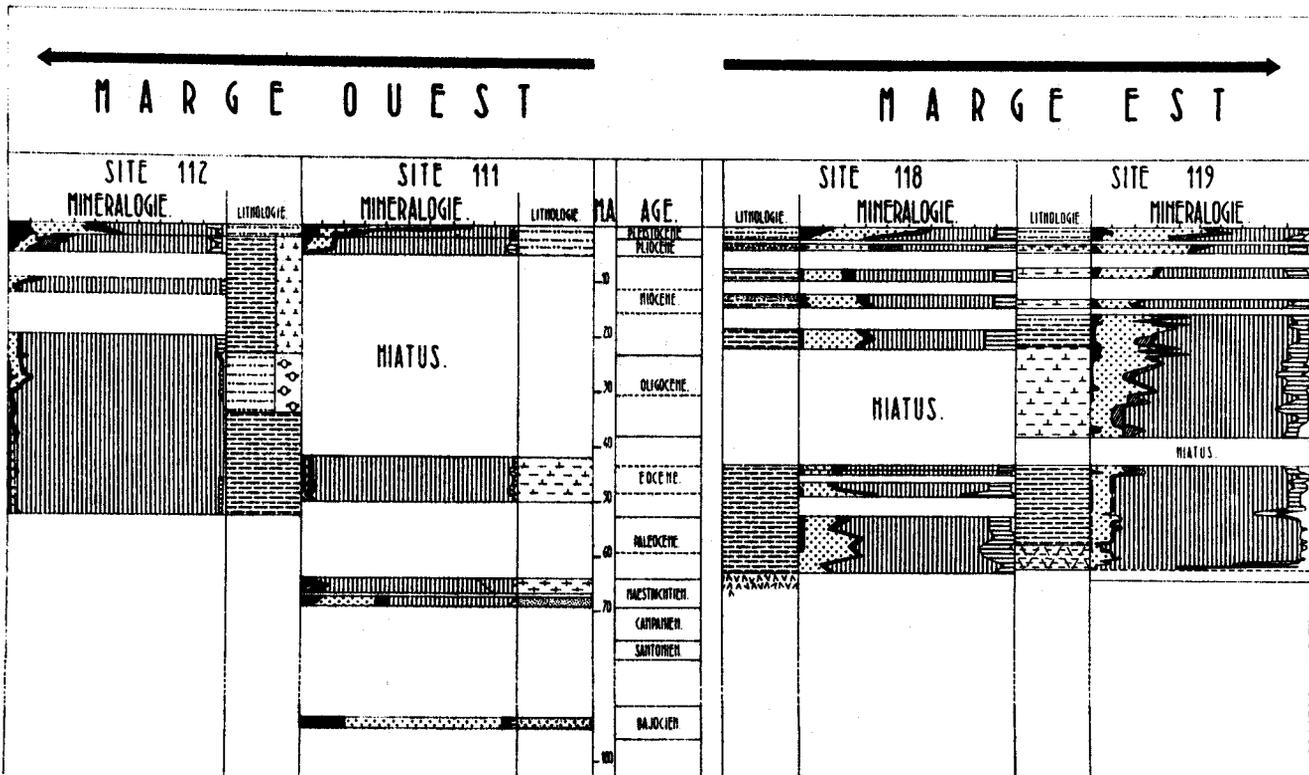


Figure 29 .- Succession chronologique des assemblages argileux dans l'Océan Atlantique Nord.



## I - LA SEDIMENTATION ARGILEUSE AU JURASSIQUE

a) Les sédiments les plus anciens des forages de l'Océan Atlantique Nord considérés ici sont datés du Bajocien (Jurassique moyen) et ont été forés au site 111 du Leg XII du D. S. D. P. L'échantillon analysé a été prélevé dans des grès d'origine continentale ou littorale (Laughton et al., 1972) et a livré une fraction argileuse exclusivement composée de minéraux typiquement détritiques. Le minéral dominant est l'illite, bien cristallisée (indice A =  $2/10^\circ \theta$ ) accompagnée de chlorite bien ordonnée (indice C) et d'un peu de kaolinite et de minéraux interstratifiés irréguliers. On ne doit pas considérer ces sédiments comme appartenant véritablement à la sédimentation dans l'Océan Atlantique. En effet, à cette époque, l'Orphan Knoll, où a été foré le site 111, était situé près du continent européen et Laughton et al. (1972) considèrent qu'il s'agit d'un fragment de croûte continentale, détaché de l'Europe au Jurassique supérieur et qui a ensuite accompagné dans ses mouvements le continent Nord-Américain. L'Orphan Knoll serait resté émergé du Jurassique au Crétacé moyen et aurait été pénéplanisé par l'érosion. La sédimentation marine y débute véritablement au Crétacé moyen, par des carbonates d'eau peu profondes, déposés dans un bassin sédimentaire probablement rattachés au "Proto-Atlantique" proposé par Pomerol (1975).

b) Les sédiments marins d'âge jurassique sont bien représentés dans des forages situés dans la partie sud de l'Océan Atlantique Nord (sites 101, 105, 367) et beaucoup moins dans la partie nord (site 400) (fig. 1). La sédimentation débute dans ces forages au Jurassique supérieur (Oxfordien), peu après les premiers stades d'ouverture de l'Océan Atlantique. Les sédiments déposés sont généralement des calcaires plus ou moins marneux (sites 105 et 367), alternant parfois avec les basaltes.

c) Le basalte lui-même, ou les niveaux intercalés ou immédiatement sus-jacents ont livré dans les sites étudiés (101 et 105) une fraction argileuse composée pour l'essentiel de smectite bien cristallisée, accompagnée dans un niveau du site 105 de sépiolite en longs faisceaux de fibres. L'origine volcanique de ces minéraux, en dehors de leur caractère de fraîcheur remarquable et de cristallinité excellente, a été déterminée formellement par la géochimie des éléments majeurs en traces (Chamley et al., 1980), et par celle des terres rares dans le cas du site 105 (Chamley et Bonnot, sous presse). Smectite et sépiolite résultent donc dans ces niveaux de l'altération directe du basalte océanique.

La distribution des terres rares dans les smectites du basalte altéré est typique d'un basalte tholéitique océanique. Les smectites des calcaires intercalés sont très pauvres en terres rares (10 p. p. m. environ) et présentent un léger appauvrissement en Ce, moins important que celui de l'eau de mer. L'association argileuse smectite-sépiolite présente elle aussi une distribution de terres-rares typique d'un basalte tholéitique doublée d'une anomalie négative en Ce proche de celle de l'eau de mer (Chamley et Bonnot-Courtois, sous presse). L'argile des basaltes est formée in situ, en milieu clos, sous l'influence du milieu volcanique. L'argile des sédiments intercalés est formée elle aussi in situ, sous la double influence du milieu volcanique et de l'eau de mer.

d) Le caractère commun aux sédiments supra-basaltiques est leur forte proportion de minéraux argileux typiquement détritiques et la fraction argileuse des sédiments jurassiques des différents sites étudiés a livré, accompagnant les minéraux argileux, une proportion importante de minéraux associés détritiques : quartz et feldspaths. Seuls les calcaires kimmeridgiens du site 401 n'ont pas livré suffisamment d'argile pour apprécier le caractère détritique de leur fraction fine. Mais, à ce site, le basalte n'a pas été prélevé et on ne connaît pas ses relations avec ces calcaires.

Aux argiles typiquement détritiques caractéristiques de la base de la plupart des colonnes sédimentaires sont associées des espèces variables selon le lieu.

Ainsi, au site 101, les minéraux argileux primaires contenus dans les calcaires qui surmontent les basaltes sont accompagnés de quantités importantes d'attapulгите et ceci jusqu'au sommet du Kimmeridgien. L'attapulгите atteint jusqu'à 75 % de la fraction argileuse à la limite Oxfordien-Kimmeridgien, elle est accompagnée parfois d'un peu de kaolinite à l'Oxfordien. Au site 367, l'illite et la chlorite sont accompagnées d'un peu de vermiculite, au tout début de la série sédimentaire.

Les minéraux argileux primaires diminuent par paliers quand on monte dans la série sédimentaire jusqu'au sommet du Jurassique. Ils sont progressivement remplacés par la smectite, dont la cristallinité est moins bonne que celle des smectites trouvées associées au basaltes. Les études géochimiques (Debrabant et Foulon, 1979 ; Chamley et al., sous presse) montrent l'influence volcano-hydrothermale de la dorsale océanique, dont les sites 105 et 367 sont

proches à cette époque et qui est caractérisée par une anomalie  $Mn^*$  très positive et un caractère plus magnésien des carbonates. Ceci entraîne la diminution de l'indice de détritisme D. Les deux influences, détritique et volcanique, sont marquées par la lithologie mais l'étude couplée de la minéralogie et de la géochimie des sédiments permet de déterminer leurs importances respectives.

L'influence volcanique se fait sentir en diminuant jusqu'au Crétacé inférieur, accompagnant la diminution des minéraux argileux primaires et l'augmentation de la smectite.

L'opposition entre la diminution de l'influence volcanique sur les sédiments et l'augmentation des quantités de smectite souligne le caractère détritique de ces minéraux dans l'Océan Atlantique Nord.

La comparaison des données lithologiques, minéralogiques et géochimiques obtenues sur les sédiments jurassiques de l'Océan Atlantique Nord permet de reconnaître l'influence de plusieurs phénomènes qui ont régi la sédimentation à cette époque. Au-dessus du basalte océanique mis en place vers l'époque de la naissance de l'océan (Thiede, 1979), une transgression d'âge oxfordien favorise la mise en place de faciès calcaires (Lancelot et Seibold, 1978), mais l'influence des apports terrigènes sur la sédimentation est marquée clairement par l'abondance et la variabilité des minéraux argileux primaires et d'altération ménagée. De plus, l'influence de la jeune dorsale océanique proche se marque dans l'assemblage géochimique du sédiment, sans toutefois masquer l'héritage continental en particules fines.

La comparaison de la minéralogie argileuse des sites 105 et 367, au Jurassique supérieur, ne permet pas de définir une influence de la latitude sur la sédimentation (fig. 31). Par contre, il existe une différence nette dans les proportions d'éléments détritiques primaires entre le site 101 marqué par l'attapulгите, d'une part, et les sites 105 et 367, d'autre part. La ressemblance entre les sites 105 et 367 peut s'expliquer par la proximité relative des deux sites situés de part et d'autre du rift dans un Océan encore étroit à cette époque. Des différences dues à des positions latitudinales différentes n'ont pu s'inscrire dans la sédimentation, les climats à cette époque étant fort peu différenciés. Cela peut s'expliquer par l'existence d'une barrière récifale importante le long de la marge ouest-atlantique (Benson et Sheridan, 1978) et ayant pu protéger le site 100 d'une partie de l'influence terrigène continentale. Toutefois, l'attapulгите en quantité importante accompagnant les minéraux primaires présente en microscopie électronique à transmission (pl. I)



un faciès de type détritique, en nombreuses fibres courtes et brisées. On peut, de plus, exclure l'origine volcano-hydrothermale de ce minéral, sa quantité augmentant au fur et à mesure que l'on monte dans le Jurassique et donc que l'on s'éloigne de la dorsale et que son influence et celle du basalte sous-jacent se font de moins en moins sentir.

Ces faits conduisent à penser qu'à l'endroit de l'Océan Atlantique où a été foré le site 101, les phénomènes d'érosions continentales, consécutifs à la réaction des marges aux premières phases d'ouverture océanique, agissent sur les roches cristallines ou sédimentaires anciennes, donnant les minéraux argileux primaires et d'altération ménagée. Mais les barrières récifales bordant le continent Nord-américain ont dû favoriser l'existence de bassins à confinements chimiques fréquents et la formation d'argiles fibreuses, remaniées à l'occasion des périodes de déstabilisation des marges.

## CONCLUSION

*Dès les premières périodes de dépôt dans le jeune Océan Atlantique, l'influence détritique continentale est très marquée au niveau des assemblages argileux comme le montrent les quantités importantes de minéraux primaires et non argileux associés. Ces assemblages sont parfois accompagnés de minéraux fibreux en proportions notables. Ceci traduit la réaction des marges aux premiers stades d'ouverture et l'importance de l'érosion vis à vis de l'altération, à la fois sur les continents et dans les zones bordières.*

*L'influence volcanique du rift sur les assemblages argileux se fait uniquement sentir dans les niveaux d'altération des basaltes et dans les niveaux sédimentaires intercalés ou immédiatement sus-jacents. Dans les dépôts postérieurs, seuls les éléments chimiques majeurs et en traces et les terres rares, dosés sur l'ensemble du sédiment, permettent de déceler cette influence. Il y a opposition entre l'influence décroissante du volcanisme et l'augmentation des quantités de smectites de type beidellites dans la fraction argileuse. Cela conforte l'hypothèse d'une origine essentiellement détritique des smectites dans l'Atlantique Nord. Les ressemblances existant dans les assemblages argileux entre les deux marges, particulièrement aux sites 105 et 367, traduisent des conditions d'érosion et de sédimentation argileuse identiques. Les différences latitudinales ne sont pas marquées, suggérant une homogénéité des climats sur l'Atlantique Nord à cette époque.*

## II - LA SEDIMENTATION ARGILEUSE AU CRETACE

Prélevés dans de nombreux forages étudiés (sites 111, 98, 100, 105, 367, 369, 397; 398, 400 et 401), les sédiments du Crétacé de l'Atlantique Nord présentent une grande diversité minéralogique et lithologique. La minéralogie de la fraction argileuse est toutefois généralement dominée par la smectite, à quelques exceptions près. Les successions lithologiques consistent en des ensembles complexes de calcaires argileux, marnes, shales, boues à nannofossiles, silts. Seuls les forages 105, 367 et 398 ont été carottés de façon suffisamment continue pour avoir une idée d'ensemble des séquences sédimentaires sur les marges de l'Atlantique Nord.

a) Dans les trois sites, la sédimentation crétacée débute par des calcaires plus ou moins marneux. La fraction argileuse y est dominée par la smectite, accompagnée d'un peu d'illite et de kaolinite au site 398. Le site 100 se distingue par les quantités plus importantes de minéraux primaires accompagnant la smectite au Berriasien-Valanginien sans doute dues à la proximité de la marge continentale. Du Barrémien à l'Albo-Aptien, tous les sédiments prélevés ont une tendance générale plus marneuse. Cela correspond souvent, au niveau des minéraux argileux, à des venues de minéraux primaires accompagnés parfois de kaolinite au niveau des Iles du Cap Vert (site 367). Son apparition est encore plus tardive sur la marge américaine puisqu'on la trouve pour la première fois dans la série crétacée à l'Aptien au site 100. Toutefois, de faibles quantités de kaolinite avaient été reconnues au Jurassique le long de cette même marge aux sites 101 et 105. Pour Chamley (1979), l'apparition tardive de ce minéral au Crétacé paraît liée à la morphologie continentale. En effet, les jeunes reliefs côtiers sont trop instables pour permettre le développement d'altérations évoluées, cela suite aux premiers stades d'ouverture de l'océan, et les reliefs plus éloignés ne paraissent pas, à cette époque, liés au nouveau bassin de sédimentation par un système de drainage suffisamment cohérent et évolué. L'apparition de la kaolinite en quantité notable dans la fraction argileuse se ferait donc au bout d'une période de stabilité assez longue, traduite par une minéralogie homogène (Chamley, 1979). La comparaison des sites 105, 367 et 369 (fig. 30 et 31) nous montre que c'est effectivement le cas dans les séries étudiées.

b) La domination de la fraction argileuse des sédiments crétacés par la smectite souffre quelques exceptions importantes, en particulier sur la marge Est-Atlantique. En effet, nous observons, au site 369 (fig. 32), des quantités importantes d'attapulгите, à l'Albo-Aptien et au Crétacé supérieur.

L'origine détritique de l'attapulгите apparaît sur les micrographies, où le minéral se présente sous la forme de fibres courtes, trapues et brisées. A l'Albo-Aptien, des quantités notables d'illite et de minéraux interstratifiés irréguliers accompagnent l'attapulгите. Le phénomène est moins marqué au Crétacé supérieur, où toutefois l'illite représente 10 % de la fraction argileuse. L'association de minéraux détritiques primaires et de minéraux fibreux reflètent ainsi l'instabilité des marges océaniques liée aux phases d'ouverture du nouvel océan.

On remarque que, dans les zones où la fraction argileuse contient beaucoup de minéraux fibreux, la kaolinite n'est présente qu'en faible proportion, ou est absente, tant dans les sédiments jurassiques que crétacés. La kaolinite étant un minéral qui se trouve préférentiellement dans la partie amont des bassins versants, bien drainés (Millot, 1964), sa faible représentation en association avec les minéraux primaires et fibreux amène à penser que ce sont les zones aval qui réagissent le plus, sur les continents, aux phases d'ouverture océanique, ceci dans des régions où la zone côtière peu décline a permis l'installation de bassins péri-marins favorables à la naissance d'attapulгите.

c) La représentation sur une échelle chronologique de la minéralogie de la fraction argileuse des sédiments (fig. 29 et 30) permet l'identification des ressemblances et différences géographiques dans la sédimentation, à une époque considérée, dans la limite où la datation des sédiments est suffisamment précise et où ils ont été prélevés de manière suffisamment continue. Le Crétacé inférieur de la marge est-atlantique (sites 367, 369, 397 et 398) se prête bien à ce type de représentation et permet de définir une particularité importante de la zone du Cap Bojador (sites 369 et 397) par rapport à deux forages situés plus au Sud (367) et plus au Nord (398).

En effet, l'abondance de la smectite dans la fraction argileuse des sédiments aux sites 397 et 369 est beaucoup moins grande que dans les autres sites considérés. La somme des minéraux primaires et d'altération ménagée, de la kaolinite et de l'attapulгите, représente jusqu'à l'Albien inférieur plus de 50 % de la fraction argileuse. Cette zone intermédiaire paraît avoir été proche d'un lieu de formation privilégié de l'attapulгите, trouvée ici en grande quantité,

jusqu'au Crétacé terminal (fig. 30). La venue de telles quantités de minéraux fibreux, accompagnés de minéraux primaires en proportions notables nous indique que la zone considérée était particulièrement instable à cette époque. Les deux autres sites considérés comportent, dans la minéralogie de la fraction argileuse, de brusques venues de minéraux primaires, ou d'attapulгите (site 398), sans toutefois atteindre les quantités observées au large du Cap Bojador. On peut établir pour ces différents sites un certain nombre de corrélations entre événements importants qui modifient de manière sensible la minéralogie de la fraction argileuse. Nous voyons ainsi une augmentation nette des quantités de minéraux primaires au Barrémien, dans les sites 367 et 398. Au site 398, ce phénomène est accompagné d'un léger sursaut de la kaolinite. Au site 397, l'illite domine la fraction argileuse de manière très nette. Cette hétérogénéité minéralogique, pour les éléments terrigènes fins, associée à une hétérogénéité lithologique, indique une instabilité de l'alluvionnement, ce qui suggère une activité tectonique en amont de la zone de sédimentation (Chamley, 1979). Cette activité peut correspondre à des épisodes tectoniques sur la bordure ouest-africaine, ou à la réaction des marges lors de phases majeures d'élargissement de l'Océan. Les mêmes observations peuvent être faites à la limite Aptien-Albien. Dans les sites où des sédiments datant de cette époque ont été prélevés, un accroissement de minéraux primaires indique une phase de reprise de l'érosion active. Au site 369, les minéraux primaires sont accompagnés de quantités importantes d'attapulгите, dont le caractère détritique est ainsi conforté. Au sommet de l'Albien, un brusque sursaut des minéraux primaires au site 367 et de l'attapulгите aux sites 369 et 398 paraît traduire à nouveau une période d'instabilité des marges.

d) La marge ouest-atlantique présente en partie les mêmes phénomènes que la marge est. Le site 105 présente à l'Hauterivien et au Barrémien deux nets regains de l'illite et des minéraux interstratifiés irréguliers, que l'on peut corrélérer à l'événement observé sur la marge est. Il semble donc que le phénomène intervenu au milieu du Crétacé inférieur ait affecté l'ensemble du domaine nord-atlantique. Il pourrait s'agir d'une phase importante d'élargissement du jeune océan et dont la minéralogie de la fraction argileuse traduirait l'influence sur les marges.

En revanche le phénomène décelé au sommet de l'Albien sur la marge Est-Atlantique n'apparaît pas sur la marge Ouest. L'absence d'échantillon datant de cette époque dans les sites de la marge américaine ne permet pas de dire que l'augmentation de minéraux primaires sur les marges africano-européennes traduit un événement d'ampleur générale ayant affecté l'ensemble du domaine nord-atlantique, mais plutôt un événement spécifique à la marge orientale de

l'Atlantique Nord. Il semble qu'il s'agit, dans le cas du site 367, d'un écho indirect de l'instabilité des marges, associé à un mouvement majeur de coulissage dans la zone de la Manche, au Sud de la région du forage (Chamley et al., sous presse). Notons que Berggren et Hollister (1977) et Thiede (1979) situent à cette période (Aptien-Turonien inférieur) la mise en communication franche des Océans Atlantiques Nord et Sud.

Un tel événement et son influence sur l'activité tectonique des marges océaniques s'inscrivent dans la minéralogie des particules détritiques déposées à cette époque. L'augmentation des teneurs en matière organique, qui paraît d'origine continentale, ainsi que des teneurs en carbonates et d'indices de courants de turbidités (Jansa et al., 1978) reflètent aussi des remaniements rapides depuis l'amont (Chamley et al., 1980).

e) Le Crétacé supérieur se traduit dans la minéralogie de la fraction argileuse par une dominance générale de la smectite, indiquant une relative stabilité dans les apports terrigènes (Chamley, 1979) et donc une stabilité tectonique sur les marges de l'Océan Atlantique-Nord. Cette constance dans la sédimentation s'interrompt au sommet du Crétacé (Campanien-Maastrichtien), où la fraction argileuse des sédiments de tous les sites étudiés présente une hétérogénéité importante. Le phénomène semble se poursuivre au Paléocène. Il se traduit sur la marge ouest-atlantique par une forte abondance des minéraux primaires au détriment de la smectite (sites 98, 105 et 111) (fig. 29 et 30). Le site 105 présente, parallèlement à l'augmentation des quantités d'illite et de chlorite, une brusque augmentation de la kaolinite. Ce fait indique une augmentation des apports provenant des parties plus amont des bassins versants (Milot, 1964 ; Chamley, 1979). L'association minéraux primaires-kaolinite suggère donc l'intervention d'un événement tectonique important, ayant affecté l'arrière pays continental.

On remarque que le phénomène inscrit dans la minéralogie des argiles correspond, chronologiquement, à l'orogénèse laramienne en Amérique du Nord, qui, selon Pomerol (1975) a édifié d'énormes reliefs sur le continent nord-américain. Nous avons suggéré (Chamley et al., 1980), à la même époque, une phase majeure d'élargissement de l'Océan Atlantique Nord, traduite par la disparition du faciès "black-shales" et l'apparition de la goethite qui indiquent un caractère plus oxygéné de la sédimentation marine.

Sur la marge orientale, les quantités de kaolinite restent faibles, au Crétacé supérieur, exception faite du site 398 où l'irruption de ce minéral

accompagné de minéraux primaires au Crétacé supérieur au détriment des minéraux fibreux témoigne d'un événement tectonique important ayant affecté la marge ibérique occidentale entre le Santonien et le Maastrichtien (Chamley et al., 1979).

La correspondance entre l'apparition de quantités importantes de minéraux primaires d'une part et de kaolinite d'autre part sur les marges atlantiques tend à confirmer l'hypothèse d'une phase d'élargissement ayant affecté l'ensemble du domaine nord-atlantique au Crétacé supérieur.

f) La présence d'attapulгите dans les sédiments des marges nord-atlantiques est et ouest est pratiquement constante au Crétacé supérieur. Le phénomène est toutefois nettement mieux marqué sur la marge est (sites 367, 369 et 398) et devient remarquable sur l'ensemble des marges au Crétacé très supérieur et au début du Cénozoïque, où l'attapulгите est souvent accompagnée de sépiolite (sites 98, 105, 119, 369 et 400) (Chamley, 1979 ; Chamley et al., 1980). Ces minéraux, développés à la faveur de climats chauds, à humidité contrastée, nécessitent de plus une morphologie côtière peu déclive propice au piégeage des solutions ioniques marines et continentales et à leur évaporation (Millot, 1964 ; Chamley, 1979).

La marge africano-européenne paraît plus favorable à de telles conditions que la marge américaine. En effet, la répartition latitudinale des échantillons contenant des argiles fibreuses est beaucoup plus étendue sur la marge est que sur la marge ouest de l'Océan Atlantique. Sur la marge ouest, seul le site 105 présente un niveau où l'attapulгите est présente en quantité importante, dans des argiles zéolitiques varicolores mal datées (fig. 30). Sur la marge est, les sites 367 et 369 contiennent d'importantes quantités d'attapulгите et sépiolite (site 369) au Santonien-Maastrichtien. Le site 398 présente au Campanien-Maastrichtien quelques pics d'attapulгите qui correspondent aux sursauts de minéraux primaires déjà cités. Cela tend à confirmer le caractère détritique des minéraux fibreux des sédiments de l'Atlantique-Nord. Ce ne sont pas les conditions climatiques qui semblent avoir favorisé le développement des argiles fibreuses sur la marge orientale de l'Atlantique, car elles paraissent avoir été très semblables sur les deux zones considérées (Furon, 1972) et avoir eu une extension latitudinale remarquable. Par contre, les conditions morphologiques paraissent défavorables côté américain, où la proximité des reliefs appalachiens a pu gêner l'installation de bassins péri-marins semi-clos. La proximité des zones amont des bassins versants est soulignée par les quantités notables de kaolinite observées au Crétacé supérieur au site 105.

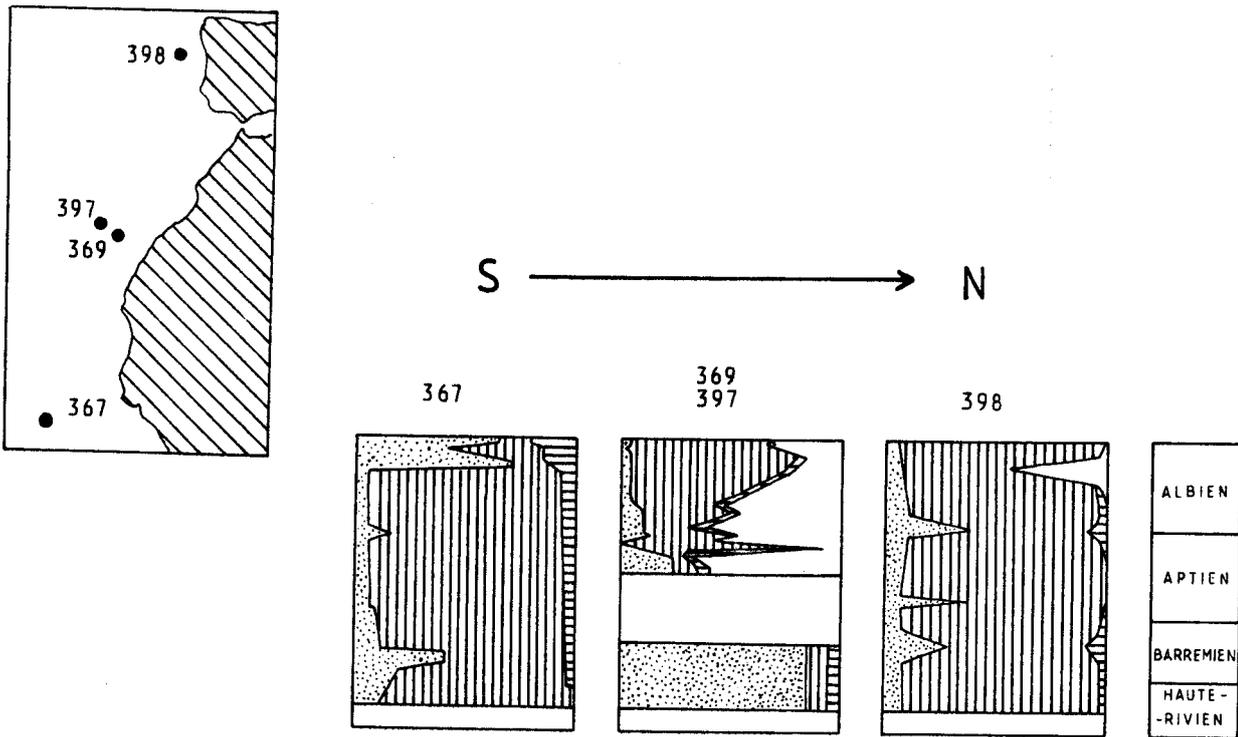


Figure 32 .- Minéralogie des argiles sur la marge atlantique nord-est au Crétacé inférieur.

## CONCLUSION

*Les minéraux dominants de la fraction argileuse des sédiments cré-  
técés dans l'Atlantique Nord sont des smectites. Toutefois, la présence de mi-  
néraux primaires, d'attapulgite et parfois de kaolinite en quantités importantes  
à plusieurs périodes reflète l'instabilité des marges océaniques. Ces événements  
apparaissent principalement au Crétacé moyen et supérieur.*

*- La sédimentation uniforme du Crétacé inférieur traduit une longue  
période de stabilité dans l'Atlantique Nord. Cette stabilité permet le dévelop-  
pement, dans les parties bien drainées des bassins versants, de kaolinite qui  
apparaît dans les sédiments au Crétacé moyen.*

*- Du Barrémien à l'Albien, les augmentations des minéraux primaires  
et parfois de minéraux fibreux reflètent la réaction des marges atlantiques à  
un phénomène d'ouverture de l'Océan. En effet, ces augmentations ne sont pas  
durables et dès le sommet de l'Albien, les smectites dominent à nouveau, jusqu'au  
Crétacé supérieur.*

*- Au Crétacé supérieur, les smectites prédominent largement dans la  
fraction argileuse des sédiments. Mais cette stabilité dans la sédimentation  
s'interrompt au Campanien-Maastrichtien sur les deux marges, indiquant un évé-  
nement tectonique ayant affecté l'ensemble du domaine atlantique nord. Il semble  
s'agir d'une phase d'ouverture majeure de l'Atlantique Nord, accompagnée de  
l'installation de grands courants méridiens (Berggren et Hollister, 1977).*

*- Des phénomènes locaux apparaissent durant le Crétacé, en particu-  
lier la présence ou l'absence de minéraux fibreux ou de kaolinite. La présence  
de ces minéraux semble liée à la morphologie régionale au site considéré et à  
la plus ou moins grande stabilité de ces régions.*

### III - LA SEDIMENTATION ARGILEUSE AU PALEOCENE ET A L'EOCENE

#### A - PALEOCENE

Les sédiments datant du Paléocène ont été prélevés peu souvent dans les forages de l'Océan Atlantique Nord. Sur la marge Est, on les trouve principalement dans les forages 118 et 119 (Golfe de Gascogne) et dans le forage 400 sur la marge armoricaine. Le Paléocène a aussi été prélevé au site 398, sur la marge est-ibérique, ainsi que dans le forage 367 (bassin du Cap Vert), où des échantillons ont été approximativement datés du Paléocène terminal. Côté américain, des sédiments mal datés du site 105 présentent des caractéristiques minéralogiques qui les rapprochent de ceux du Paléocène de la marge orientale. Les autres forages n'ont pas atteint le Paléocène, (site 112), ou présentent un hiatus important à cette époque (fig. 29 et 30).

#### a) La marge est



1. Les sédiments des sites 118 et 119, composés pour la plus grande part d'argiles rouges à grises plus ou moins silteuses, associées à des turbidites au site 119, présentent deux successions minéralogiques différentes (fig. 29). Au site 118, la fraction argileuse comprend essentiellement des smectites, accompagnées de quantités notables d'illite et chlorite, ainsi que de kaolinite. Cet assemblage est le reflet d'apports détritiques importants, l'érosion ayant aussi bien affecté les formations aval des bassins versants (smectites) que les zones situées plus en amont (kaolinite), ainsi que des roches grenues ou sédimentaires anciennes (illite, chlorite). Ce mélange argileux, témoin d'une érosion active importante, semble refléter une des phases de réaction des marges océaniques à l'ouverture du golfe de Gascogne, datée vers cette époque (Laughton et al., 1972). Par contre, au site 119, l'assemblage minéralogique comporte essentiellement de la smectite, avec toutefois un important épisode à argiles fibreuses (attapulгите) vers la base de la série. L'attapulгите, contrairement à ce que l'on a pu observer dans les sédiments crétacés contenant ce type de minéral, n'est ici pratiquement pas accompagnée de minéraux primaires, mais de smectites très bien cristallisées. Les minéraux non argileux associés sont le quartz et les feldspaths, ce qui indique une influence détritique certaine.

Les études géochimiques confirment le caractère détritique des sédiments paléocènes du golfe de Gascogne (Debrabant et Foulon, 1979), et lais-

sent pressentir, entre le Crétacé moyen et l'Oligo-Miocène, la présence d'importants courants de fond méridiens (Maillot et al., 1978 ; Chamley et al., 1978). L'effet probable de ces derniers a été de diluer et diversifier les apports de particules fines en suspension, et donc de favoriser les apports d'origine plus lointaine, au détriment des éléments provenant du continent proche.

Pour Latouche (1971), l'attapulгите du Cantabria Seamount s'est formée dans un lieu proche de son milieu de dépôt, en environnement marin épicontinental. L'examen de l'attapulгите sur les micrographies (pl. II) montre en effet qu'elle se présente sous la forme de fibres longues et en bon état, isolées ou en faisceaux. Ceci indique que le minéral présent au site 119, réputé pour sa fragilité, a subi peu de transport. On peut alors supposer que l'attapulгите s'est formée sur le Cantabria Seamount lui-même, alors partiellement émergé et bordé de faibles dépressions favorables aux phénomènes de concentration et d'évaporation qui, sous climat chaud, peuvent amener la formation d'argiles fibreuses.

La rareté des argiles fibreuses au site 118 peut résulter de sa situation topographique relativement élevée, déterminant une émergence et donc une absence de dépôt. Au même moment, le site 119, plus profond et immergé, recueillait les produits d'érosion issus de l'amont, dont l'attapulгите. Ainsi la sédimentation au site 118 aurait débuté ou repris au Paléocène supérieur-Eocène inférieur, par les argiles rouges pélagiques, à la suite d'un phénomène de subsidence affectant une grande partie du Golfe de Gascogne.

2. Au niveau du site 400 (fig. 27), sur la marge armoricaine, seul le Paléocène supérieur est représenté. L'assemblage argileux des sédiments est très semblable à ceux observés aux sites 118 et 119 : il se compose essentiellement de smectites, accompagnées d'un peu d'illite, de kaolinite, ainsi que d'attapulгите et de sépiolite en traces (Debrabant et al., 1979). Contrairement à ce que l'on observe dans la plaine abyssale, les sédiments déposés ne sont pas constitués d'argiles rouges pélagiques, mais de craies marneuses à nannofossiles, déposées au-dessus du niveau de compensation des carbonates (Montadert, Roberts et al., 1979). Cette différence de lithologie entre deux groupes de sites, associée à une identité de composition de la fraction argileuse, indique une identité des conditions de formation et d'érosion des minéraux argileux dans l'ensemble du golfe de Gascogne au Paléocène supérieur. Toutefois, la situation morphologique particulière de chaque site fait que, si l'assemblage minéralogique est le même à cette époque dans l'ensemble des forages de cette région, les proportions de minéraux détritiques varient légèrement d'un endroit à l'autre.

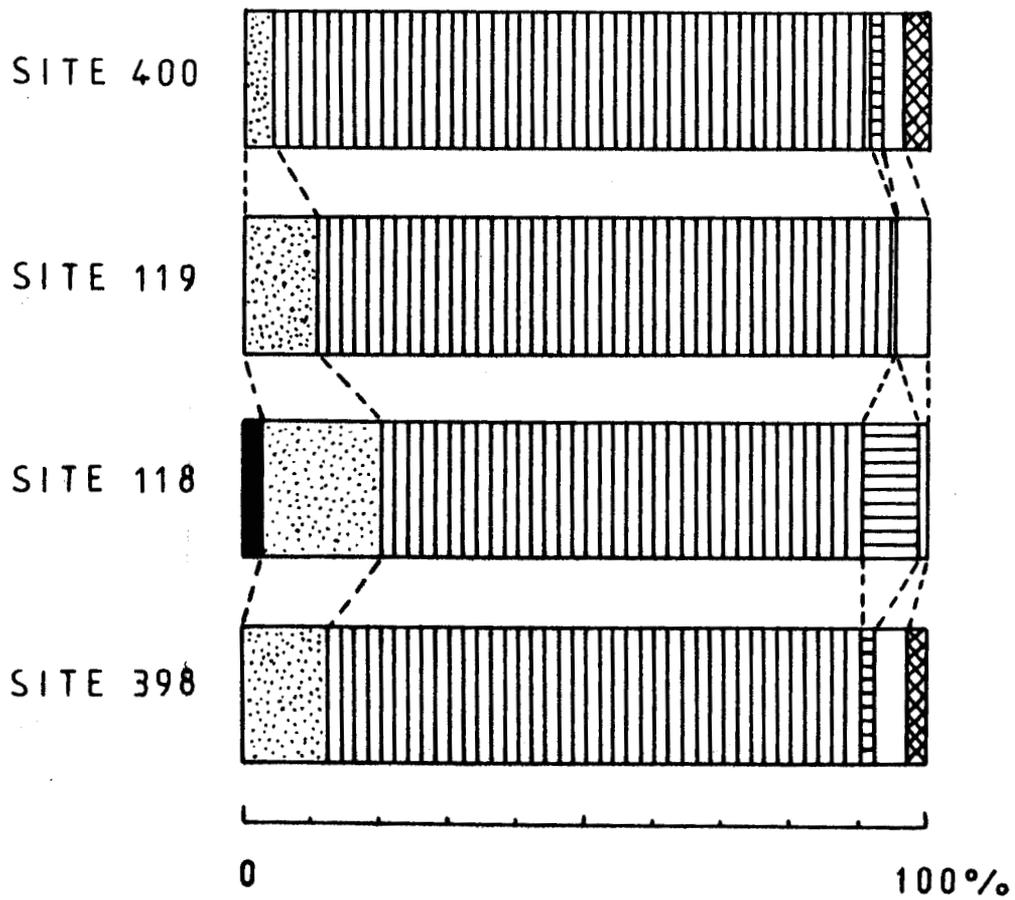


Figure 33 .- Minéralogie des argiles au Paléocène sur la marge atlantique nord-est.

Parmi les quatre sites de la marge Est-Atlantique où le Paléocène supérieur est bien représenté (fig. 29, 30 et 31), le site 118 est celui qui présente le plus de différences avec les trois autres. Les proportions de minéraux primaires, illite et chlorite, y sont plus importantes, ainsi que celles de kaolinite. Cet assemblage reflète l'instabilité des marges du golfe de Gascogne au Paléocène, suite aux phénomènes d'ouverture survenus au Crétacé terminal (Laughton, Berggren et al., 1972). Cette instabilité marquée dans la sédimentation argileuse de la plaine abyssale se poursuit jusqu'à l'Eocène et au hiatus sédimentaire correspondant à la phase tectonique pyrénéenne.

#### b) La marge Ouest

Le site 105 présente, entre les sédiments albo-cénomaniens et ceux du Miocène inférieur, une série sédimentaire mal datée, dont la base est supposée d'âge crétacé supérieur. Cette série sédimentaire argileuse présente deux événements minéralogiques importants :

- A la base, une brusque augmentation des quantités d'illite, de chlorite et de kaolinite (fig. 29 et 30).

- Vers le haut, une apparition massive de minéraux fibreux, attapulgite et sépiolite, accompagnée d'une légère augmentation de l'illite et des minéraux interstratifiés.

La comparaison des données minéralogiques et géochimiques entre le site 105 d'une part et le site 367 d'autre part suggère qu'il existe une correspondance à l'époque considérée entre les événements ayant affecté les deux marges de l'Atlantique (Chamley et al., sous presse). En particulier, la brusque augmentation de minéraux primaires et de kaolinite observée au site 105 correspond bien à celle observée au passage Crétacé-Tertiaire au site 367, voire au Maastrichtien au site 111. Cependant l'épisode à argiles fibresues reconnu à l'Ouest et estimé du Paléocène paraît plutôt correspondre à celui observé à l'Eocène sur la marge est-atlantique. Plusieurs raisons amènent à penser cela :

1. Il existe une étroite correspondance entre les faciès lithologiques des sites 105 et 367, or les argiles zéolitiques du site 367 sont datées de l'Eocène. On peut penser que les argiles zéolitiques du site 105 ont approximativement le même âge.

2. La limite Crétacé-Paléogène correspond dans le bassin nord-

américain, où à été foré le site 105, à l'installation d'une circulation profonde importante (Tucholke et Mountain, 1979 ; Chamley et al., sous presse), dans une région où les taux de sédimentation étaient déjà moindres que dans la partie orientale de l'Océan Atlantique (Lancelot et Seibold, 1978).

L'installation de tels courants de fond peut favoriser l'érosion des sédiments antérieurs, ce qui expliquerait en partie le hiatus sédimentaire constaté à cette époque dans de nombreux forages de la marge Ouest-Atlantique (fig. 29 et 30).

3. Le site 390, foré non loin du site 105, présente un niveau de boue à nannofossiles daté du Paléocène supérieur, contenant des quantités notables de zéolites. La fraction argileuse de ce niveau se compose à peu près uniquement de smectites, accompagnées de traces d'illites. Cet assemblage indique une période remarquablement stable (Pastouret et al., 1978). Le hiatus sédimentaire du Crétacé supérieur-Paléocène, déjà cité pour les sites de la marge américaine, existe donc aussi dans ce forage (Benson, Sheridan et al., 1978).

Il semble donc que l'épisode à argiles fibreuses constaté dans les argiles zéolitiques du site 105 ne puisse être mis en relation avec ce qui a été observé sur la marge européenne au Paléocène, particulièrement au site 119, mais doit plutôt correspondre à ce qui est observé dans un certain nombre de sites des marges est et ouest atlantiques à l'Eocène.

#### B - EOCENE

Les sédiments éocènes sont largement représentés dans les différents forages de l'Océan Atlantique Nord étudiés ici : sur la marge ouest, sites 111, 112, 98, 105 ; sur la marge est, sites 118, 119, 369, 367, 398 et 400.

Généralement, la fraction argileuse des sédiments éocènes de l'Atlantique Nord comporte surtout des smectites, qui peuvent constituer jusqu'à la quasi-totalité de l'argile (site 112). Cependant, l'Eocène inférieur est marqué par de nombreux épisodes où les minéraux primaires et d'altération ménagée, ou bien les minéraux fibreux, augmentent fortement au détriment des smectites. Il existe aussi de nombreux hiatus sédimentaires, tant sur la marge est que sur la marge ouest (fig. 29 et 30).

Ces brusques changements de composition minéralogique ou ces hiatus traduisent des bouleversements de l'environnement et des conditions de sédimentation.

a) La marge est

Sur la marge est-atlantique, les sédiments éocènes ont été prélevés dans les sites suivants, du Sud au Nord : 367, 369, 398, 118, 119 et 400.

1. A l'Eocène inférieur des sites 367, 369, 398, 119 et 400, une brusque augmentation des minéraux fibreux, faisant suite à la période de relative stabilité du Paléocène supérieur, vient modifier le "fond continu" à smectite. Ce changement est accompagné ou suivi de très près d'une augmentation des quantités d'illite, de chlorite et de minéraux interstratifiés irréguliers, ainsi que de kaolinite. Nous avons ici une expression de la réaction des marges à un phénomène de subsidence ou d'élargissement de l'Océan Atlantique, affectant d'abord les bassins péri-marins propices à la formation d'argiles fibreuses puis les roches du socle et les parties amont des bassins versants.

Dans le golfe de Gascogne, les différences observées au Paléocène entre les sites 118 et 119 se poursuivent, nous indiquant que les positions respectives des deux sites n'ont pratiquement pas changé.

Au site 118, les minéraux fibreux apparaissent en quantité faible sur les diagrammes de rayons X (attapulгите), ce qui est confirmé par l'examen des micrographies. Par contre, dans ce forage de la plaine abyssale du Golfe de Gascogne, on observe d'importantes augmentations des minéraux primaires et de la kaolinite. Le site 119, proche mais situé sur le Cantabria Seamount, est marqué par un léger regain d'importance de l'illite et surtout de l'attapulгите. La kaolinite, absente au Paléocène, réapparaît.

Le regain d'importance de l'érosion active sur la marge occidentale est aussi bien marqué dans le Golfe de Gascogne, mais ici on peut observer l'influence directe de la morphologie des lieux de dépôts sur le contenu des assemblages argileux.

L'ensemble de ces fruits minéralogiques indique une reprise de l'érosion active à l'Eocène inférieur, affectant aussi bien les zones bordières (attapulгите) que les zones situées plus en amont (kaolinite). L'ampleur du phénomène, observé tout le long de la marge orientale de l'Atlantique Nord laisse penser qu'il peut s'agir d'un épisode important d'élargissement de l'Océan.

2. L'Eocène supérieur est marqué dans le Golfe de Gascogne par un hiatus sédimentaire important correspondant à la phase tectonique pyrénéenne et au site 119 par la surrection du Cantabria Seamount (Laughton et al., 1972).

Ces bouleversements sont annoncés dans la minéralogie des forages du Golfe de Gascogne par une légère augmentation des quantités de minéraux primaires dans les sédiments précédant immédiatement le hiatus. Aux sites 369, 398 et 400, l'Eocène supérieur est marqué par une légère augmentation des minéraux primaires et parfois de la kaolinite qui réapparaît au site 369. L'érosion active reprend donc à cette époque, affectant l'ensemble des bassins versants.

#### b) La marge ouest

On peut distinguer deux zones minéralogiques à l'Eocène, sur la marge occidentale de l'Atlantique Nord.

Au Sud (sites 98 et 105), si la smectite domine l'ensemble de la fraction argileuse, les minéraux primaires, illite surtout, sont présents en quantités assez importantes et subissent quelques fluctuations. Il en va de même pour la kaolinite, présente en quantités importantes, surtout à l'Eocène inférieur et moyen. A l'Eocène supérieur l'attapulgite est présente en quantités notables au site 98. Le même événement apparaît au site 105. L'imprécision des datations dans cette partie du forage 105 fait qu'on ne peut relier avec précision les sédiments du Cénozoïque inférieur de ce site à ceux des sites environnants. Nous avons vu cependant dans la partie précédente (Paléocène) que les principaux changements minéralogiques du site 105 pouvaient être raccordés à ceux survenus sur la marge occidentale au Paléocène supérieur et à l'Eocène. La présence d'un épisode riche en attapulgite au site 98, à l'Eocène supérieur, conforte l'hypothèse de datation des sédiments à argiles fibreuses du site 105 : l'épisode à argiles fibreuses semble correspondre à l'Eocène supérieur.

Les forages situés au sud de la marge occidentale de l'Atlantique Nord reflètent donc deux événements minéralogiques ayant eu lieu au cours de l'Eocène. Le premier, d'âge éocène inférieur, a affecté aussi bien les parties aval que les parties amont des bassins versants, comme en témoigne la présence conjuguée de minéraux primaires et de kaolinite. Le second semble n'avoir affecté que les zones bordières où les minéraux fibreux ont pu se former dans des bassins péri-marins semi-clos et ont été remaniés vers l'aval par le jeu de la subsidence marginale.

Au Nord de la marge occidentale, dans les forages 111 et 112, la smectite représente à peu près toute la fraction argileuse. L'illite et la chlorite sont cependant ubiquistes et la kaolinite fréquente, ces derniers minéraux étant présents en traces.

L'Eocène semble donc avoir été une période de grande stabilité au large du bouclier canadien, favorisant les phénomènes d'altération par pédogenèse. Ceci pourrait expliquer les grandes quantités de smectites rencontrées dans les forages septentrionaux de la marge atlantique occidentale.

c) Les événements ayant marqué la sédimentation au sud de la marge occidentale de l'Atlantique Nord et sur la marge orientale semblent, à l'Eocène inférieur, être similaires et donc avoir une grande extension. Cette reprise de l'érosion active ne semble pas être due à un phénomène d'ordre climatique, le climat restant à l'Eocène chaud et à forts contrastes d'humidité (Chamley et al., 1979). L'instabilité générale des marges de l'Atlantique Nord à l'Eocène inférieur paraît traduire un épisode majeur d'élargissement de l'océan qui s'est inscrit dans les sédiments indépendamment des conditions de sédimentation ou de morphologie.

L'Eocène supérieur, plus stable, comme en témoigne la variabilité minéralogique moindre, est marqué sur la marge ouest par des événements locaux n'ayant affecté que les zones bordières des continents, comme le souligne la présence d'argiles fibreuses détritiques courtes et d'aspect brisé. Sur la marge est, la tectonique a affecté le golfe de Gascogne, provoquant des hiatus dans la sédimentation. Dans les forages où l'Eocène supérieur est représenté, l'assemblage argileux est assez constant, à smectite dominante, avec toutefois quelques irrptions locales et de faible importance de minéraux primaires et de kaolinite, voire de minéraux fibreux comme au site 369 ou au site 400.

## CONCLUSION

*A la suite des événements minéralogiques du Crétacé supérieur, la base du Paléocène présente des assemblages argileux hétérogènes, particulièrement dans le golfe de Gascogne. Mais le reste de la série Paléocène contient essentiellement des smectites, formées surtout par la pédogenèse en période de stabilité.*

*Cette stabilité s'interrompt à l'Eocène inférieur où les assemblages argileux sont assez hétérogènes dans l'ensemble du domaine atlantique. De brusques irrptions de minéraux primaires, de kaolinite ou de minéraux fibreux témoignent de l'instabilité occasionnelle des marges. Le développement, à cette époque, des minéraux fibreux, est généralisé à l'ensemble du domaine nord-atlantique et résulte de la conjonction de plusieurs éléments favorables :*

- une morphologie peu déclive des marges favorisant l'installation de bassins péri-marins confinés ;
- des climats chauds à tendance aride provoquant de fortes évaporations ;
- un régime à tendance transgressive, accompagné de subsidence quasi-constante des marges.

Les climats ne semblent pas affecter de manière prépondérante les assemblages argileux, dont les modifications sont assez brèves. A l'Eocène supérieur, les smectites sont à nouveau les minéraux dominants. Seuls quelques phénomènes locaux ont affecté la sédimentation dans l'Océan Atlantique Nord, modifiant légèrement les assemblages argileux ou produisant des hiatus dans la série sédimentaire, en particulier dans le golfe de Gascogne où la tectonique pyrénéenne proche et la surrection du Cantabria Seamount ont modifié de manière importante la sédimentation terrigène.

#### IV - LA SEDIMENTATION ARGILEUSE A L'OLIGOCENE

Moins bien représentés que les sédiments éocènes dans l'Océan Atlantique Nord, les sédiments oligocènes présentent deux sortes d'assemblages argileux, répartis sur les deux marges de l'Océan (fig. 29 et 30).

A - A l'Est l'assemblage argileux, où les smectites sont prépondérantes, contient des quantités notables de minéraux primaires, voir de kaolinite. Seuls les forages 119 (golfe de Gascogne) et 369 (Cap Bojador) présentent une série sédimentaire oligocène suffisamment complète pour avoir une idée des événements survenus durant cette période sur la marge orientale.

a) Les sédiments oligocènes du site 369 ont déjà été étudiés et ont fait l'objet d'une publication (Diester-Haass et Chamley, 1980). L'étude comparée de la minéralogie des argiles et de la fraction grossière des sédiments conduit les auteurs à séparer l'Oligocène en quatre zones distinctes (cf. ch. III, description).

La zone I, caractérisée par un climat aride à très faibles précipitations, comporte deux phases : la première, à smectites dominantes, semble avoir subi un régime sédimentaire clame, sans mouvement tectonique important. La deuxième phase, où l'illite et la chlorite augmentent légèrement, paraît correspondre à un régime de régression, ayant favorisé à terre une érosion plus active.

Dans la zone II, la sédimentation marine reflète un climat plus humide, un niveau général des eaux plus élevé et une certaine stabilité tectonique.

La zone III paraît marquée par une succession de transgressions et de régressions, sous climat assez humide, devenant toutefois aride vers le haut de la série.

La zone IV est très différente des trois premières, l'accroissement des minéraux primaires et de la kaolinite étant très important. L'Oligocène supérieur paraît avoir été une période de forte érosion due à une grande instabilité des marges. L'érosion a affecté aussi bien les zones amont que les zones aval des bassins versants, ainsi que les zones marines bordières comme en témoignent les particules marines d'eau peu profondes sédimentées au large.

b) Au site 119, la sédimentation argileuse est sensiblement différente de celle rencontrée plus au Sud. Dès l'Oligocène inférieur les quantités de minéraux primaires, ainsi que de kaolinite y sont notables, témoignant ainsi d'une érosion active. Le site 119 représente un cas particulier, dans la mesure où les sédiments oligocènes font suite à un long hiatus sédimentaire (Laughton, Berggren et al., 1972), correspondant à la phase tectonique pyrénéenne. L'abondance des minéraux primaires et de la kaolinite dans les sédiments oligocènes du site 119 est sans doute le reflet de l'érosion active consécutive à cet événement tectonique majeur. Les variations dans les proportions des différents minéraux soulignent que durant l'Oligocène, les conditions de sédimentation restent instables.

c) Aux sites 398 et 400 l'assemblage argileux, tout en se rapprochant de celui rencontré au site 119, contient moins de minéraux primaires et subit moins de variations. Les conditions de sédimentation semblent y avoir été plus constantes, sans doute à cause de l'éloignement des foyers tectoniques pyrénéens, par rapport au site 119. Les études déjà effectuées indiquent à cette époque un dernier stade d'ouverture de l'Atlantique Nord (Chamley et al., 1979) et le début d'une circulation profonde importante dans la partie est de l'Atlantique Nord (Laughton, Berggren et al., 1972).

d) L'étude comparée des sites 369, 119, 398 et 400 (fig. 29 et 30) montre une augmentation des minéraux primaires vers l'Oligocène supérieur, indiquant une érosion des roches marquées à cette époque. Dans les forages les plus septentrionaux, la kaolinite, toujours présente, existe en quantité moindre que vers les basses latitudes où elle est bien développée. En même temps, la cristallinité des smectites est moins bonne qu'à la base de la série oligocène. On peut voir dans cette différence entre les quantités de kaolinite du Sud au Nord, dans l'altération de la cristallinité des smectites et la présence en proportions notables de minéraux primaires dans les assemblages argileux de l'Oligocène supérieur, un premier signe des grands refroidissements du Cénozoïque et le début d'une différenciation climatique latitudinale.

e) Deux sortes de facteurs paraissent avoir agi sur la sédimentation argileuse à l'Oligocène sur la marge atlantique orientale :

- Une tectonique qui affecte l'ensemble de la marge et qui semble être un des derniers stades importants d'ouverture de l'Océan Atlantique Nord. A ce phénomène d'ampleur générale viennent s'ajouter, dans le golfe de Gascogne, les effets de la tectonique pyrénéenne proche. Ces deux faits sont marqués dans

les assemblages argileux par l'augmentation des minéraux primaires au détriment de la smectite.

- A l'Oligocène supérieur, un début de différenciation climatique et de refroidissement dans le domaine nord-atlantique, qui se marque par les différences entre les quantités de kaolinite rencontrées dans les zones sud et nord de la marge est-atlantique. Le climat semble rester plus chaud et hydrolysant dans les zones sud où la kaolinite est présente en assez grandes quantités.

B - Sur la marge ouest, l'Oligocène est représenté dans les forages 98 et 112 (fig. 29 et 30). La minéralogie de la fraction argileuse est très semblable à celle du site 369, sur la marge est, à l'Oligocène supérieur. Par contre, l'assemblage minéralogique du site 112, plus septentrional, est différent de ceux rencontrés dans les forages de la marge orientale, ainsi que plus au sud. Les smectites y sont présentes en beaucoup plus grandes quantités (90-95 %). Leur cristallinité est très semblable à celle des smectites du site 119 à la même époque et moins bonne qu'aux périodes précédentes. La présence de smectites en quantités très importantes en mer du Labrador, déjà constatée aux époques précédentes et qui se poursuit au Cénozoïque supérieur peut avoir deux origines :

- des apports provenant de l'altération de roches volcaniques en quantités très importantes sur le bouclier canadien ;

- le dépôt par courants de fond de particules provenant des zones septentrionales de l'Atlantique Nord, bassin d'Islande et plateau de Rockall, selon le schéma proposé par la sédimentation actuelle par Zimmerman (1975).

La dégradation de la cristallinité des smectites, accompagnée d'une légère augmentation des quantités de minéraux primaires vers le haut des séries oligocènes de la marge ouest paraît indiquer un léger refroidissement favorisant la reprise de l'érosion active, au détriment des phénomènes d'altération pédogénique produisant des smectites bien cristallisées.

Comme sur la marge est, les quantités de kaolinite dans la fraction argileuse sont plus importantes aux basses qu'aux hautes latitudes. On a là le signe d'un début de différenciation climatique dans la zone ouest-atlantique. L'influence d'un climat plus froid annonçant les glaciations du Cénozoïque supérieur se fait donc davantage sentir dans les zones les plus septentrionales de l'Océan Atlantique. Le développement de grands courants de fonds méridiens le long des marges est et ouest à cette époque (Davies et Laughton, 1972), favorise le transport des minéraux primaires arrachés par l'érosion active dans les zones septentrionales vers les basses latitudes.

## CONCLUSION

*C'est à l'Oligocène qu'apparaissent les différences importantes entre les deux marges de l'Océan Atlantique Nord et entre les basses et hautes latitudes. Les apports de smectites par courants de fond provenant des hautes latitudes apparaissent clairement au site 112, alors que sur la marge est, on observe au nord (site 119) un écho de la tectonique pyrénéenne récente. Au sommet de l'Oligocène, une augmentation rapide et brève des quantités de minéraux primaires suggère une des dernières phases d'ouverture importantes de l'Atlantique Nord, affectant l'ensemble des marges. Le début d'une différenciation climatique latitudinale apparaît à l'Oligocène supérieur, marquée par des quantités de kaolinites différentes du Sud au Nord. C'est là l'annonce des grands changements climatiques du Cénozoïque moyen et supérieur. Les débuts des refroidissements mondiaux s'inscrivent cependant dans tous les sites, avec une augmentation légère mais constante des quantités de minéraux primaires.*

## V - LA SEDIMENTATION ARGILEUSE AU CENOZOÏQUE SUPERIEUR : MIOCENE A PLEISTOCENE

Le phénomène majeur apparaissant dans la fraction argileuse des sédiments du Cénozoïque supérieur, dans l'Océan Atlantique Nord, est l'augmentation massive des quantités de minéraux argileux primaires au détriment des smectites. Cette modification des assemblages argileux s'accompagne, dans la plupart des forages, d'augmentations des quantités de minéraux non argileux associés détritiques : quartz, feldspaths et amphiboles.

Ces modifications des assemblages de minéraux argileux traduisent les refroidissements du Cénozoïque supérieur et l'accroissement des mécanismes d'érosion active des roches des socles et des sédiments anciens. A l'opposé, les mécanismes d'altération chimique, en particulier la pédogenèse, sont moins poussés. Le phénomène paraît généralisé à l'ensemble des océans, comme le montrent les études menées sur les sédiments de l'Atlantique Sud (Maillot et Robert, sous presse), ou dans la mer des Philippines (Chamley, 1980). Il existe cependant dans l'Océan Atlantique Nord, entre les marges est et ouest et du sud au nord, des différences notables entre les fractions argileuses des sédiments étudiés.

### A - DIFFERENCES LATITUDINALES

Elles concernent essentiellement les quantités de kaolinite qui diminuent du sud au nord, sur les deux marges. Ces variations traduisent une zonation latitudinale plus marquée et une différenciation des climats plus nette qu'au cours des périodes précédentes. L'érosion active, affectant la partie amont des bassins versants, provoque l'arrivée en quantités notables de kaolinite dans les sédiments, au large du continent africain (sites 367, 369) et de la partie sud du continent nord-américain (site 98, 101). Par contre, au large de l'Europe et de la partie septentrionale du continent américain, la kaolinite est présente en quantités moindres. Les conditions de climat chaud, hydrolysant, favorables à la genèse de kaolinite, ne semblent donc plus régner sur l'ensemble du domaine nord-atlantique.

### B - DIFFERENCES ENTRE LES MARGES EST ET OUEST

Les différences déjà notées au cours des périodes précédentes entre les deux marges de l'Océan Atlantique Nord s'accroissent au Cénozoïque supérieur.

Les quantités de kaolinite dans la fraction sédimentaire argileuse des forages de l'Atlantique septentrional sont plus importantes au large du continent européen qu'au large du bouclier canadien (sites 111 et 112). On peut expliquer cela par le climat relativement plus frais qui paraît avoir régné sur le Nord du continent américain (Furon, 1972) depuis l'Eocène et qui était peu favorable à la formation de quantités notables de kaolinite. De plus, la grande stabilité du bouclier canadien (Stockwell et al., 1979) a sans doute défavorisé les phénomènes d'érosion active au profit des altérations.

Une autre différence importante entre les marges est et ouest est la plus grande abondance des smectites par rapport aux minéraux primaires côté américain. Les augmentations massives de minéraux primaires dans la fraction argileuse s'y produisent plus tard (Miocène supérieur) que sur la marge orientale. La stabilité du continent américain et du bouclier canadien a sûrement été plus favorable aux phénomènes de pédogenèse et d'altération superficielle que les continents africain et européen. Ces derniers ont connu au cours du Cénozoïque des événements tectoniques importants favorisant l'érosion active et la sédimentation sur les marges de minéraux argileux typiques du détritisme. Cette instabilité du continent européen se traduit du reste dans l'hétérogénéité lithologique des sédiments de la marge océanique.

L'étude des courants de fond actuels dans la partie septentrionale de l'Atlantique Nord-Ouest montre que de nombreuses particules fines, et en particulier des smectites, ont pour origine les bassins d'Islande et de Norvège ou le plateau de Rockall (Zimmerman, 1975).

Ces smectites ont très probablement une origine volcanique. Comme l'installation des grands courants de fond pourrait dater du Paléogène (Tucholke et Mountains, 1979 ; Thiede, 1979), on peut penser que les grandes quantités de smectites rencontrées aux sites 111 et 112 (fig. 29) résultent en grande partie d'apports lointains et non pas uniquement de phénomènes d'altération et d'érosion sur le continent proche. Il faut toutefois noter que le bouclier canadien a été longtemps recouvert d'importantes séries volcaniques qui ont pu donner, par altération et érosion, des smectites en quantités notables (Stockwell, 1979).

L'environnement général de la marge américaine paraît donc plus favorable à la sédimentation de minéraux provenant de l'altération que de l'érosion active. La dégradation des conditions climatiques se traduit dans la cristallinité des smectites, qui devient mauvaise au fur et à mesure que l'on monte dans la série. En effet, les smectites ne se forment plus dans les sols au moment de

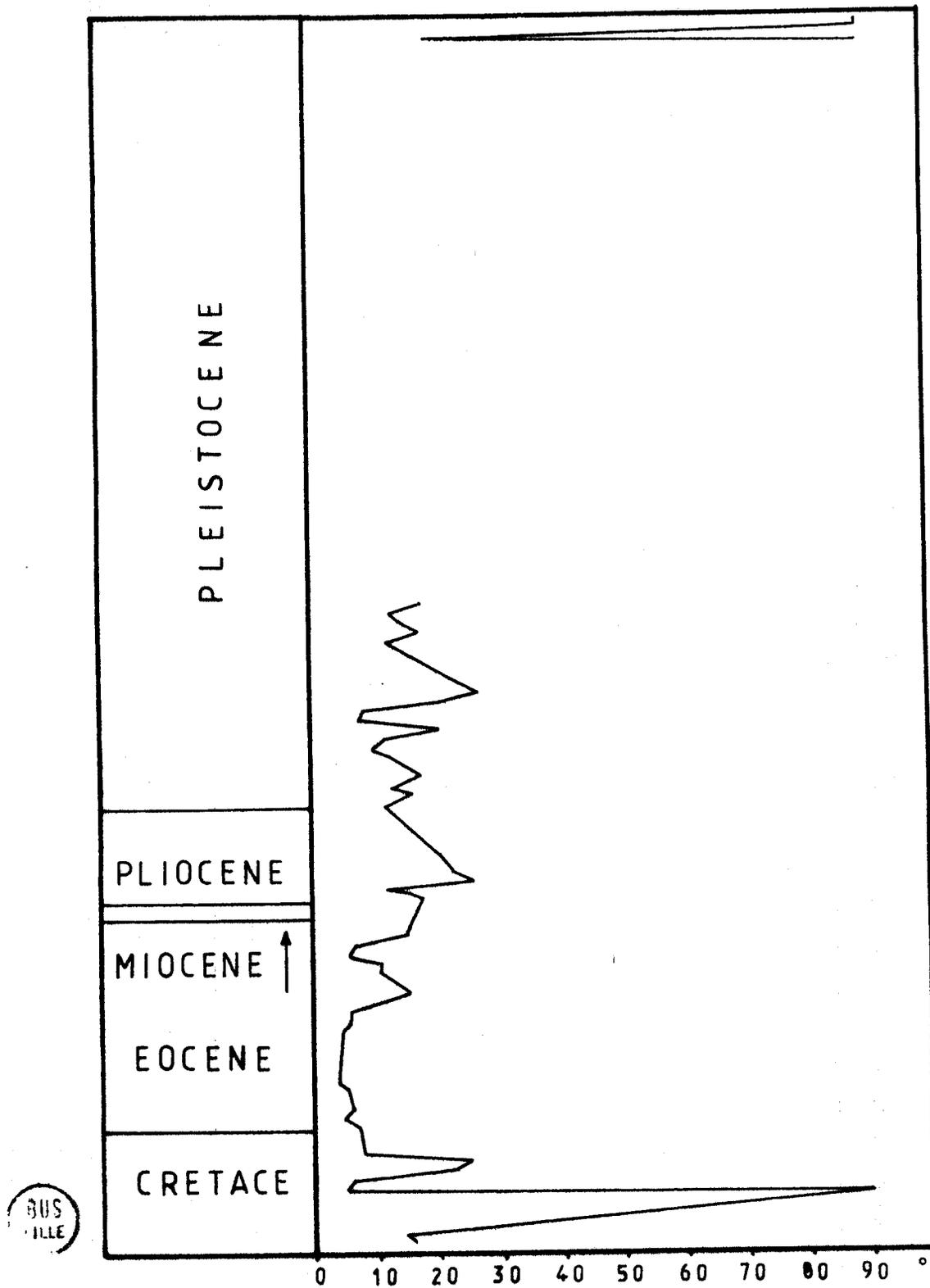
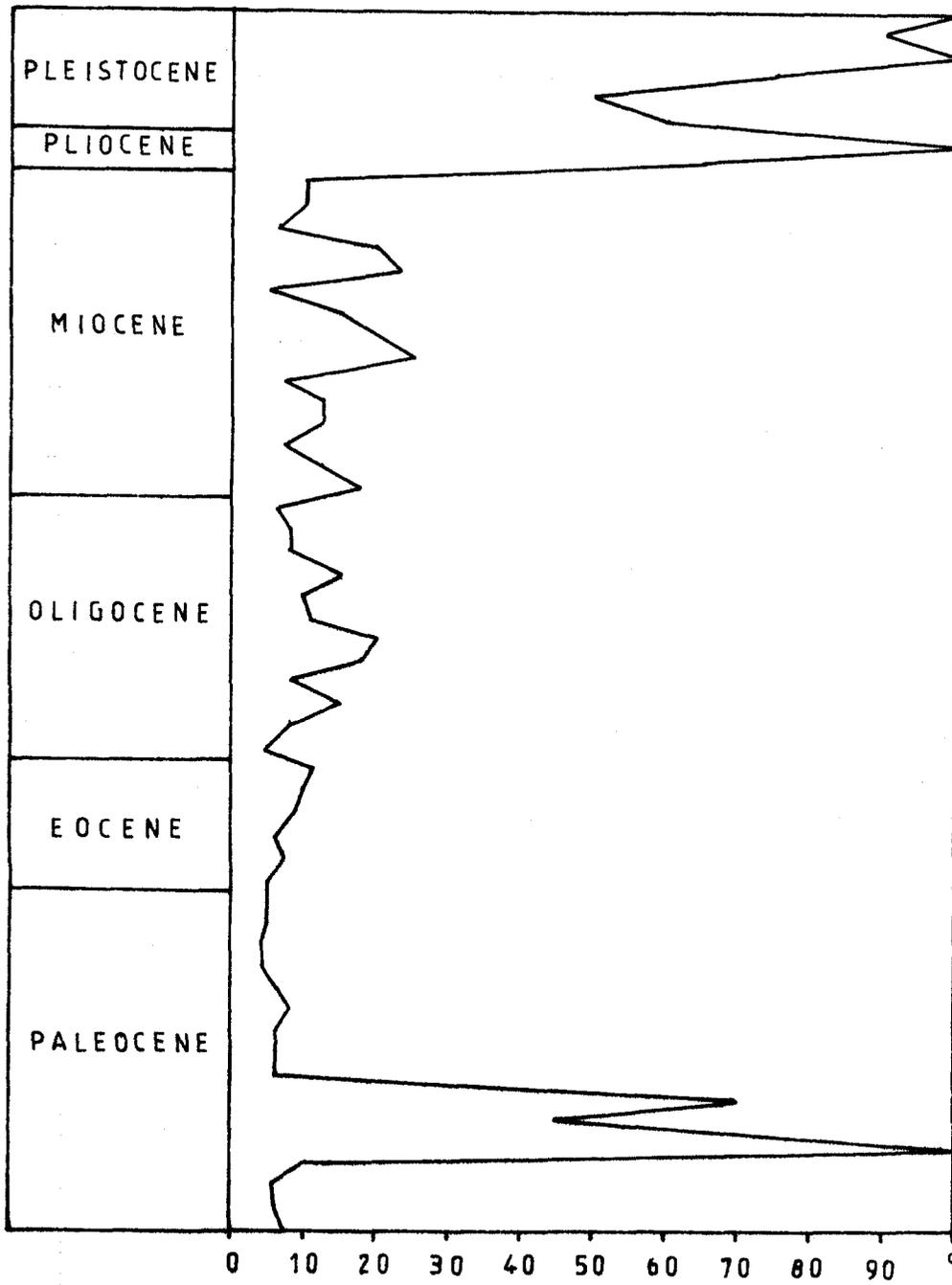


Figure 34 .- Evolution de la cristallinité des smectites (indice E) au site 111.



BUS  
LILLE

Figure 35 .- Evolution de la cristallinité des smectites (indice E) au site 119.

l'érosion et celles qui sont érodées, provenant des anciens sols ou de roches sédimentaires anciennes sont altérées et dégradées par les nouveaux climats tempérés puis frais. Pour les smectites provenant de l'altération de roches volcaniques, les conditions d'hydrolyse météorique ne sont plus suffisamment réunies au Cénozoïque supérieur pour fabriquer de belles smectites d'altération, au fur et à mesure que les climats se refroidissent.

Cette dégradation, représentant un des effets des refroidissements et des glaciations du Cénozoïque supérieur, s'observe aussi sur les smectites de la marge est (site 119) (fig. 34 et 35).

#### C - CARACTERES COMMUNS AUX DEUX MARGES DE L'ATLANTIQUE NORD

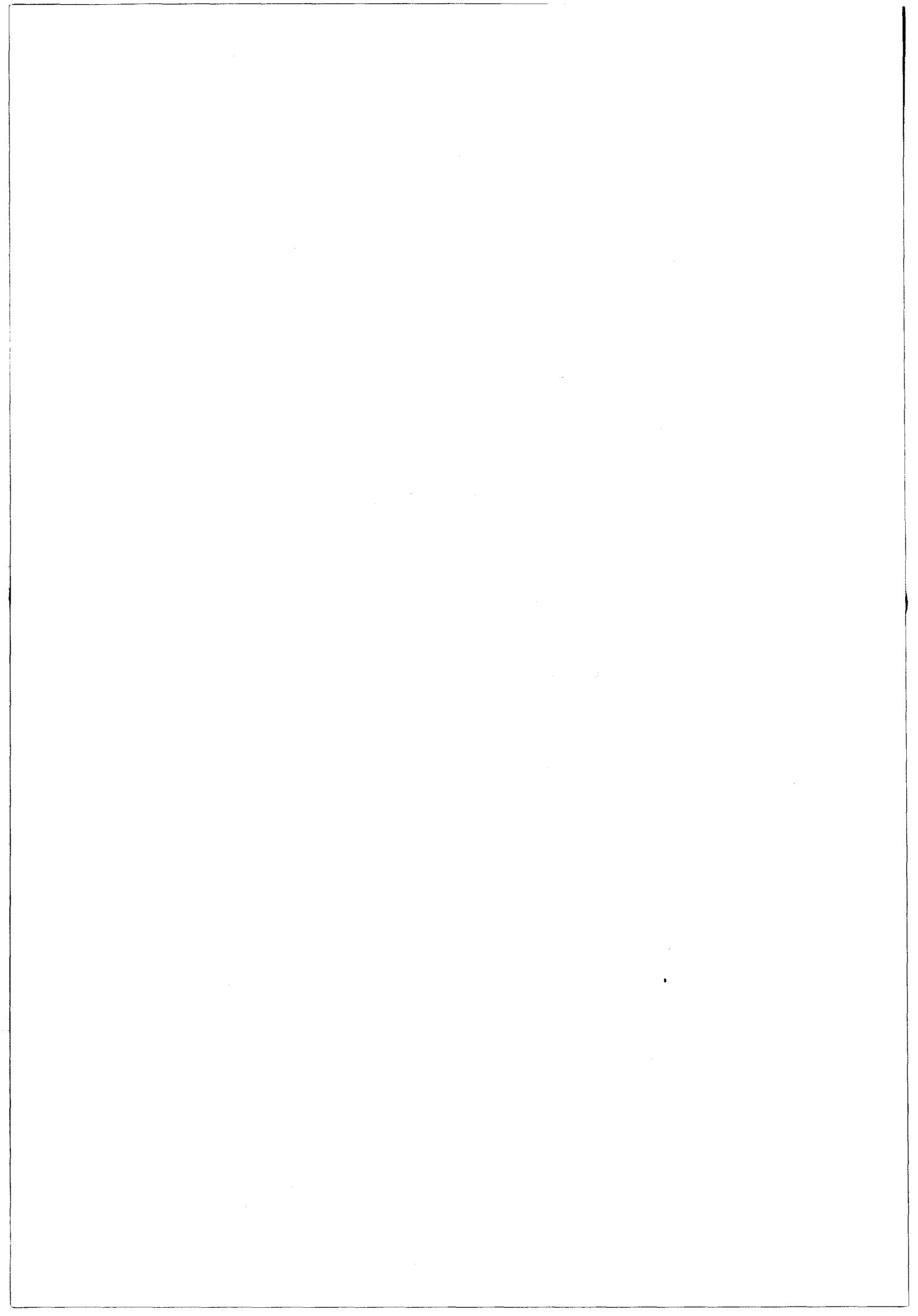
L'augmentation des quantités de minéraux argileux primaires au cours du Cénozoïque supérieur se fait de manière assez irrégulière, traduisant ainsi les phases importantes de refroidissement et les périodes les plus marquées d'érosion active sur les continents. Les minéraux interstratifiés présents en quantités notables montrent que les altérations sont moins poussées que durant les périodes précédentes. Sous les basses latitudes, la sédimentation bénéficie en outre des apports de minéraux primaires provenant des zones septentrionales grâce à la présence de grands courants méridiens (Thiede, 1979).

#### CONCLUSION

*Le refroidissement général des climats et les glaciations quaternaires sont bien inscrits dans les assemblages argileux du Cénozoïque. Il apparaît plus ou moins tard selon les conditions qui régissent les dépôts aux sites considérés. En général, les quantités de minéraux primaires sont plus importantes sur la marge est, reflétant une instabilité plus grande de cette zone de l'Atlantique Nord et, par référence aux différences actuelles, entre les marges est et ouest, un climat généralement plus froid. Les différences latitudinales concernent surtout la kaolinite, qui dépend des conditions d'hydrolyse sur les continents et dont l'apparition est le signe d'un climat resté suffisamment chaud.*

*Le caractère principal des changements minéralogiques du Cénozoïque supérieur est leur durée par rapport à ceux dus à des événements tectoniques rencontrés auparavant et leur progressivité, les augmentations de minéraux primaires étant d'ampleur faible pour une période donnée mais s'étendant longuement dans le temps.*

CONCLUSION GENERALE



## CONCLUSION GENERALE

*Le reflet des environnements passés sur les marges Est et Ouest de l'Atlantique Nord est recherché au travers de la sédimentation argileuse, replacée dans un contexte géologique général. Quatorze forages du Deep Sea Drilling Project, qui recoupent des basaltes et des séries sédimentaires déposées entre le Jurassique supérieur et le Quaternaire, sont pris en compte.*

1. *La sédimentation argileuse est dominée par l'héritage, tout au long du Mésozoïque supérieur et du Cénozoïque. Les genèses in situ sont localisées et d'ampleur limitée. En effet :*

- Les assemblages argileux identifiés ont une nature et une diversité très variables, indépendantes de la profondeur d'enfouissement ainsi que de la lithologie. La diagenèse argileuse in situ n'est le plus souvent pas décelable dans la minéralogie et la géochimie d'ensemble. Les seules genèses relativement importantes sont observées au sein et à proximité immédiate des basaltes océaniques, sous forme de smectites en touffes ou "planches", ou de sépiolite flexueuse dans des agrégats carbonatés.

- L'illite, la chlorite, les quartz, feldspaths et amphiboles associés, sont typiquement hérités des socles et vieilles roches des continents, cependant que la kaolinite et les interstratifiés irréguliers procèdent d'altérations météoriques plus ou moins agressives.

- Les smectites ont pour la plupart des caractères de minéraux formés dans des sols continentaux : elles sont essentiellement alumino-ferrifères, bien cristallisées, à cortège de terres rares proches des shales, sans lien avec un milieu volcanique, sédimentaire carbonaté, siliceux ou organique. Seuls les caractères chimiques permettent de saisir le reflet des premiers stades océaniques, par une adsorption de métaux de transition sur les bordures ou dans les intervalles des feuillets.

- Les argiles fibreuses, attapulgite (= palygorskite) et sépiolite, sont présentes dans des sédiments très divers, souvent remaniés depuis l'amont. On ne leur reconnaît pas de liaison stricte avec les silicates authigènes (opale CT, clinoptilolite), sur les plans lithologique et micromorphologique.

## 2. Signification des principales familles d'argiles.

- Les *smectites*, particulièrement abondantes et bien cristallisées jusqu'au Paléogène, reflètent surtout le développement de sols gris dans des domaines continentaux mal drainés, soumis à des climats chauds avec contrastes marqués dans la pluviosité. Leur développement durant une grande partie du Jurassique terminal, du Crétacé, du Paléocène et de l'Eocène, est favorisé par la stabilité relative des marges continentales. Les *smectites* moins abondantes et moins bien cristallisées apportées à l'océan après l'Eocène traduisent des *pédogenèses* moins évoluées, liées à des refroidissements climatiques.

- Les *minéraux primaires* (illite, chlorite et espèces non argileuses associées) reflètent des *regains d'érosion* lorsqu'il sont apportés en abondance à la mer. C'est le cas lorsque la marge continentale est rajeunie par la tectonique, ou lorsque les climats moins hydrolysants favorisent l'altération physique par rapport à l'altération chimique.

- La *kaolinite* et les oxydes de fer associés sont les témoins d'hydrolyses poussées en milieu bien drainé, survenant principalement dans les domaines amont des bassins versants continentaux. L'arrivée de ces minéraux dans les fonds océaniques peut refléter le façonnement morphologique des bassins versants liés au jeune Atlantique.

- Dominées par l'*attapulгите*, les *argiles fibreuses* sont essentiellement remaniées de bassins *péri-marins* soumis à la subsidence marginale, dans lesquels elles sont nées dans des conditions sévères de confinement ionique et d'évaporation.

## 3. Signification des changements chronologiques et géographiques.

- Au Jurassique moyen et supérieur, peu après la naissance du bassin atlantique nord, les *sédiments argileux* se ressemblent aux divers sites de forage, reflétant l'étroitesse de l'océan et l'absence d'échanges méridiens. L'abondance des *minéraux primaires*, parfois associés à de l'*attapulгите*, signe la *réaction tectonique des marges aux phases d'ouverture*. Les *smectites* n'augmentent que plus tard, lorsque les sites s'éloignent des foyers volcaniques par le jeu de l'expansion océanique : ce fait, joint aux particularités de cristallinité et de chimie, confirme les différences d'origine par rapport aux *smectites intra-basaltiques*.

- Au Crétacé, l'extension verticale et horizontale des périodes à smectite reflète à la fois le régime fréquent de relaxation tectonique, la permanence des climats chauds à saisons contrastées et leur extension latitudinale. Ces périodes sont interrompues par des irrptions de minéraux primaires, parfois accompagnés d'argiles fibreuses et/ou de kaolinite, reflets probables de la réaction tectonique des marges aux accélérations temporaires de l'élargissement océanique. C'est notamment le cas au Barrémo-Albien où les apports d'attapulгите depuis la bordure africaine sont notables, ainsi qu'au Crétacé terminal et lors du passage au Tertiaire. Les apports de minéraux de milieux confinés sont plus importants du côté oriental, traduisant des reliefs moins déclives et des climats peut-être plus hydrolysants.

- Au Cénozoïque les différenciations s'accroissent en longitude et en latitude, témoignant de l'élargissement et de l'approfondissement de l'océan en même temps que du déplacement des blocs continentaux.

+ D'une manière générale le Paléocène et l'Eocène, encore riches en smectites, voire en sépiolite et attapulгите, correspondent à des climats demeurant chauds et de tendance aride. Dès l'Oligocène basal, l'accroissement irrégulier du groupe de l'illite est le reflet des refroidissements mondiaux, aboutissant aux glaciations des hautes puis moyennes latitudes. Les apports de kaolinite augmentent dans les parties méridionales de l'Atlantique Nord dès l'Oligocène, reflétant bien l'individualisation des zones latitudinales de climat. Des pulsations existent, témoins de crises climatiques et de derniers réajustements tectoniques.

+ Côté américain, le maintien d'apports importants de smectites alumino-ferrifères paraît résulter d'apports du continent proche, ainsi que de venues depuis l'Atlantique Nord-Est à la faveur des circulations profondes.

+ Côté européen, la permanence plus grande des argiles fibreuses, le développement régional des apports de kaolinite, est l'écho des climats chauds variés qui affectent l'Afrique en migrant au travers des zones tropicales et équatoriales.

+ De plus en plus, les conditions locales deviennent significatives, comme au Sud du golfe de Gascogne, marqué par d'importantes différences bathymétriques entre sites et soumis à la tectonique pyrénéenne. L'accroissement des échanges méridiens par les grands courants océaniques provoque des déplacements Nord-Sud de matériaux terrigènes, mais ces derniers ne brouillent jamais de manière majeure les messages continentaux propres aux grandes zones latitudinales de pétrographie et de climat.

#### 4. Perspectives

On a tenté dans ce travail de progresser dans la connaissance et la signification de la sédimentation argileuse mésozoïque et cénozoïque dans l'Atlantique Nord. *Les événements tectoniques, marqués par des variations minéralogiques brusques, de grande ampleur mais de faible durée, ainsi que les événements climatiques aux effets plus progressifs et plus durables, paraissent être à l'origine des principales modifications observées dans la stratigraphie minéralogique.*

Les limites de cette étude se situent sur deux plans. D'une part le nombre de forages étudiés est encore très restreint en regard de l'extension du domaine nord-atlantique, qui n'a cessé de croître au cours du temps. D'autre part le maillage de l'échantillonnage est encore trop large, surtout pour les périodes charnières de l'histoire géologique. Une grande part des progrès à attendre passe donc par *un développement et une localisation des recherches.*

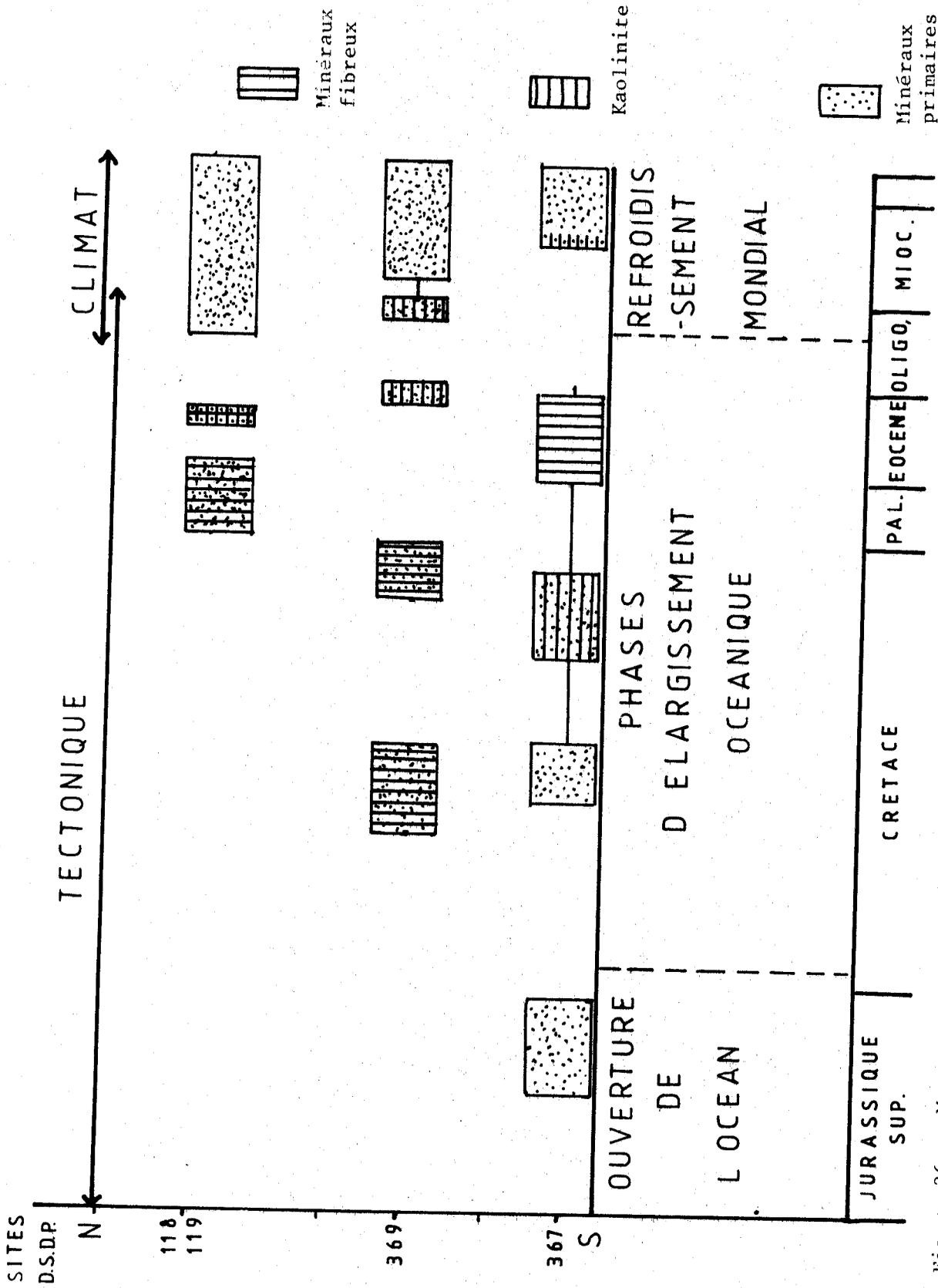


Figure 36 .- Marge Ouest de l'Atlantique Nord - Evénements tectoniques et climatiques déduits des principaux changements minéralogiques.  
 N. B. : La smectite, non représentée, indique jusqu'à l'Eocène un climat chaud et à humidité contrastée.



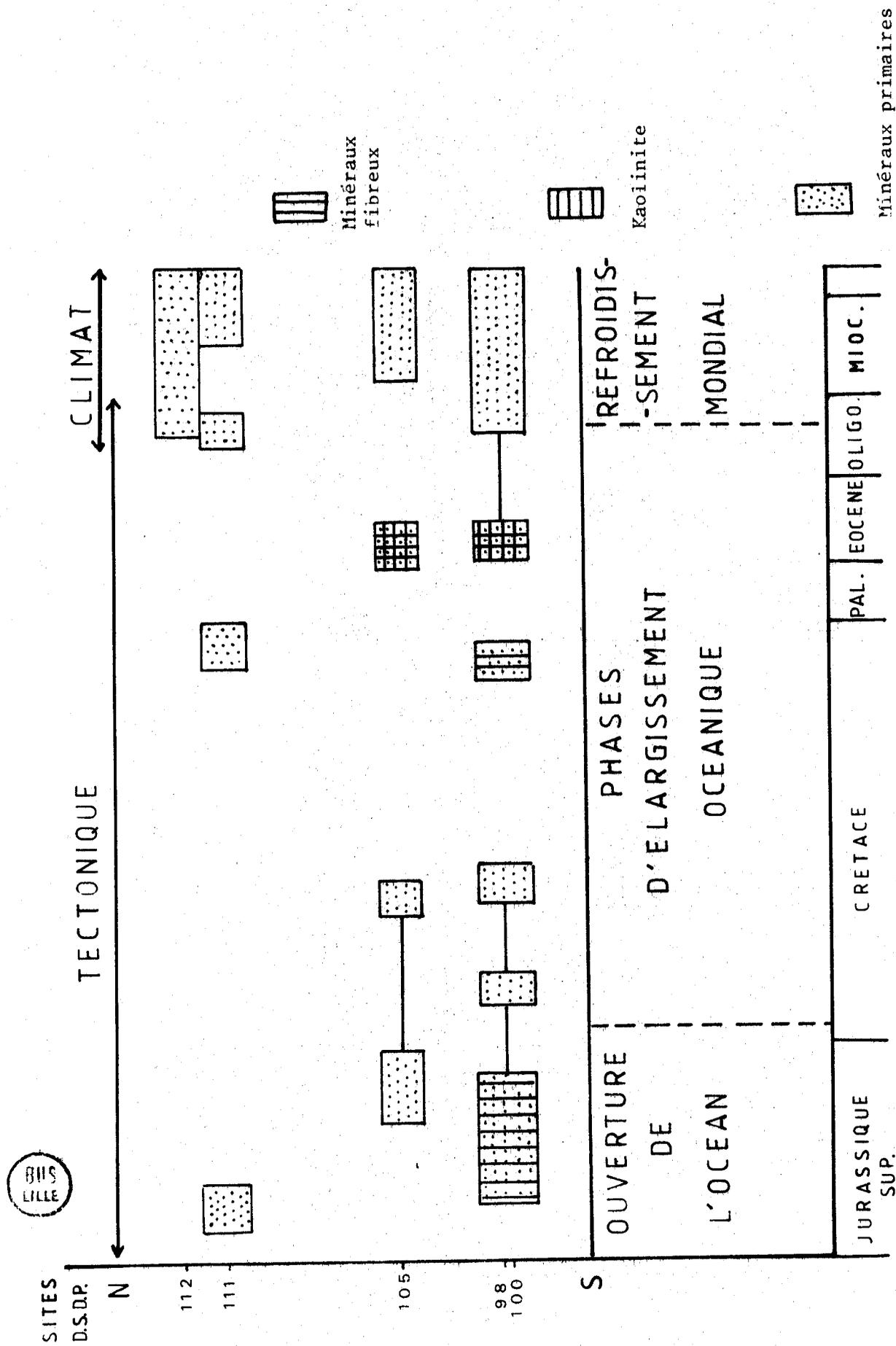
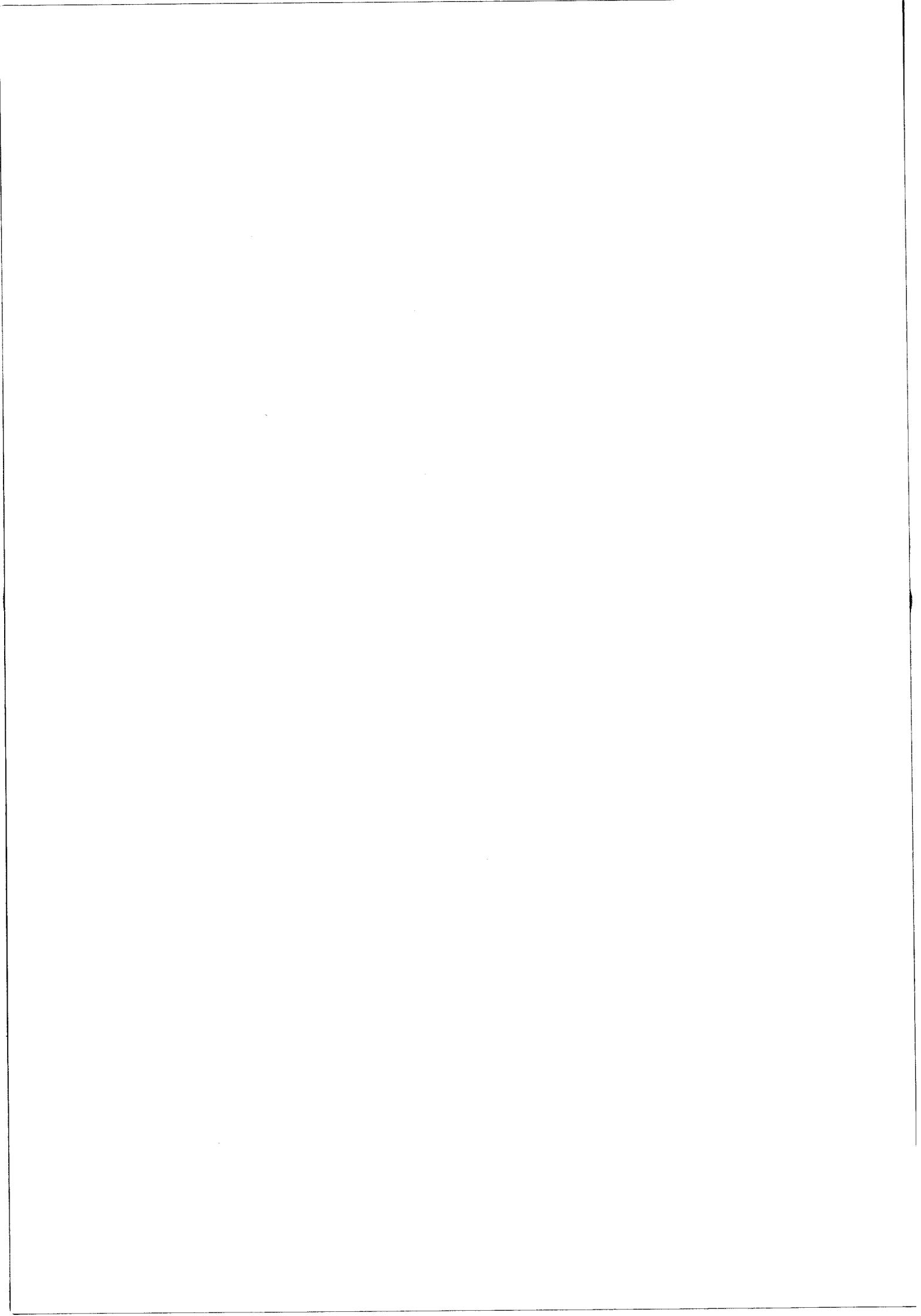


Figure 37.- Marge Est de l'Atlantique Nord - Evénements tectoniques et climatiques déduits des principaux changements minéralogiques.  
N. B. : La smectite, non représentée, indique jusqu'à l'Eocène un climat chaud et à humidité contrastée.

BIBLIOGRAPHIE



- BIBLIOGRAPHIE -

---

- ARTHUR M. A., 1979 .- North Atlantic Cretaceous Black Shales. In Sibuet J.-C., Ryan W. B. F. et al., *Init. Rep. of the Deep Sea Drill. Proj.*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), XLVII, 2, 451-468.
- AUFFRET G. A. et PASTOURET L., 1977 .- Sur les modalités de la sédimentation profonde actuelle dans le golfe de Gascogne. *Bull. Soc. géol. France*, (7), XIX, 2, 243.
- AUFFRET G. A. et PASTOURET L., 1978 .- Evolution sédimentaire comparée des marges américaines et de Blake-Bahama depuis le Crétacé supérieur, d'après les résultats des Legs 48 et 44 du "Glomar Challenger". *Bull. Soc. géol. France*, (7), XX, 4, 453-464.
- AUFFRET G. A. et PASTOURET L., 1979 .- Upper Cretaceous to Quaternary Sedimentary Processes in the Bay of Biscay from Textural, Mineralogical, and Coarse Fraction studies. In Montadert L., Roberts D. G., *Init. Rep. of the Deep Sea Drill. Proj.*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), XLVIII, 791-830.
- AUFFRET G. A., PASTOURET L. et al., 1979 .- Dredged Rocks from the Armorican and Celtic Margins. In Montadert L., Roberts D. G., *Init. Rep. of the Deep Sea Drill. Proj.*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), XLVIII, 995- 1 014.
- BENSON W. E., SHERIDAN R. E. et al., 1978 .- *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), XLIV, 1 005 p.
- BERGGREN W. A. et HOLLISTER C. D., 1977 .- Plate Tectonics and Paleocirculation-commotion in the Ocean. *Tectonophysics*, 38, 11-48.
- BERNOULLI D., 1972 .- North Atlantic and Mediterranean Mesozoic Facies : a comparison. In Hollister C. D., Ewing J. I. et al., *Init. Rep. of the Deep Sea Drill. Proj.*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), XI, 801-872.
- BISCAYE P. E., 1965 .- Mineralogy and Sedimentation of Recent Deep-Sea Clay in the Atlantic Ocean and Adjacent Seas and Oceans. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 76, 803.

- BROWN G., 1961 .- The X-Ray Identification and Cristal Structures of Clay Minerals. *Mineralogical Society*, 544 p., London.
- CHAMLEY H., 1966 .- *Guide des techniques du laboratoire de Géologie marine*. Document interne. Station marine d'Endoume et Centre d'Océanographie. Luminy, Marseille, 168 p. dact.
- CHAMLEY H., 1971 .- Recherches sur la sédimentation argileuse en Méditerranée. *Thèse de Doctorat de Sciences naturelles*, Université d'Aix-Marseille, *Sci. géol., Strasbourg*, Mém. 35, 225 p.
- CHAMLEY H., 1975 .- Remarques sur la sédimentation argileuse quaternaire en mer de Norvège. *Union des Océanographes de France*, VII, 1-2, 15.
- CHAMLEY H., 1979 .- Les successions argileuses de l'Atlantique Nord, écho des changements mésozoïques et cénozoïques de l'environnement. Exemple du Bassins du Cap Vert. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 289-D, 769-772.
- CHAMLEY H., 1979 .- North Atlantic Clay Sedimentation and Paleoenvironment since the Late Jurassic. In : *Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean : Continental Margins and Paleoenvironment*. M. Ewing Series 3, Amer. Geoph. Union. Publ. Ed. M. Talwani, W. Hay, W. B. F. Ryan, 342-361.
- CHAMLEY H. et BONNOT-COURTOIS C., 1981 .- Argiles authigènes et terrigènes de l'Atlantique et du Pacifique NW (Legs 11 et 58 DSDP) : Apport des terres rares. *Oceanologica Acta*, 4 (sous presse).
- CHAMLEY H., DEBRABANT P., FOULON J., GIROUD D'ARGOUD G., LATOUCHE C., MAILLET N., MAILLOT H. et SOMMER F., 1979 .- Mineralogy and Geochemistry of Cretaceous and Cenozoïc Atlantic Sediments off the Iberian Peninsula (Site 398, DSDP Leg 47B). In Sibuet J.-C., Ryan W. B. F. et al., *Init. Rep. of the Deep Sea Drill. Proj.*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), XLVII, 2, 429-450.
- CHAMLEY H., DEBRABANT P., FOULON J. et LEROY Ph., 1980 .- Contribution de la minéralogie et de la géochimie à l'histoire des marges nord-atlantiques depuis le Jurassique supérieur (sites 105 et 367 DSDP). *Bull. Soc. géol. France*, (sous presse).
- CHAMLEY H., DEBRABANT P., FOULON J. et MAILLOT H., 1978 .- Minéralogie et géochimie des sédiments secondaires et cénozoïques de la marge atlantique nord-orientale (Legs 47B, 48, 50 DSDP). *Bull. Soc. géol. France*, (7), XX , 4, 401-410.

- CHAMLEY H. et DIESTER-HAASS L., 1976 .- Argiles marines détritiques et climats quaternaires au large de l'Afrique nord-occidentale. *4ème R. A. S. T.*, Paris, 104.
- CHAMLEY H. et DIESTER-HAASS L., 1979 .- Upper Miocene to Pleistocene Climates in Northwest Africa deduced from Terrigenous Components of Site 397 Sediments (DSDP Leg 47A). In von Rad V., Ryan W. B. F. et al., *Init. Rep. of the Deep Sea Drill. Proj.*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), XLVII, 1, 641-646.
- CHAMLEY H., DIESTER-HAASS L. et LANGE H., 1977 .- Terrigenous material in East Atlantic sediment cores as an indicator of NW African climates. *"Meteor" Forsch. Ergebnisse*, C, 26, 44-59, Berlin-Stuttgart.
- CHAMLEY H. et GIROUD D'ARGOUD G., 1979 .- Clay Mineralogy of Site 397, South of Canary Islands (DSDP, Leg 47A). In von Rad V., Ryan W. B. F. et al., *Init. Rep. of the Deep Sea Drill. Proj.*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), XLVII, 1, 595-602.
- CHAMLEY H., GIROUD D'ARGOUD et C. ROBERT, 1980 .- Clay Mineralogy of Cretaceous and Cenozoic Sediments off the Moroccan Margin, DSDP, Sites 415 and 416. In Lancelot Y. et Winterer E. L., *Init. Rep. of the Deep Sea Drill. Proj.*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), L, 715-724.
- CHAMLEY H. et ROBERT C., 1979 .- Late Cretaceous to Early Paleogene Environmental Evolution Expressed by the Atlantic Clay Sedimentation. In : *Cretaceous-Tertiary Boundary Eventy Symposium*. Ed. W. K. Christensen and T. Birkelund., II. Proceedings, 71-77, Univ. Copenhagen.
- COURTOIS C. et CHAMLEY H., 1978 .- Terres rares et minéraux argileux dans le Crétacé et le Cénozoïque de la marge atlantique orientale. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 286-D, 671-674.
- DAVIES T. A. et LAUGHTON A. S., 1972 .- Sedimentary Processes in the North Atlantic. In Laughton A. S., Berggren W. A. et al., *Init. Rep. of the Deep Sea Drill. Proj.*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), XII, 905-934.
- DEBRABANT P., CHAMLEY H., FOULON J. et MAILLOT H., 1979 .- Mineralogy and Geochemistry of Upper Cretaceous and Cenozoic Sediments from North Biscay Bay and Rockall Plateau (Eastern North Atlantic), DSDP Leg 48. In Montadert L. et Robert D. G., *Init. Rep. of the Deep Sea Drill. Proj.*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), XLVIII, 703-726.
- DEBRABANT P. et FOULON J., 1979 .- Expression géochimique des variations du paléoenvironnement depuis le Jurassique supérieur sur les marges nord-atlantiques. *Oceanologica Acta*, 2, 4, 469.

- DIESTER-HAASS L. et CHAMLEY H., 1978 .- Neogene Paleoenvironment off NW Africa based on Sediment from DSDP Leg 14. *J. Sedim. Petr.*, 48, 3, 879.
- DIESTER-HAASS L. et CHAMLEY H., 1980 .- Oligocene Climatic, Tectonic and Eustatic History off NW Africa (DSDP Leg 41, site 369). *Oceanologica Acta*, 3, 1, 115.
- DILLON W. P. et SOUGY J. M. A., 1974 .- Geology of West Africa and Canary and Cape Verde Islands. In A. E. M. Nairn et F. G. Stehli : *The Ocean Basins and Margins*, 2 : *The North Atlantic*, 315, Plenum Press.
- FLOOD R. D. et HOLLISTER C. D., 1974 .- Current-Controlled Topography on the Continental Margin of the Eastern United States. In Burck C. A. et Drake C. L. : *The Geology of Continental Margins*, 197, Springer-Verlag.
- FROGET C. et CHAMLEY H., 1977 .- Présence de sépiolite détritique dans les sédiments récents du golfe d'Arzew (Algérie). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 285-D, 307-310.
- FURON R., 1972 .- *Éléments de Paléoclimatologie*. 216 p., Vuibert Ed.
- GIBLIN P., 1979 .- Minéralogie et géochimie de la limite Crétacé-Tertiaire dans quelques forages océaniques profonds. *Thèse 3ème cycle*, Institut Géologie Strasbourg, 115 p. dact.
- GRACIANSKY P. C. de, 1979 .- Genèse et évolution comparées de deux Marges continentales passives : Marge ibérique de l'Océan Atlantique et Marge européenne de la Téthys dans les Alpes occidentales. *Bull. Soc. géol. France*, (7), XXI, 5, 663-674.
- GROUPE GALICE, 1979 .- The Continental Margin off Galicia and Portugal : Acoustical Stratigraphy, Dredge Stratigraphy and Structural Evolution. In Sibuet J. C., Ryan W. B. F. et al., *Init. Rep. of the Deep Sea Drill. Proj.*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), XLVII, 2, 633.
- HEIRTZLER J. R., 1973 .- The Evolution of the North Atlantic Ocean. In Tarling D. H. et Runcorn S. K. : *Implications of Continental Drift to the Earth Sciences*, 191-196, Academic Press.
- INSTITUT DE GEOLOGIE DE STRASBOURG, 1978 .- *Notes techniques* : Technique de préparation des minéraux argileux en vue de l'analyse par diffraction des rayons X. Centre de Sédimentologie et Géochimie de la Surface, Strasbourg, 33 p.
- JANSA L., GARDNER J. V. et DEAN W. E., 1978 .- Mesozoic sequences of the Central North Atlantic. In Lancelot Y., Seibold E. et al., *Init. Rep. of the Deep Sea Drill. Proj.*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), XLI, 991-1 032.

- JANSA L., ENOS P., TUCHOLKE B. E., GRADSTEIN F. M. et SHERIDAN R. E., 1979 .- Mesozoïc Cenozoïc Sedimentary Formation of the North American Basin ; Western North Atlantic. In : *Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean : Continental Margins and Paleoenvironment*. M. Ewing Series 3, Amer. Geoph. Union. Publ. Ed. M. Talwani, W. Hay, W. B. F. Ryan, 1.
- LANCELOT Y., 1977 .- The evolution of the Central Northeastern Atlantic. Summary of Results of D. S. D. P. Leg 41. In Lancelot Y., Seibold E. et al., *Init. Rep. of the Deep Sea Drill. Proj.*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), XLI, 1 215.
- LANCELOT Y., 1980 .- Environnements sédimentaires océaniques : développement de la paléo-océanographie. *Mém. h. sér. Soc. géol. France*, 10, 351-362.
- LANCELOT Y., SEIBOLD E. et al., 1977 .- *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), XLI, 1 259 p.
- LATOUCHE C., 1971 .- Découverte d'attapulгите dans les sédiments carottés sur le dôme Cantabria (Golfe de Gascogne). Conséquences paléogéographiques. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 272-D, 2 064-2 066.
- LAUGHTON A. S., 1972 .- The Southern Labrador Sea. A Key to the Mesozoïc and Early Tertiary Evolution of the North Atlantic. In Laughton A. S., Berggren W. A. et al., *Init. Rep. of the Deep Sea Drill. Proj.*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), XII, 1 155-1 180.
- LAUGHTON A. S., 1975 .- Tectonic evolution of the Northeast Atlantic Ocean, a review. *Norg. Geol. Unders.*, 316, 169-193.
- LAUGHTON A. S., BERGGREN W. A. et al., 1972 .- *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), XII, 1 243 p.
- MAILLOT H., DEBRABANT P. et FOULON J., 1978 .- Caractéristiques géochimiques des marges atlantiques nord-orientales. *6ème R. A. S. T.*, Orsay, 261.
- MAILLOT H. et ROBERT C., 1980 .- Minéralogie et Géochimie des sédiments crétacés et cénozoïques dans l'Océan Atlantique sud (Marge africaine, dorsale médio-atlantique). *Bull. Soc. géol. France*, (7), XXII, 5, 777-788.
- MILLOT G., 1964 .- *Géologie des argiles*. 499 p., Masson.
- MONTADERT L., WIMOCK E., DELTEIL J.-R. et GRAU G., 1974 .- Continental Margins of Galicia-Portugal and Bay of Biscay. In C. A. Burk and C. L. Drake : *The Geology of Continental Margins*, 323, Springer-Verlag.

- MONTADERT L., CHARPEL O. de, ROBERTS D., GUEMOC P. et SIBUET J.-C., 1979 .- Northeast Atlantic Passive Continental Margins : Rifting and Subsidence Processes. In : *Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean : Continental Margins and Paleoenvironment*. M. Ewing Series 3, Amer. Geoph. Union. Publ. Ed. M. Talwani, W. Hay, W. B. F. Ryan, 154.
- PASTOURET L., CHAMLEY H. et al., 1978 .- Late Quaternary Climatic Changes in Western Tropical Africa deduced from deep-sea Sedimentation off the Niger Delta. *Oceanologica Acta*, 1, 2, 217.
- PEDRO G., 1968 .- Distribution des principaux types d'altération chimique à la surface du globe. Présentation d'une esquisse géographique. *Rev. Géogr. phys. et Géol. dyn.*, (2), X, 5, 457-470.
- PINTA M., 1971 .- *Spectrométrie d'absorption atomique*. T. II, 793 p., Masson.
- POMEROL C., 1973 .- *Stratigraphie et Paléogéographie. Ere cénozoïque*. 269 p., Doin.
- POMEROL C., 1975 .- *Stratigraphie et Paléogéographie. Ere mésozoïque*. 383 p., Doin.
- POW-FOONG F. et ZEMMELS I., 1972 .- X-Ray Mineralogy Studies. In Laughton A. S., Berggren W. A., *Init. Rep. of the Deep Sea Drill. Proj.*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), XII, 1 127-1 143.
- RAD V. von et ARTHUR M., 1979 .- Geodynamic, Sedimentary and Volcanic Evolution of the Cape Bojador Continental Margin. In : *Deep Drilling Results in The Atlantic Ocean : Continental Margins and Paleoenvironment*. M. Ewing Series 3, Amer. Geoph. Union. Publ. Ed. M. Talwani, W. Hay, W. B. F. Ryan, 187.
- RICH V. et RAD (von) U., 1979 .- Silica Diagenesis in the Atlantic Ocean. Diagenetic Potential and Transformation. In : *Deep Drilling Results in The Atlantic Ocean : Continental Margins and Paleoenvironment*. M. Ewing Series 3, Amer. Geoph. Union. Publ. Ed. M. Talwani, W. Hay, W. B. F. Ryan, 315-340.
- ROBERT C., 1974 .- Contribution à l'étude de la sédimentation argileuse en Méditerranée orientale. *Thèse 3ème cycle*, Univ. Aix-Marseille, 81 p.
- ROSE A.-J., 1970 .- *Tables et abaques - Radiocristallographie*. p., C. N. R. S.
- SCLATER J. et TAPSCOTT C., 1980 .- L'histoire de l'Atlantique. In : *La dérive des continents, la tectonique des plaques*, 106, Belin.

- SEIBOLD E. et HING K., 1974 .- Continental Slope Contraction and Destruction, West Africa. In Burk C. A. et Drake C. L. : *The Geology of Continental Margins*, 179, Springer-Verlag.
- SIBUET J. C. et RYAN W. B. F., 1979 .- Evolution of the West Iberian Passive Continental Margin in the Framework of the Early Evolution of the North Atlantic Ocean. In Sibuet J. C. et W. B. F. Ryan, *Init. Rep. of the Deep Sea Drill. Proj.*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), XLVII, 2, 761.
- SIBUET J. C., RYAN W. B. F. et al., 1979 .- *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, (U. S. Gov. Print. Off., Washington), XLVII, 2, 25.
- STOCKWELL C. H. et al., 1979 .- Géologie du Bouclier Canadien. In R. J. W. Douglas et L. P. Tremblay, *Géologie et Ressources minérales du Canada*. A, 408 p., Ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources, Canada, Ottawa.
- THIEDE J., 1979 .- History of the North Atlantic Ocean : Evolution of an Asymmetric Zonal Paleo-Environment in a Latitudinal Ocean Basin. In : *Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean : Continental Margins and Paleoenvironment*. M. Ewing Series 3, Amer. Geoph. Union. Publ. Ed. M. Talwani, W. Hay, W. B. F. Ryan, 275.
- THIEDE J., 1979 .- Paleogeography and Paleobathymetry of the Mesozoic and Cenozoic North Atlantic Ocean. *Geojournal*, 3, 3, 263.
- THIEDE J., 1980 .- Palaeo-oceanography, Margin Stratigraphy and Palaeophysiology of the Tertiary North Atlantic and Norwegian-Greenland Seas. *Phil. Trans. royal Soc. London*, A 294, 177.
- THIRY M., 1978 .- *Techniques de diffraction des rayons X*. 44 p. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, C. G. G. M., Lab. Minéralogie.
- TUCHOLKE B. E. et MOUNTAIN G. S., 1979 .- Seismic Stratigraphy, Lithostratigraphy and Paleosedimentation Patterns in the North American Basin. In : *Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean : Continental Margins and Paleoenvironment*. M. Ewing Series 3, Amer. Geoph. Union Publ. Ed. M. Talwani, W. Hay, W. B. F. Ryan, 58.
- VIGNEAUX M., 1974 .- The Geology and Sedimentation History of the Bay of Biscay. In Nairn A. E. M. et Stehli F. G., *The Ocean Basins and Margins*, vol. 2, *The North Atlantic*, 273, Plenum Press.

- WEAVER C. et BECK K., 1977 .- Miocene of the S-E United States : a Model for Chemical Sedimentation in a Peri-marineenvironment. *Sedimentary Geology*, Spec. iss., 17, 1/2, 234 p.
- ZIMMERMAN H. B., 1975 .- Patterns of Fine Sediments dispersal, North Atlantic Ocean. *9ème Congr. Intern. Sédimentologie*, VII, abstr., 77-79, Nice.

**PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES**

- PLANCHE I -

MICROSCOPIE ELECTRONIQUE A TRANSMISSION

- 1 - Site 105 - Leg 11 - Echantillon 43.1.100. Basalte altéré de l'Oxfordien-Kimmeridgien. Fraction argileuse : smectites 35 %, sépiolite, 65 %.  
Association de smectites en planches ou en lattes et de sépiolite en longues fibres.
- 2 - Site 105 - Leg 11 - Echantillon 43.1.100. Basalte altéré de l'Oxfordien-Kimmeridgien. Fraction argileuse : smectites 35 %, sépiolite 65 %.  
Smectites en planches et sépiolite.
- 3 - Site 105 - Leg 11 - Echantillon 42.2.81. Basalte altéré de l'Oxfordien-Kimmeridgien. Fraction argileuse : smectites 100 %, smectites en touffes provenant de l'altération de basalte océanique.
- 4 - Site 105 - Leg 11 - Echantillon 39.2.141. Calcaires argileux rouges de l'Oxfordien-Kimmeridgien. Fraction argileuse : chlorite 5 %, illite 45 %, interstratifiés 25 %, smectites 25 %. Association de minéraux primaires à bords nets et de smectites en flocons.

PLANCHE I



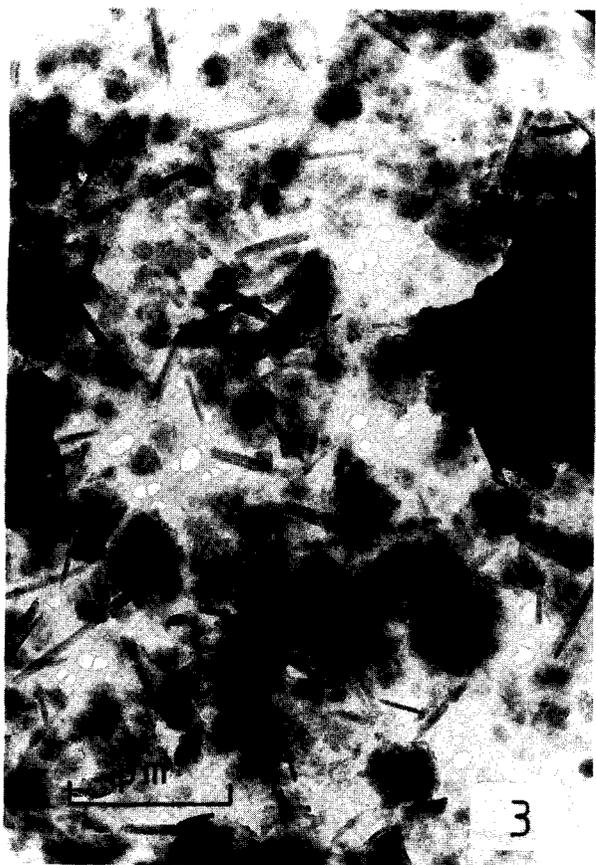
IS  
LILLE

- PLANCHE II -

MICROSCOPIE ELECTRONIQUE A TRANSMISSION

- 1 - Site 119 - Leg 12 - Echantillon 40.2.97. Turbidites du Paléocène.  
Fraction argileuse : smectites 40 %, attapulgite 60 %. Les smectites ont un aspect floconneux. L'attapulgite se présente en longues fibres isolées ou en faisceaux.
  
- 2 - Site 119 - Leg 12 - Echantillon 40.2.97. Turbidites du Paléocène.  
Fraction argileuse : smectites 40 %, attapulgite 60 %, . On remarque, associés aux smectites et à l'attapulgite, quelques minéraux en tablettes (illite). L'attapulgite se présente en longues fibres isolées ou en baguettes trapues et brisées.
  
- 3 - Site 369A - Leg 41 - Echantillon 6.5.20. Marnes argileuses du Miocène moyen. Fraction argileuse : illite 20 %, smectites 60 %, kaolinite 15 %, attapulgite 5 %. L'attapulgite, très faiblement décelable aux rayons X, est bien visible sur les micrographies, en fibres courtes et trapues.
  
- 4 - Site 369A - Leg 41 - Echantillon 46.4.58. Boues calcaires de l'Aptien supérieur. Fraction argileuse : chlorite 5 %, illite 10 %, interstratifiés 10 %, smectites 10 %, kaolinite 5 %, attapulgite 60 %. L'attapulgite se présente sous deux formes : faisceaux de longues fibres ou fibres isolées courtes.

PLANCHE II

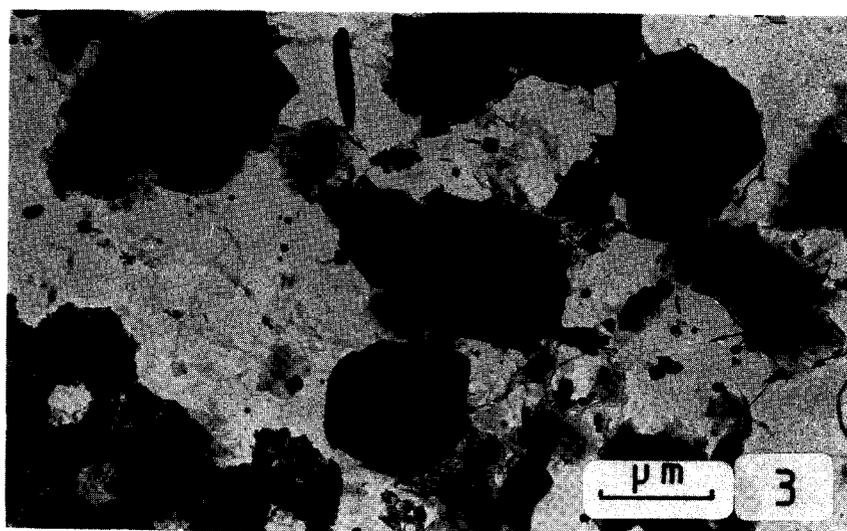
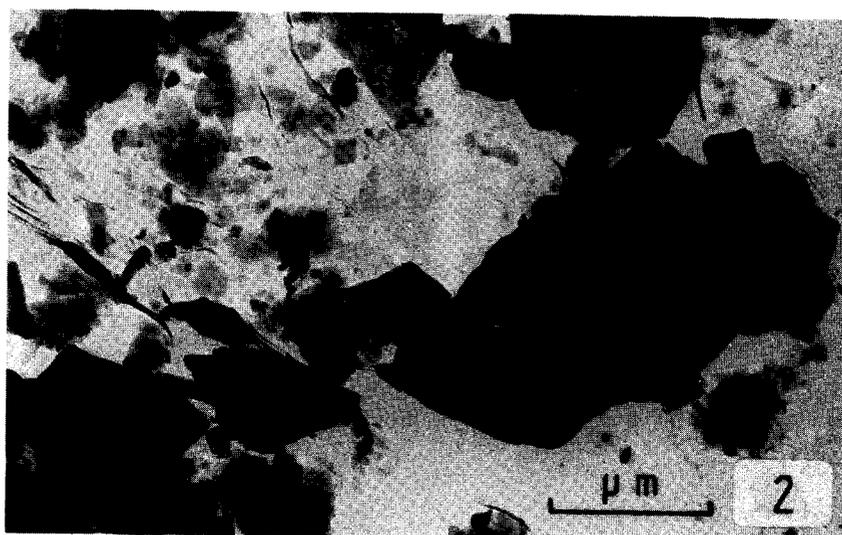
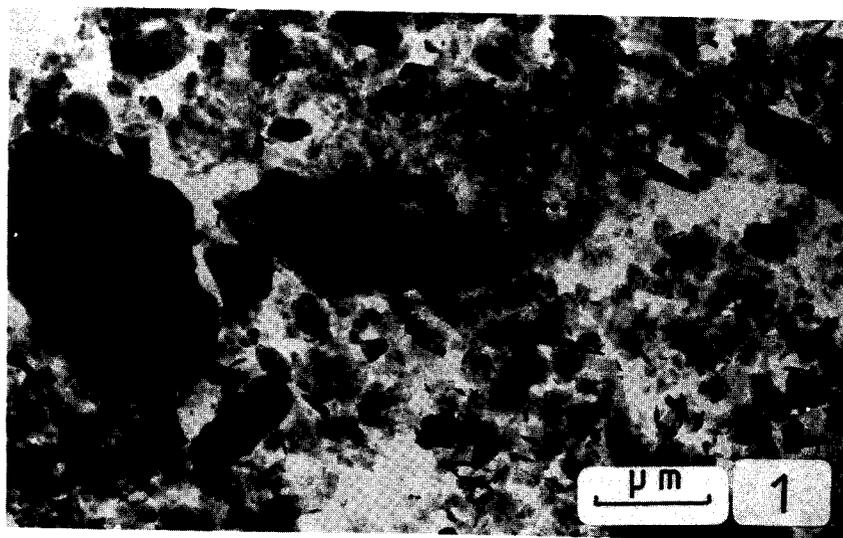


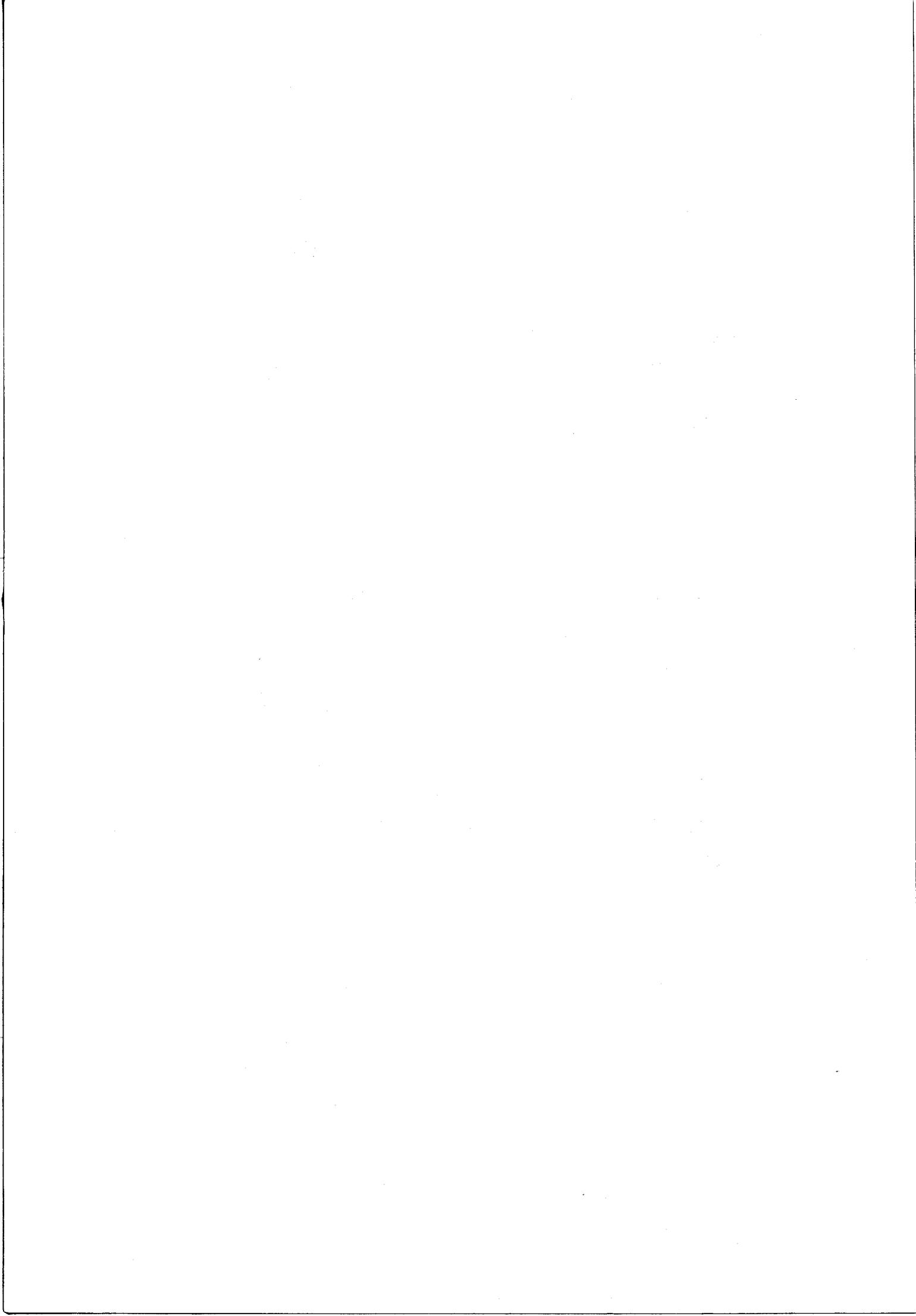
- PLANCHE III -

MICROSCOPIE ELECTRONIQUE A TRANSMISSION

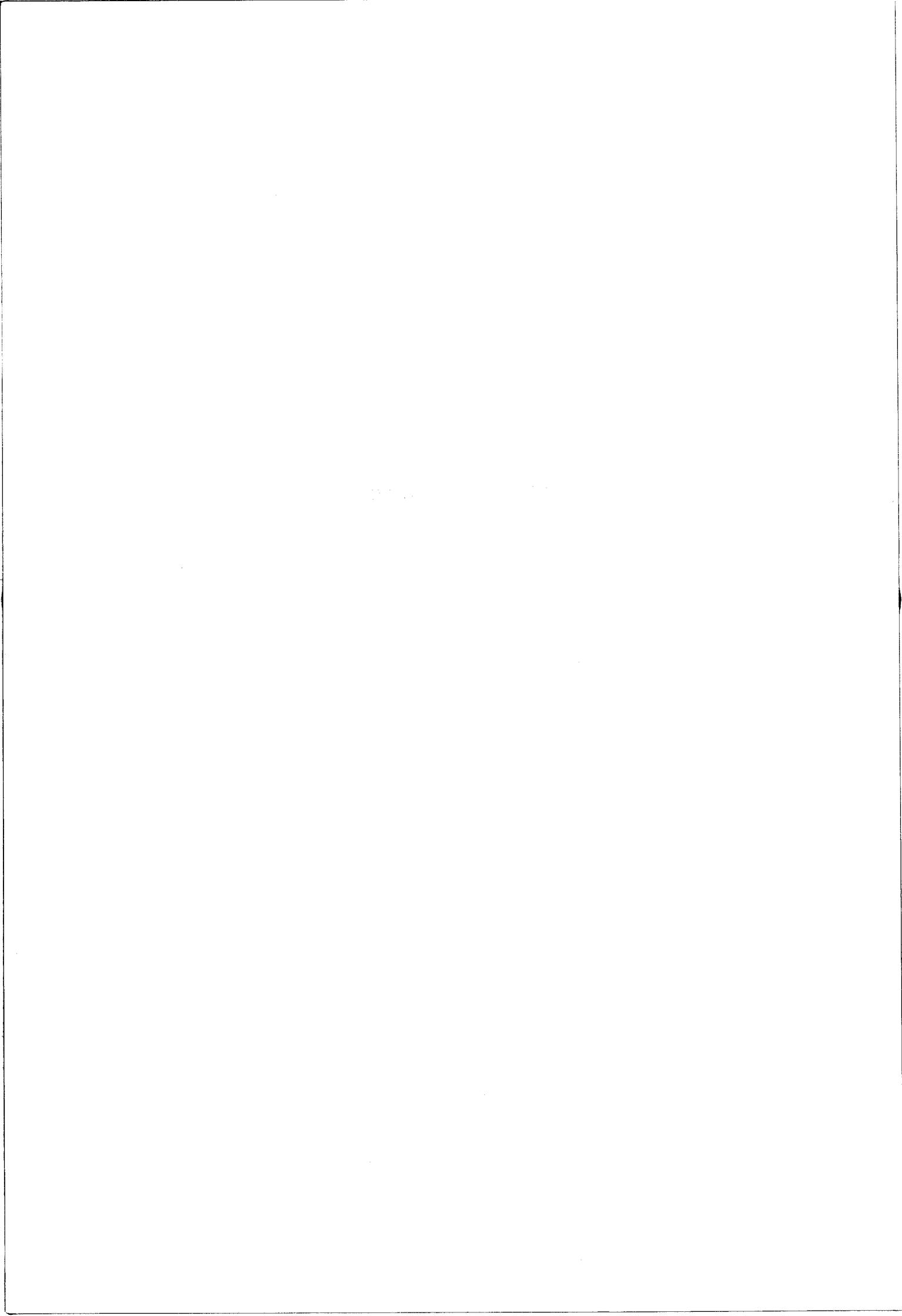
- 1 - Site 111 - Leg 12 - Echantillon 1.4.100. Argiles du Pléistocène. Fraction argileuse : chlorite 20 %, illite 45 %, interstratifiés 15 %, smectites 15 %, attapulgite 5 %. Mélange de minéraux primaires à bords francs et de smectites en flocons.
  
- 2 - Site 112 - Leg 12 - Echantillon 1.6.20. Argiles silteuses du Pléistocène. Fraction argileuse : chlorite 15 %, illite 35 %, interstratifiés 5 %, smectites 40 %, attapulgite 5 %. Grands minéraux phylliteux à bords nets et smectites en flocons.
  
- 3 - Site 112 - Leg 12 - Echantillon 5.1.100. Marnes silteuses de l'Oligocène. Fraction argileuse : illite 5 %, interstratifiés 5 %, smectites 85 %, attapulgite 5 %. Diatomée et minéraux phylliteux à contours nets.

PLANCHE III





## LISTE DES FIGURES



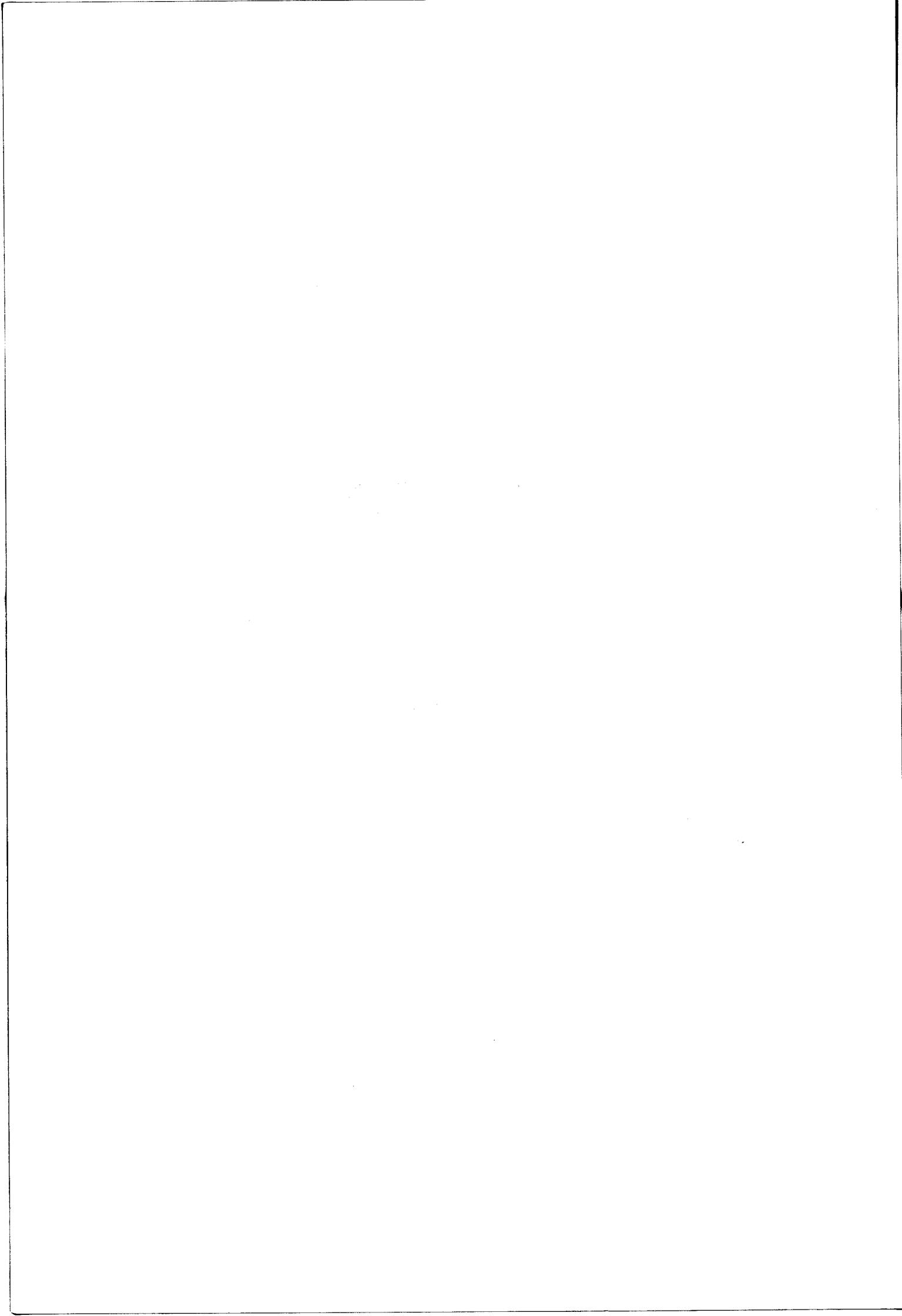
- LISTE DES FIGURES -

---

	Page
1 .- Situation géographique des forages étudiés.	3
2 .- Diagramme type (glycolé) pour l'exploitation des diagrammes de minéraux argileux.	10
3 .- Successions lithologiques sur la marge africaine de l'Océan Atlantique Nord.	17
4 .- Evolution schématique des apports détritiques dans l'Océan Atlantique depuis le milieu du Paléogène.	24
5 .- Origine possible des smectites des sédiments crétacés et paléogènes de l'Océan Atlantique.	25
6 .- Interprétation de la formation et du remaniement des argiles évaporitiques.	26
7 .- Situation géographique du site 111 (D. S. D. P.).	31
8 .- Assemblages minéralogiques de la fraction argileuse des sédiments du site 111.	33
9 .- Situation du site 111 au Jurassique supérieur.	35
10 .- Situation géographique du site 112 (D. S. D. P.).	37
11 .- Site 112 : Minéralogie de la fraction sédimentaire argileuse.	39
11 bis .- Site 112 A : Minéralogie de la fraction sédimentaire argileuse.	40
12 .- Situation géographique du site 98 (D. S. D. P.).	43
13 .- Site 98 : Minéralogie de la fraction sédimentaire argileuse.	45
14 .- Situation géographique des sites 100 et 101 (D. S. D. P.).	47
15 .- Sites 100 et 101 : Minéralogie de la fraction sédimentaire argileuse.	49
16 .- Situation géographique du site 105 (D. S. D. P.).	51
17 .- Site 105 : Minéralogie de la fraction sédimentaire argileuse.	53
18 .- Situation géographique du site 118 (D. S. D. P.).	59
19 .- Site 118 : Minéralogie de la fraction sédimentaire argileuse.	61
20 .- Situation géographique du site 119 (D. S. D. P.).	63
21 .- Site 119 : Minéralogie de la fraction sédimentaire argileuse.	65
22 .- Situation géographique du site 369 (D. S. D. P.).	69
23 .- Site 369 : Minéralogie de la fraction sédimentaire argileuse.	71
24 .- Site 367 - Leg 41. Minéralogie de la fraction argileuse sédimentaire.	75
25 .- Site 397 - Leg 47a. Minéralogie de la fraction argileuse sédimentaire.	76, 77, 78

	Page
26 .- Site 398 : Minéralogie de la fraction sédimentaire argileuse.	79
27 .- Sites 399-400 : Minéralogie de la fraction sédimentaire argileuse.	80
28 .- Site 401 : Minéralogie de la fraction sédimentaire argileuse.	81
29 .- Succession chronologique des assemblages argileux dans l'Océan Atlantique Nord. Leg XII.	85
30 .- Succession chronologique des assemblages argileux dans l'Océan Atlantique Nord. Legs XI et XLI.	86
31 .- Comparaison des données minéralogiques et géochimiques des sites 105 et 367 D. S. D. P.	90
32 .- Minéralogie des argiles sur la marge atlantique Nord-Est au Crétacé inférieur.	97
33 .- Minéralogie des argiles sur la marge atlantique Nord-Est au Paléocène	101
34 .- Evolution de la cristallinité des smectites (indice E) au site 111.	114
35 .- Evolution de la cristallinité des smectites (indice E) au site 119.	115
36 .- Marge Ouest de l'Atlantique Nord - Evénements tectoniques et climatiques déduits des principaux changements minéralogiques.	123
37 .- Marge Est de l'Atlantique Nord - Evénements tectoniques et climatiques déduits des principaux changements minéralogiques.	124

TABLE DES MATIERES



- TABLE DES MATIERES -

	Page
RESUME	
AVANT-PROPOS	
LEGENDE DES FIGURES	
INTRODUCTION - SOMMAIRE	1
CHAPITRE I - METHODES D'ETUDES	5
I - ANALYSE PAR DIFFRACTION DES RAYONS X	7
II - AUTRES METHODES D'EXPLOITATION DES DIAGRAMMES DE RAYONS X	8
III - AUTRES METHODES	9
1) Microscopie électronique à transmission	9
2) Géochimie	9
CHAPITRE II - GENERALITES	11
I - HISTOIRE DE L'OCEAN ATLANTIQUE NORD	13
II - EVOLUTION DE LA CIRCULATION OCEANIQUE DANS L'OCEAN ATLANTIQUE NORD	14
III - EVOLUTION DE LA SEDIMENTATION SUR LES MARGES DE L'OCEAN ATLANTIQUE NORD	15
A) Marge de l'Afrique occidentale	16
B) Marge Ibérique, Golfe de Gascogne	17
C) Le Bassin Nord-Américain	20
IV - GENERALITES SUR LES ARGILES DES SEDIMENTS OCEANIQUES	22
CHAPITRE III - DESCRIPTION DE LA MINERALOGIE ARGILEUSE DANS LES FORAGES DE L'ATLANTIQUE NORD-OUEST : SITES 111, 112, 98, 101, 105	29
- SITE 111	31
Résultats	32
Commentaires et discussion	34
- SITE 112	37
Résultats	38
Commentaires	41

	Page
- SITE 98	43
Résultats	44
Commentaires	44
- SITES 100 ET 101	47
Résultats	48
Commentaires	48
- SITE 105	51
Résultats	52
Commentaires	54
CHAPITRE IV - DESCRIPTION DE LA MINERALOGIE ARGILEUSE DANS LES FORAGES DE L'ATLANTIQUE NORD-EST : SITES 118, 119, 369	57
- SITE 118	59
Résultats	60
Commentaires	62
- SITE 119	63
Résultats	64
Commentaires	66
- SITE 369	69
Résultats	70
Commentaires	72
Sites de références	74
CHAPITRE V - DISCUSSION	
I - LA SEDIMENTATION ARGILEUSE AU JURASSIQUE	87
Conclusion	91
II - LA SEDIMENTATION ARGILEUSE AU CRETACE	92
Conclusion	98
III - LA SEDIMENTATION ARGILEUSE AU PALEOCENE ET A L'EOCENE	99
A - PALEOCENE	99
a) La marge est	99
b) La marge ouest	102
B - EOCENE	103
a) La marge est	104
b) La marge ouest	105
Conclusion	106

	Page
IV - LA SEDIMENTATION ARGILEUSE A L'OLIGOCENE	108
A - Marge Est	108
B - Marge Ouest	110
Conclusion	111
V - LA SEDIMENTATION ARGILEUSE AU CENOZOIQUE	
SUPERIEUR : MIOCENE A PLEISTOCENE	112
A - DIFFERENCES LATITUDINALES	112
B - DIFFERENCES ENTRE LES MARGES EST ET OUEST	112
C - CARACTERES COMMUNS AUX DEUX MARGES DE L'ATLANTIQUE NORD	116
Conclusion	116
 CONCLUSION GENERALE	 119
 BIBLIOGRAPHIE	 127
 PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES	 137
 LISTE DES FIGURES	 145
 TABLE DES MATIERES	 149

